



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Propuesta para cubrir la demanda del consumo de
agua en una granja variada implementando una planta
de ósmosis inversa contigua a partir de un pozo salobre**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

AUTORES

Cristian CCANTO COANQUI

Paulo Gerzinho Isaac PAUCAR PAJUELO

ASESOR

Mg. Oscar Julio NÚÑEZ VENEGAS

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Ccanto, C. & Paucar, P. (2024). *Propuesta para cubrir la demanda del consumo de agua en una granja variada implementando una planta de ósmosis inversa contigua a partir de un pozo salobre*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Cristian Ccanto Coanqui
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73613275
URL de ORCID	
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Paulo Gerzinho Isaac Paucar Pajuelo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73616161
URL de ORCID	
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Oscar Julio Núñez Venegas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07042855
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0482-0992
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Pedro José Romero y Otiniano
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	15612279
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Mauricio Diego Jack Abugattas Arocena

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07938472
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.4.1. Desarrollo de modelos, simulación y optimización de procesos
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Ancash Provincia: Huarney Distrito: Huarney Latitud: -10.406445 Longitud: -77.984918
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Mayo 2024 – octubre 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.00 Ingeniería de procesos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "III Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2024-II", bajo la Presidencia del Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO; Ing. MAURICIO DIEGO JACK ABUGATTAS AROCENA (Miembro) y el Mg. OSCAR JULIO NÚÑEZ VENEGAS (Asesor); habiendo presentado para tal efecto la TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL, titulada **Propuesta para cubrir la demanda del consumo de agua en una granja variada implementando una planta de ósmosis inversa contigua a partir de un pozo salobre, SUSTENTADA Y APROBADA** el trabajo de suficiencia profesional elaborado por el bachiller en Ingeniería Química: CCANTO COANQUI, CRISTIAN; para optar el TÍTULO PROFESIONAL de INGENIERO QUÍMICO, acordaron calificarlo con la NOTA de:

DIECISEIS

(LETRAS)

16

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 21 de diciembre del 2024

Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO

Presidente

Ing. MAURICIO DIEGO JACK ABUGATTAS AROCENA

Miembro

Mg. OSCAR JULIO NÚÑEZ VENEGAS

Asesor

Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE

Director de la E.P. de Ingeniería Química





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "III Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2024-II", bajo la Presidencia del Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO; Ing. MAURICIO DIEGO JACK ABUGATTAS AROCENA (Miembro) y el Mg. OSCAR JULIO NÚÑEZ VENEGAS (Asesor); habiendo presentado para tal efecto la **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**, titulada **Propuesta para cubrir la demanda del consumo de agua en una granja variada implementando una planta de ósmosis inversa contigua a partir de un pozo salobre, SUSTENTADA Y APROBADA** el trabajo de suficiencia profesional elaborado por el bachiller en Ingeniería Química: **PAUCAR PAJUELO, PAULO GERZINHO ISAAC** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERO QUÍMICO**, acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

DIECISEIS

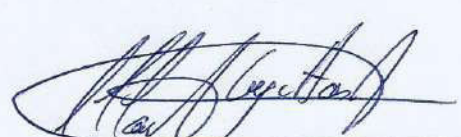
(LETRAS)

16

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 21 de diciembre del 2024


Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO
Presidente


Ing. MAURICIO DIEGO JACK ABUGATTAS AROCENA
Miembro


Mg. OSCAR JULIO NÚÑEZ VENEGAS
Asesor


Dr. RUBÉN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Director de la E.P. de Ingeniería Química





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, NÚÑEZ VENEGAS OSCAR JULIO en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°000027-2025-D-FQIQ/UNMSM del trabajo de suficiencia profesional, cuyo título **Propuesta para cubrir la demanda del consumo de agua en una granja variada implementando una planta de ósmosis inversa contigua a partir de un pozo salobre**, presentado por los bachilleres: **Ccanto Coanqui, Cristian y Paucar Pajuelo, Paulo Gerzinho Isaac** para optar el título Profesional de Ingeniería Química, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 19% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Lima, 07 de enero de 2025

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor Núñez Venegas Oscar Julio

Dni: 07042855

DEDICATORIA

A Dios, por mostrarme siempre el camino; A mis padres, Carlos y Daniela, fueron apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria; a mis hermanos mayores, Junior y Anahis, a quienes admiro por ser un ejemplo de lucha y a mi hermana menor

Danielita que es una motivación en mi vida.

Cristian Ccanto

A mi madre, Blanca, por su apoyo incondicional; a mis hermanos, Kristopher y Carlos, quienes para mí siempre han sido un ejemplo de esperanza

Paulo Pajuelo

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
ÍNDICE	iii
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD.....	2
2.1 FINALIDAD	2
2.2 OBJETIVOS.....	2
2.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	3
3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	5
CAPÍTULO IV. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES	5
4.1 MARCO TEÓRICO	5
4.1.1 ÓSMOSIS INVERSA	5
4.1.2 CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA.....	6
4.1.3 MEMBRANAS PARA ÓSMOSIS INVERSA	9
4.1.4 ADITIVOS PARA EL SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA.....	10
4.1.5 PRETRATAMIENTO PARA SISTEMAS DE ÓSMOSIS INVERSA	11
4.1.6 FILTRACIÓN DE CARTUCHOS DE SEDIMENTOS	12
4.1.7 MANTENIMIENTO DE MEMBRANA	12
4.1.8 AGUAS SUBTERRANEAS SALOBRES.....	13
4.1.9 DISEÑO DE SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA MEDIANTE Q+ PROJECTION SOFTWARE.....	15
4.2 ANTECEDENTES.....	15
4.2.1 ANTECEDENTES NACIONALES	15

4.2.3 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	17
CAPÍTULO V. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN	18
5.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA	18
5.2 DISEÑO DE LA PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA CONTIGUA.	18
5.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA	21
CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
6.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE POZO	22
6.2 DISEÑO DE UNA PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA	24
6.2.1 SISTEMA DE BOMBEO DE ALIMENTACIÓN.....	24
6.2.2 SISTEMA DE FILTRACIÓN.....	27
6.2.3 PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA	29
6.2.4 SISTEMA DE LIMPIEZA QUÍMICA (CIP)	38
6.2.5 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE Q+.....	40
6.2.6 PARAMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA PRODUCTO	45
6.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA	46
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	56
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DE POZO SALOBRE REALIZADO POR EL LABORATORIO AGQ LABS	56
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA DEL ANA PARA LA EXTRACCIÓN DEL AGUA DE POZO	57
RESULTADOS DETALLADOS DEL SOFTWARE PROJECTION Q+	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normas para el control de calidad de agua para consumo del ganado porcino	4
Tabla 2. Salinidad del agua basada en sales disueltas	14
Tabla 3. Resumen de variables de entrada y salida para el diseño de la planta de ósmosis inversa utilizando el programa Q+ Projection Software.....	19
Tabla 4. Características fisicoquímicas del agua de pozo utilizada como fuente de alimentación para el sistema de ósmosis inversa.	23
Tabla 5. Características de la bomba de operación en el sistema de ósmosis inversa contigua.	25
Tabla 6. Características de la bomba de retrolavados en el sistema de ósmosis inversa contigua.....	26
Tabla 8. Características del sistema de filtración en el sistema de ósmosis inversa contigua.	27
Tabla 8. Características del sistema de ósmosis en el sistema de ósmosis inversa contigua...	30
Tabla 9. Características del filtro pulidor de cartuchos en el sistema de ósmosis inversa contigua.....	31
Tabla 10. Características de la bomba de alta presión en el sistema de ósmosis inversa contigua.....	32
Tabla 11. Características de las membranas de alta presión en el sistema de ósmosis inversa contigua.....	33
Tabla 12. Características de los recipientes presión en el sistema de ósmosis inversa contigua	34
Tabla 13. Características del soporte estructural en el sistema de ósmosis inversa contigua..	35
Tabla 14. Características del sistema de control y fuerza en el sistema de ósmosis inversa contigua.....	36
Figura 14. Sistema control y fuerza para el sistema de ósmosis inversa contigua	36
Tabla 15. Características del equipo dosificador de antiincrustante en el sistema de ósmosis inversa contigua	37
Tabla 16. Características del CIP en el sistema de ósmosis inversa contigua	38
Tabla 17. Características del filtro por cartucho del CIP en el sistema de ósmosis inversa contigua.....	39
Figura 18. Simulación de la planta de ósmosis inversa contigua para un flujo de permeado de 30 m ³ /h	41
Tabla 18. Valores de flujo de alimentación conseguidos en la simulación	43
Tabla 19. Características fisicoquímicas del agua permeada del sistema de ósmosis inversa	45
Tabla 20. Costo operativo de la planta de ósmosis inversa de 40 m ³ /h.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de ósmosis natural e inversa.	5
Figura 2. Elementos típicos de una membrana de ósmosis inversa.....	7
Figura 3. Configuración de un bastidor de desalación de una sola etapa	8
Figura 4. Configuración de un bastidor de desalación de 2 etapas de concentración.....	9
Figura 5. Procedimiento por seguir para realizar el diseño del sistema de ósmosis inversa contigua con el programa Projection Q+ Software.....	20
Figura 6. Procedimiento por seguir para demostrar la mejora económica	22
Figura 7. Bomba utilizada tanto como bomba de operación como de retrolavados	26
Figura 8. Sistema de filtración con filtrante tipo zeolita.....	28
Figura 9. Filtro pulidor de cartuchos.....	31
Figura 10. Bomba de alta presión	32
Figura 11. Membrana utilizada para ósmosis inversa.....	33
Figura 12. Recipiente de presión utilizado en sistemas de ósmosis inversa.....	34
Figura 13. Ejemplo de soporte estructural (color azul).....	35
Figura 15. Dosificador de antiincrustante para un sistema de ósmosis inversa.....	38
Figura 16. Sistema CIP con su filtro cartucho y bomba para limpieza química.....	39
Figura 17. Filtración por cartucho para un sistema de ósmosis inversa	40
Figura 19. Simulación de la planta de ósmosis inversa contigua para un flujo de permeado de 45 m ³ /h	42
Figura 20. Simulación de la planta de ósmosis inversa contigua para un flujo de permeado de 60 m ³ /h	42
Figura 21. Relación de flujo de alimentación (FA) vs flujo de permeado (FP).....	43
Figura 22. Planta de ósmosis inversa contigua propuesta.....	44
Figura 23. Resultados de calidad de agua	56
Figura 24. Derecho de uso de agua de pozo	57
Figura 25. Flujos volumétricos, presiones aplicadas y concentraciones detalladas de cada etapa	58
Figura 26. Flujos, presiones aplicadas y concentraciones detalladas de cada membrana en cada etapa; y las solubilidades de la alimentación y el concentrado	59

RESUMEN

Actualmente el crecimiento poblacional en el litoral del norte del Perú ha alcanzado una cifra significativa por lo que la demanda de consumo de porcinos ha sido proporcional, estos animales no pueden ser alimentados con agua de pozo ya que no cumplen los valores aceptables. Bajo este incremento de consumo se tiene la necesidad de implementar una planta de ósmosis inversa de mayor capacidad en la granja ubicada en el norte del país. Se establece una planta de 40 m³/h de capacidad de agua osmotizada, esto debido a que su planta actual de 24 m³/h no está cubriendo la demanda actual y tienden a comprar agua mediante camiones cisterna.

Se realizó el análisis fisicoquímico del agua de pozo mediante el laboratorio AGQ Labs obteniendo resultados inadecuados para el consumo directo de los porcinos, posterior a ello se utilizó el Software Projection Q+ en el cual se ingresó los datos de entrada más importantes: análisis fisicoquímico del agua de pozo, flujo de permeado, porcentaje de recuperación; cantidad, relación y modelo de membranas, con estos valores en la interfaz del software se obtuvieron resultados de parámetros claves para la selección adecuada los equipos que componen el sistema de ósmosis inversa además de los valores fisicoquímicos en el agua producto los cuales ya se encuentran en el rango aceptable para consumo directo de los porcinos.

Finalmente, se realizó un análisis de costo operativo y retorno de inversión sobre la implementación de una planta de ósmosis inversa comparado con la adquisición de agua mediante camiones cisterna, el costo por m³ de agua tratada mediante ósmosis es de 1.183 USD y por cisternas es de 3.96 USD disminuyendo el costo operativo en un 70.02 % con un retorno de inversión ROI de 1.3 años.

ABSTRACT

Currently, population growth in the northern coast of Peru has reached a significant figure, so the demand for pig consumption has been proportional. These animals cannot be fed with well water since they do not meet acceptable values. Given this increase in consumption, there is a need to implement a higher capacity reverse osmosis plant on the farm located in the north of the country. A 40 m³/h reverse osmosis water capacity plant is established, because its current 24 m³/h plant is not covering the current demand, and they tend to buy water through tanker trucks.

The physicochemical analysis of the well water was carried out by the AGQ Labs laboratory, obtaining inadequate results for direct consumption by the pigs. After this, the Projection Q+ Software was used in which the most important input data was entered: physicochemical analysis of the well water, permeate flow, recovery percentage; quantity, ratio and membrane model, with these values in the software interface, results of key parameters were obtained for the adequate selection of the equipment that make up the reverse osmosis system, in addition to the physicochemical values in the product water, which are already within the acceptable range for direct consumption by pigs.

Finally, an analysis of the operating cost and return on investment was carried out on the implementation of a reverse osmosis plant compared to the acquisition of water by tanker trucks, the cost per m³ of water treated by osmosis is 1,183 USD and per tanker it is 3.96 USD, reducing the operating cost by 70.02% with a return on investment ROI of 1.3 years.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La ósmosis inversa, es una tecnología de tratamiento de agua eficaz que puede eliminar la mayor cantidad de impurezas del agua utilizando membranas semipermeables con el cual logra separar las moléculas de agua de otras sustancias.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar e implementar una planta de ósmosis inversa contigua alimentada con agua de pozo salobre para abastecer las necesidades de agua para consumo directo de porcino en la granja. A través de este proyecto, se buscará evaluar la viabilidad técnica y económica de la implementación de una planta de ósmosis inversa utilizando el software “Q+ Projection” a través de la empresa Acque-Tecnología Perú SAC

Este proyecto contribuirá a mejorar la eficiencia y sostenibilidad del suministro de agua en la granja, reduciendo la dependencia de fuentes de agua externas y minimizando costos adicionales. Además, se espera que este proyecto sirva como modelo replicable para otras granjas y comunidades rurales que enfrentan desafíos similares en cuanto al acceso a agua tratada.

La ósmosis inversa (OI) también juega un papel importante en la sostenibilidad ambiental en el área de tratamiento de aguas ya que reduce hasta un 99% los contaminantes del agua como impurezas, metales pesados y entre otros, la ósmosis inversa también tiene un gran aporte a la reducción de la huella hídrica ya que es capaz de poder reutilizar aguas residuales, como también el sistema tiene una capacidad para recuperar energía que se utiliza en el proceso.

CAPÍTULO II. FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD

2.1 FINALIDAD

La finalidad del trabajo de suficiencia es demostrar que, con la implementación de una planta de ósmosis inversa contigua alimentada con agua de pozo salobre, se podrá cubrir la demanda de agua en una granja variada.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Implementar una planta de ósmosis inversa de 40 m³/h contigua a partir de un pozo salobre para satisfacer la demanda del consumo de agua en una granja variada.

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la calidad del agua del pozo salobre que se utilizara como agua fuente para la planta de ósmosis inversa contigua mediante un laboratorio acreditado y certificado.
- Determinar el diseño e implementación de la planta de ósmosis inversa contigua y componentes para satisfacer la demanda del consumo de agua en una granja variada utilizando el software “Q+ Projection Software”.
- Comparar el costo del agua obtenida de la ósmosis inversa con el costo del agua adquirido en camiones cisterna mediante terceros para la demanda del consumo de agua en una granja variada.

CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el crecimiento poblacional ha alcanzado una cifra significativa por lo que la demanda de alimentos ha sido proporcional, muchos de estos alimentos vienen de animales de granjas diversas, y cada vez hay un aumento en el número de producción ganadera en todo el país según la INEI para lo cual se necesita una gran demanda de agua tratada para consumo pertinente. Específicamente en el norte del país se busca consolidar una producción constante, pero se enfrentan al problema de la baja disponibilidad de agua. Si bien existen fuentes de aguas superficiales, estas ya están designadas a un consumo humano; a su vez las ubicaciones de las granjas deben ser aisladas para un control epidemiológico lo cual conlleva a generar gastos adicionales para satisfacer un flujo constante de agua, aunque el transporte pueda darse por medio de camiones cisterna; la mejor forma de conseguir el agua para abastecer la granja es por medio de pozos de aguas subterráneas (Alcázar, Cueva, Rojas & Ruiz, 2021).

Esto resulta en otro inconveniente, debido a que, las aguas subterráneas presentan unos parámetros fisicoquímicos que son no aptos para el consumo directo de los porcinos. La ósmosis inversa es el método más eficaz con el cual la mayoría de las granjas que utilizan pozos salobres llegan a valores aceptables para su consumo en granja.

Para la granja en mención se busca cubrir las necesidades de un flujo constante de agua de pozo salobre, es necesario saber si el pozo disponible cumple con la capacidad suficiente. Se necesita diseñar un sistema de ósmosis inversa contiguo como mejora para garantizar el flujo constante requerido y las propiedades fisicoquímicas aptas.

La utilización de agua tratada se destinará al consumo directo de los cerdos en la granja mencionada, para lo que se deben satisfacer los estándares mínimos de calidad necesarios. A pesar de que las regulaciones específicas de potabilidad del agua para el consumo animal para cada nación no están establecidas, generalmente se aplican estándares internacionales, lo que la compañía ganadera estime apropiado según su experiencia o en determinados casos las normas para el consumo. (de Blas, 2013).

Tabla 1. Normas para el control de calidad de agua para consumo del ganado porcino

Fuente: Necesidades nutricionales para ganado porcino Normas FEDNA

Característica	Potable	Aceptable	Inadecuada
pH	6.5 – 8.0	6.0 – 8.5	< 5.0
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C	< 1000	1000 – 2500	> 2500
Sólidos disueltos (TDS)	< 1000	1000 – 3000	> 3000
Nitrato (NO_3^-)	< 50	50 – 100	> 100
Nitritos (NO_2^-)	< 0.1	0.1 – 0.5	> 0.5
Amonio (NH_4^+)	< 0.5	0.5 – 2.0	> 2
Sulfatos (SO_4^-)	< 250	250 – 500	> 500
Dureza	50 – 100	100 – 200	> 200
Calcio (Ca^{+2})	< 100	100 – 200	> 200
Magnesio (Mg^{+2})	< 50	50 – 100	> 100
Cloruro (Cl^-)	< 250	250 – 400	> 400
Cloro libre	< 0.5	0.5 – 1.0	> 1
Sodio (Na^+)	< 200	200 – 300	> 300
Hierro (Fe^{+2})	< 0.5	0.5 – 1.0	> 1
Oxidabilidad (O_2 disuelto)	< 5	5 – 10.0	> 10

3.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

- Es importante el desarrollo de esta investigación para así brindar a más empresas que cuentan con granjas múltiples una alternativa de solución a sus problemas de abastecimiento e incluso dar la opción a ampliaciones y escalamientos, así mismo poder lograr una mayor competitividad en el mercado.
- Se estaría generando mayor empleabilidad para los pobladores aledaños a la empresa a la cual también se les capacitará.
- Se estará demostrando como la implementación del sistema de ósmosis inversa contigua utilizando el agua de pozo cubre las necesidades de consumo de la granja variada y además genera un retorno de inversión.

CAPÍTULO IV. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

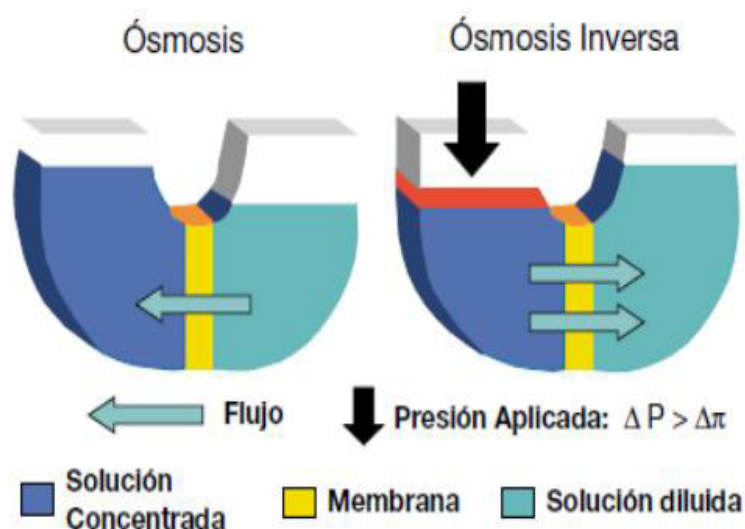
4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1 ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa es un método usado para tratar agua por medio de una membrana semipermeable para reducir la presencia de contaminantes variados. Este procedimiento se realiza venciendo la presión osmótica, originada por las variaciones en el potencial químico del disolvente; en este caso, el contaminante. Para garantizar la "selectividad", la membrana debe bloquear el paso de iones, moléculas grandes o partículas orgánicas, pero permitir que componentes más pequeños, como las moléculas de agua (H_2O), pasen sin restricción. (Panagopoulos, Haralambous & Loizidou, 2019).

Figura 1. *Esquema de ósmosis natural e inversa.*

Fuente: Guía de desalación: Aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano realizada por el Ministerio de Sanidad y Política Social de Madrid (2009)



Las aplicaciones de la ósmosis inversa han evolucionado con el tiempo, y algunos ejemplos incluyen la obtención de agua potable e industrial a través de la desalinización del agua de mar, la producción de agua ultrapura para laboratorios y el tratamiento de aguas residuales industriales y de desagües. También se utiliza ampliamente en el procesamiento de alimentos para obtener concentrados útiles, ya sea para elaborar bebidas a base de jugos o extractos, o para concentrar proteínas y aceites, tanto vegetales como animales. Además, en la industria farmacéutica, se emplea para separar y purificar soluciones de macromoléculas solubles, como vacunas, polipéptidos y enzimas. Incluso se utiliza en el endulzamiento del gas natural, donde se separan el H_2S y el CO_2 del metano, así como para generar aire enriquecido en oxígeno en procesos de combustión (Cabezas 2012).

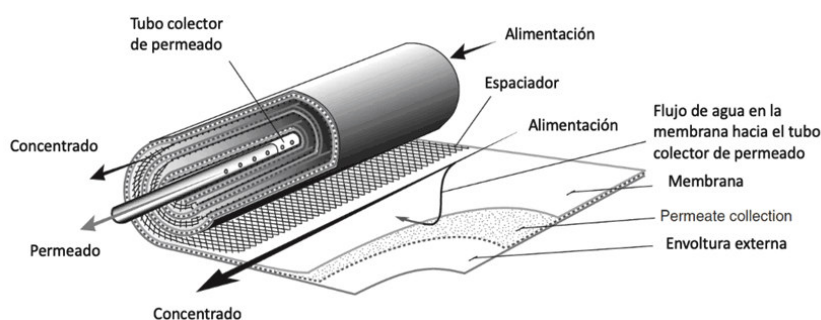
4.1.2 CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA

El tratamiento de aguas salobres es realizado a través de una planta de OI. Las plantas de ósmosis inversa necesitan sistemas de pretratamiento, equipos de bombeo, depósitos

presurizados (porta membranas o housings) que albergan las membranas, y equipos para la dosificación de productos químicos, entre otros, para funcionar adecuadamente. La membrana de ósmosis inversa se elabora enrollando membranas en forma de espiral, generalmente con longitudes de 40 o 60 pulgadas y diámetros comunes de 4 o 8 pulgadas. Durante su funcionamiento, el agua ingresa a presión por un lado del housing; al fluir tangencialmente a la membrana, parte del agua atraviesa su superficie hacia el colector de permeado, mientras que el agua con alta concentración de sales se expulsa por el otro extremo. (Crittenden et. al, 2012, p 1346). En la figura se muestran los componentes de una membrana:

Figura 2. Elementos típicos de una membrana de ósmosis inversa

Fuente: Recopilado y traducido del libro “MWH’s Water Treatment: Principles and Design”



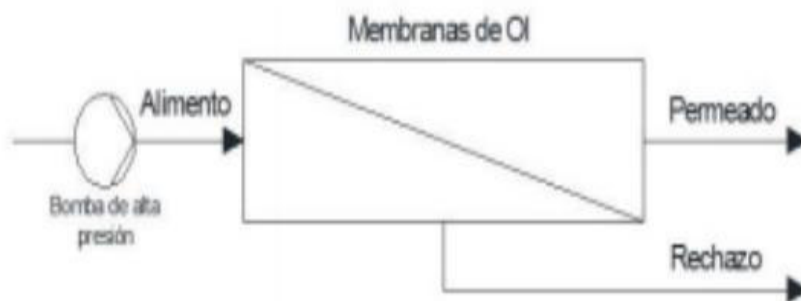
a) UNA ETAPA

Para un tubo en cual se realiza la ósmosis inversa se cuentan con 2 salidas. Una salida es el permeado libre de la mayoría de las impurezas y la segunda es el rechazo con todos los contaminantes recolectados por las membranas. El agua que entra a los tubos de presión, lo posee una conductividad menor, por lo que, en las primeras membranas, el caudal de permeado es menor y va en aumento debido al aumento progresivo de conductividad en el rechazo, ocasionado un gradiente de concentración a lo largo de la longitud del tubo de presión (Entrena,2020). Es crucial revisar continuamente las corrientes de entrada y salida de cada

bastidor y para cada tubo de presión, para de esta forma calcular el caudal de permeado producido, su concentración de sales y la pérdida de carga de cada tubo de presión. (Arnal, 2016).

Figura 3. Configuración de un bastidor de desalación de una sola etapa

Fuente: Recopilado de “Diseño de una instalación de desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa equipada con un mantenimiento preventivo específico” (Arnal, 2016)



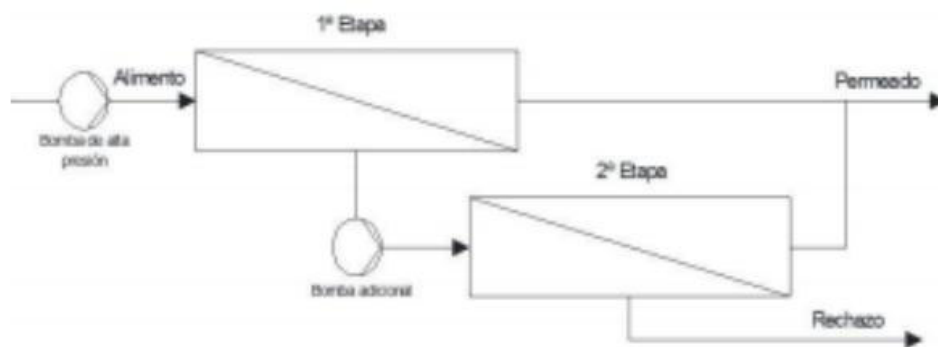
b) DOS ETAPAS

La configuración de 2 etapas se basa en el aumento de un segundo grupo de tubos de presión, por el cual se realizará un nuevo proceso de osmosis inversa al flujo de rechazo del primer grupo de tubos. Se cuentan con dos formas, con o sin bomba booster. La primera forma es utilizada para aguas de media y alta salinidad, mientras que para aguas de baja salinidad no es necesario una bomba booster (Entrena,2020). La inclusión de una segunda etapa eleva la conversión global del proceso, lo que incrementa la producción de permeado y disminuye el volumen de salmuera a desechar. Sin embargo, esta segunda etapa no mejora la calidad del permeado. Es la disposición más común, y además permite emplear distintos modelos de membranas en cada etapa. Esto es especialmente beneficioso porque la alimentación de la

segunda etapa tiene una mayor concentración de sales, lo que hace recomendable que las membranas de esta etapa tengan un alto nivel de rechazo. (Arnal, 2016)

Figura 4. Configuración de un bastidor de desalación de 2 etapas de concentración

Fuente: Recopilado de “Diseño de una instalación de desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa equipada con un mantenimiento preventivo específico” (Arnal, 2016)



4.1.3 MEMBRANAS PARA ÓSMOSIS INVERSA

Las membranas para ósmosis inversa son filtros semipermeables que permiten que el agua pase a través de ellas, pero retienen contaminantes, sales disueltas, bacterias, virus y otras impurezas. Son componentes clave en los sistemas de purificación de agua. Los tipos más comunes y sus características son:

- **Membranas de poliamida:** Las de mayor uso en sistemas de ósmosis inversa debido a su alta eficiencia en la eliminación de sólidos disueltos, bacterias y otros contaminantes. Tienen una excelente selectividad y resistencia a la oxidación, pero son sensibles a pH extremo y cloro.
- **Membranas de polisulfona:** Se utilizan en aplicaciones donde se requiere mayor resistencia a temperaturas más altas. Tienen buena estabilidad química y térmica, aunque su capacidad de rechazo puede ser menor que las de poliamida.

- **Membranas de fibra hueca:** Común en sistemas de tratamiento de aguas residuales y en aplicaciones industriales. Ofrecen una gran superficie de filtración en un espacio reducido y son fáciles de limpiar.
- **Membranas de polietileno y otros polímeros:** Menos comunes, se utilizan en aplicaciones específicas. Suelen ser más económicas, pero su rendimiento puede ser inferior al de las membranas de poliamida.

Como vemos existen una variedad especializada de membranas utilizadas, por ello para encontrar la más adecuada para el proceso de ósmosis que queremos realizar debemos considerar 3 aspectos importantes del agua a tratarlos siguiente: Primero la calidad y la composición del agua, luego dependiendo de los contaminantes que necesites eliminar, algunas membranas pueden ser más efectivas que otras. Finalmente, a que temperatura, pH y presión se realizara el proceso.

4.1.4 ADITIVOS PARA EL SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA

Los aditivos para la ósmosis inversa se utilizan para mejorar la eficiencia y proteger la membrana de incrustaciones, una de las mayores causas de deterioro de la membrana (Yu W. et al. 2022). Los tipos más comunes son:

- **Antiincrustantes:** Previenen la formación de incrustaciones minerales en las membranas, lo que puede obstruir el flujo, dañar la membrana y reducir la eficiencia.
- **Biocidas:** Controlan el crecimiento de microorganismos, que pueden afectar la calidad del agua y dañar las membranas.
- **Aditivos de ajuste de pH:** Mantienen el pH del agua en niveles óptimos para proteger las membranas y maximizar la eficiencia del proceso.

- **Coagulantes:** Ayudan a agrupar partículas finas en partículas más grandes que pueden ser eliminadas más fácilmente.

4.1.5 PRETRATAMIENTO PARA SISTEMAS DE ÓSMOSIS INVERSA

Los pretratamientos para el sistema de ósmosis inversa son importantes para salvaguardar la eficiencia y durabilidad del sistema, se tienen diferentes tipos de filtración que son aplicados de acuerdo con la calidad de agua de alimentación al sistema, se debe realizar un análisis de los parámetros fisicoquímicos para poder elegir un adecuado pretratamiento (Kavitha J. et al. 2019). Los pretratamientos más comunes en la industria son:

a) Filtración de medios

El propósito de la filtración por medios es remover o eliminar partículas suspendidas, salvaguardando de esta manera las membranas de la ósmosis inversa. Para ello, se utilizan varios medios de filtración juntos en un tanque de filtración, y la secuencia de estos depende de que tan grandes sean las partículas suspendidas.

- **Arena:** Remueve material particulado de mayor tamaño y está relacionado directamente con la turbidez.
- **Antracita:** Remueve partículas de menor tamaño mejorando la calidad del agua filtrada.
- **Grava:** Este es un soporte que contiene la mayoría de los medios filtrantes, se mejora la distribución del agua.
- **Carbón Activado:** Remueve compuestos orgánicos, mejora la calidad del agua con propiedades organolépticas como el olor y también actúa como decolorador.

- **Zeolita:** Mineral con estructura cristalina con mayores capacidades de filtración con capacidad para eliminar metales pesados, es un medio filtrante que no necesita ser combinado con otro a comparación de los demás mencionados.

b) Suavizadores de agua

Los suavizadores de agua son sistemas que incluyen resinas que llevan a cabo el intercambio iónico para eliminar la dureza de calcio y magnesio. Usualmente se utilizan como pretratamiento para dispositivos de ósmosis inversa con capacidad de flujo reducida, con el objetivo de no incrementar el costo operativo por productos químicos antiincrustantes.

4.1.6 FILTRACIÓN DE CARTUCHOS DE SEDIMENTOS

El empleo de filtros cartuchos es un método de filtrado eficaz para eliminar partículas sólidas suspendidas como arena, arcilla y otros contaminantes. Hay una amplia gama de tamaño y capacidad de filtración dependiendo del tamaño de poro, los más habituales son de 1 y 5 micras.

Los filtros de cartuchos se saturan durante un periodo específico, deben ser sustituidos cuando se presente una diferencia de presión que no exceda 1 bar de presión.

4.1.7 MANTENIMIENTO DE MEMBRANA

El mantenimiento adecuado de la membrana de ósmosis inversa es crucial para garantizar su eficiencia y prolongar su vida útil. Lo primero a considerar es realizar el pretratamiento del agua, eliminando la mayoría de los sólidos suspendidos, cloro, y otros contaminantes que pueden dañar la membrana. Debemos realizar limpiezas periódicas de la membrana con soluciones específicas para eliminar incrustaciones y depósitos biológicos. La frecuencia dependerá de la calidad del agua y del uso del sistema. Todo ello con un control regular de la presión y el flujo

del sistema, ya que unos cambios significativos pueden indicar problemas en la membrana o en el sistema, la diferencial de presión suele ser el primer punto para mostrarse cuando se tiene un inconveniente en operación (Atencio D. 2022). El cambio de filtros de prefiltración, anteriormente detallados, debe realizarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para evitar que contaminantes lleguen a la membrana. Es necesario asegurar también un almacén de que siga las instrucciones del fabricante para su conservación en el cual se indica las soluciones a utilizar y la forma de nuevamente ponerlos en su envase original.

4.1.8 AGUAS SUBTERRANEAS SALOBRES

En el Perú, el artículo 225 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado mediante Decreto Supremo 001-2010-AG, El término "aguas subterráneas" se refiere a los recursos hídricos que están en proceso de circulación o almacenamiento por debajo de la superficie terrestre, alojados en medios porosos, fracturas de rocas u otras formaciones geológicas. Estos recursos requieren obras específicas para su extracción y uso. Los acuíferos, donde se almacena el agua subterránea, varían en sus características. Sin embargo, pueden ser clasificados según la existencia o ausencia de recarga natural de agua en acuíferos como aguas subterráneas renovables o no renovables.

El aprovechamiento de estos recursos hídricos generalmente requiere de la realización de diversas actividades preliminares. Es necesario llevar a cabo estudios previos que analicen tanto las características cuantitativas como cualitativas de la fuente de agua, además de planificar y construir la infraestructura apropiada para su uso. En cuanto a los recursos hídricos subterráneos, la identificación de una fuente es distinta a la de los recursos superficiales, debido a su ubicación subterránea. Esta característica particular de los recursos subterráneos hace que su aprovechamiento se divida en dos etapas: exploración y explotación. La fase de exploración

es la primera en el uso de recursos hídricos subterráneos y se enfoca en realizar estudios necesarios para determinar la existencia y características del acuífero. Posteriormente, la fase de explotación comienza una vez obtenida la información necesaria sobre el acuífero, momento en el cual se llevan a cabo las actividades para extraer y utilizar el recurso hídrico subterráneo (Carapoma A. & Villegas P., 2016).

El agua salobre es agua que tiene más salinidad que el agua dulce, pero no tanto como el agua de mar y es la de mayor presencia en aguas de pozo. La salinidad el contenido de sal disuelta de un cuerpo de agua. Técnicamente, el agua salobre contiene entre 500 y 30,000 ppm de sal, normalmente expresada como 0,05 - 3,0%.

La concentración de sales disueltas en el agua determina en parte la conductividad cuando la sal se ioniza en la solución. La conductividad eléctrica de una muestra de agua se utiliza como un indicador de la ausencia de sal o impureza de la muestra: cuanto más pura es el agua, menor es la conductividad (Arnal, 2016).

Tabla 2. *Salinidad del agua basada en sales disueltas*

Fuente: Realizado en base a los datos dentro de “Diseño de una instalación de desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa equipada con un mantenimiento preventivo específico” (Arnal, 2016)

Tipo de agua	Impurezas	TDS
Agua dulce	< 0.05 % de impurezas	< 500 ppm
Agua salobre	0,05 - 3,0% de impureza	500 - 30,000 ppm
Agua salina	3,0 - 5,0% de impurezas	30,000 - 50,000 ppm

Salmuera

5.0 % de impureza a más

50,000 ppm a más

4.1.9 DISEÑO DE SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA MEDIANTE Q+ PROJECTION SOFTWARE

Existen diferentes softwares para la simulación y el uso de membranas, su uso depende de la marca comercial a utilizar, para el caso de la propuesta se está utilizando membranas de la marca LG Water y para ello se realizarán los cálculos de diseño con el Software Q+. Se deben tener diferentes variables para realizar una correcta simulación con el uso del Software Q+, dichas variables más importantes son las siguientes:

- Caracterización fisicoquímica del agua de alimentación al sistema de ósmosis inversa.
- Caudal de agua osmotizada (permeado) requerido.
- Porcentaje de recuperación a trabajar, este valor tiende a tener un valor empírico de 75%.
- Tipo y tamaño de membrana a utilizar en el sistema, depende de la fuente de agua y la caracterización obtenida.

4.2 ANTECEDENTES

4.2.1 ANTECEDENTES NACIONALES

- (Castañeda, 2023), realizó una revisión de la tecnología de ósmosis inversa enfocada al tratamiento de agua contaminada por metales pesados y sales, para el consumo humano y aplicación en la costa del Perú. Concluyendo que el proceso de ósmosis inversa, tanto para la desalinización de agua de mar como de aguas subterráneas y para la eliminación de metales de pozos, es uno de los métodos utilizados en todo el mundo, y en Perú se ha comenzado a considerar desde 2018. Sin embargo, la investigación aún no ha

avanzado significativamente, ya que no hay muchas implementaciones de este sistema en el país.

- (Condor, 2022), evaluó un caso en el que se está llevando a cabo el tratamiento del agua de un pozo mediante ósmosis inversa. Este estudio se realizó en la planta de tratamiento de agua Tsunchuruco de Minera Chinalco S.A. Se analizaron los datos fisicoquímicos y microbiológicos del agua tratada, demostrando que es apta para el consumo humano y cumple con los valores máximos permitidos según las normas peruanas.
- (Rayme, 2022), propuso el diseño y la optimización de un sistema de generación de agua purificada para uso farmacéutico, plantearon un sistema de ósmosis inversa (OI). El diseño consistió en un sistema de doble etapa con cuatro membranas por etapa, además de un sistema de pretratamiento destinado a proteger la membrana de OI. La optimización se llevó a cabo mediante el software IMS Design.
- (Alcázar & Ruiz, 2021), ofrecieron una solución a la escasez de agua en las empresas inmobiliarias interesadas en desarrollar proyectos en la costa peruana, proponiendo la instalación de una planta de desalinización de agua de pozo mediante ósmosis inversa, utilizando energía de paneles fotovoltaicos. Se lograron mejoras en el costo del agua por metro cúbico, con reducciones de hasta un 71.46% en comparación con la red pública y un 83.53% respecto al abastecimiento de agua a base de camiones cisterna.
- (Contreras & Estacio, 2021), obtuvo agua tratada a través del tratamiento de agua de pozo mediante ósmosis inversa, para su uso en el proceso de lavado de frutas y hortalizas en una empresa agrícola, utilizando un agua de pozo. Realizando un pretratamiento para eliminar parte de los sólidos totales disueltos y luego al pasar por

la ósmosis inversa consiguió agua con las condiciones fisicoquímicas aptas para su uso en el lavado.

4.2.3 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- (Harby & Emad, 2024), reconocieron a la ósmosis inversa como el método más común para realizar los procesos de desalinización de agua, pero plantean que esta puede ser mejorada con otras tecnologías de desalinización; para así aumentar la recuperación de agua, reducir el consumo energético y disminuir los impactos ambientales. Mediante una revisión bibliográfica exhaustiva confirman que la utilización de sistemas híbridos entre la ósmosis inversa y la microfiltración por membrana o sistemas de flas de múltiples etapas ayudan producen un mayor volumen de agua a menor energía y costo; sin embargo, se añaden mayores complejidades al tratar con un sistema compuesto.
- (Azanza & Remache, 2022), realizaron una comparación energética entre las tecnologías para la desalinización de agua. El estudio analiza el consumo energético de la destilación y OI, utilizando el agua de alimentación como parámetro de diseño. En la tecnología de destilación, el proceso no se ve afectado por la salinidad, por lo que se puede elegir cualquier tipo de agua de alimentación. Por otro lado, en la OI, factores como la temperatura y salinidad provocan aumento en el consumo energético. Se evidenció que, a pesar de haber mejorado la eficiencia térmica del proceso de destilación con un termocompresor, esta tecnología no puede competir con la OI.
- (Rodriguez & Benitez, 2019), diseñaron e implementaron un sistema SCADA con el software MOVICON 11.5, que integraba, sincronizaba y supervisaba el funcionamiento de cinco líneas de desalinización de agua de mar mediante ósmosis inversa que operan en paralelo, junto con cuatro pozos costeros y dos bombas de relance final del agua

permeada, todo funcionando como una única planta. Aumentando en gran medida el desempeño de las líneas de OI.

- (Diaz & Lorenzo, 2018), presentaron el estado de arte en el tratamiento de fluentes de destilerías y plantas derivadas presentando como alternativas la microfiltración, nanofiltración y OI. Se evaluó la bibliografía y se simuló en Microsoft Excel. Proponiendo un sistema óptimo en el cual se diseñó un sistema compuesto por microfiltración y una posterior OI.

CAPÍTULO V. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN

Implementar una planta de ósmosis inversa contigua para satisfacer el consumo de agua en una granja variada como alternativa de solución dado que ya se tiene una planta existente en la empresa. Los pasos por realizar serán los siguientes:

5.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA

Para poder implementar la planta primero se debe conocer las características del agua fuente, en este caso, el agua de pozo, para ello se optará por un laboratorio certificado y acreditado. Para este trabajo se recibieron los resultados de parámetros del agua de pozo de la empresa AGQ Labs acreditada por el INACAL y el estudio de la capacidad de extracción del pozo fue realizado por el ANA, expidiendo un documento certificado. Los informes mencionados se encuentran en la sección de anexos.

5.2 DISEÑO DE LA PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA CONTIGUA.

Después de saber las características fisicoquímicas del agua podremos realizar el diseño de la planta de ósmosis inversa contigua a utilizar. Es necesario definir las propiedades del agua fuente para usarlo como base de datos en el software con el cual se hará el diseño. Además de verificar si se necesita de algún pretratamiento o aditivo a agregar para el mantenimiento de membrana, considerando que la planta trabajará la mayor cantidad de horas posibles en un turno. Con el programa Q+ Projection Software podemos estimar el volumen de agua alimentada. De esta manera podemos establecer una relación matemática con el cual se determinará cuál será la capacidad de alimentación para satisfacer la demanda de agua de la granja variada. Las variables con las cuales realizaremos el diseño de los equipos que utilizaremos en el software son: el porcentaje de recuperación del sistema, flujo de permeado, caracterización del agua, cantidad y tipo de membranas a utilizar.

Al correr el programa los datos resultantes serán la calidad del agua de permeado, calidad del agua de rechazo, solubilidades, presiones y energía consumida por equipos, a su vez se puede verificar que se genera un diagrama de flujo de procesos en el cual nos muestra los principales valores en cada punto del diagrama.

Tabla 3. *Resumen de variables de entrada y salida para el diseño de la planta de ósmosis inversa utilizando el programa Q+ Projection Software.*

Fuente: Elaboración propia

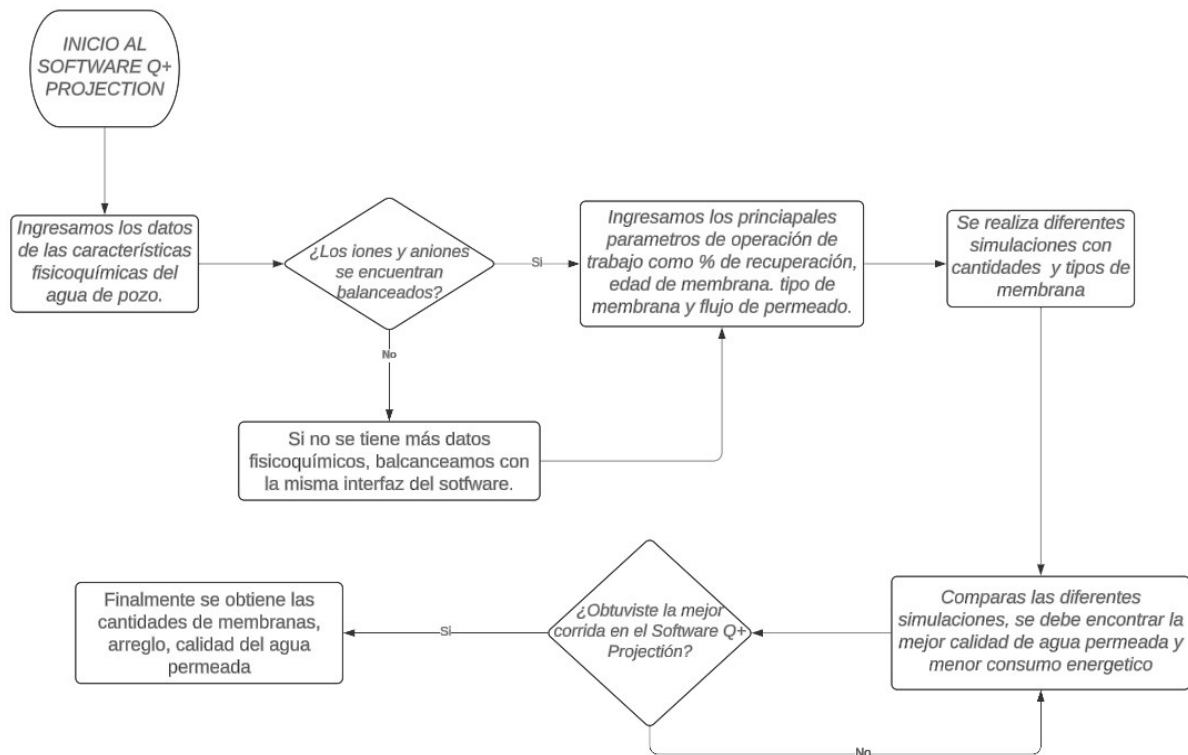
Variables de entrada	Variables de salida
Porcentaje de recuperación del sistema	Esquema de la planta de OI contigua
Cantidad de membranas	Caudal de agua de rechazo
Tipo de membrana	Calidad de agua de rechazo

Sólidos totales	Calidad de agua de producto
Concentración de iones	Solubilidades
Caudal de agua necesitada o de producto	Presiones y energía consumida por equipos

Con la caracterización fisicoquímica del agua y algunos equipos seleccionados previamente de forma adecuada, se seleccionará un arreglo de tubos para el sistema de ósmosis inversa contigua que nos provea un menor gasto energético y una mejor calidad de permeado. Con ello podemos ingresar estos datos al software para evaluar cuáles sería los valores de flujo de alimentación, presiones y concentraciones presentes para obtener un agua permeada de entre 30 m³/h y 60 m³/h, para de esta forma establecer una relación entre el flujo de alimentación y el flujo de permeado. Con la curva establecida debemos seleccionar el flujo similar o menor a la capacidad de extracción de pozo según permisos otorgados por el ANA para la granja variada, este flujo debe ser suficiente para alimentar una planta de ósmosis inversa que provee un flujo de permeado de 40 m³/h. Los pasos por seguir exactamente se presentan en la siguiente figura:

Figura 5. *Procedimiento por seguir para realizar el diseño del sistema de ósmosis inversa contigua con el programa Projection Q+ Software*

Fuente: Elaboración propia



5.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

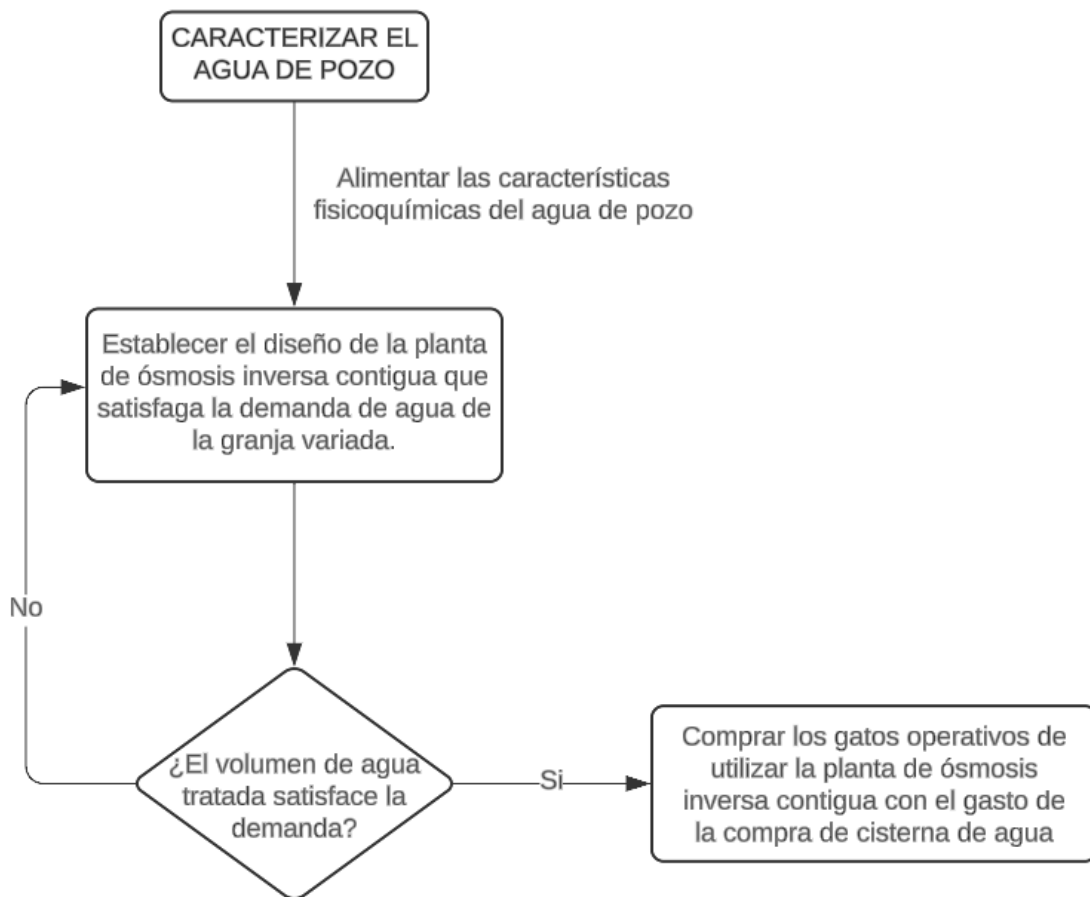
Finalmente, se realizará una evaluación económica de costo operativo sobre la implementación de una planta de ósmosis inversa respecto al abastecimiento de agua mediante camiones cisterna. Para ello debemos primero realizar una obtención de data de los costos que implican el transporte de agua en cisternas y también los gastos logísticos para el caso del costo operativo de la ósmosis inversa se consideran los costos más importantes los cuales son:

- Uso de químico antiincrustante.
- Cambio de filtro cartucho.
- Reposición de membranas para el sistema.
- Costo energético de la planta de ósmosis inversa.
- Limpiezas químicas preventivas y correctivas.
- Reposición de medias filtrantes

- Mantenimiento y operación del equipo de ósmosis inversa.

Figura 6. *Procedimiento por seguir para demostrar la mejora económica*

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE POZO

El análisis físicoquímico del agua de pozo fue realizado por el laboratorio AGQ LABS y es la base del diseño del equipo de ósmosis inversa, esta caracterización fue realizada por la granja variada, y es un documento que se envió en los RFP del proyecto, dicho documento se adjunta en el apartado de anexos.

Tabla 4. *Características fisicoquímicas del agua de pozo utilizada como fuente de alimentación para el sistema de ósmosis inversa.*

Fuente: Realizado en base a los datos medidos por el laboratorio AGQ LABS

PARÁMETRO	CANTIDAD
Bicarbonatos (mg/L CaCO ₃)	82
Carbonatos (mg/L CaCO ₃)	< 4.00
Cloruro (mg/L)	2300
Nitrato (mg/L NO ₃)	144
Sulfato (mg/L)	1192
Conductividad Eléctrica IN Situ Medido MA	9020
pH IN Situ Medido MA	7.81
Boro disuelto (mg/L)	0.675
Calcio disuelto (mg/L)	504
Magnesio disuelto (mg/L)	175
Potasio disuelto (mg/L)	13
Sodio disuelto (mg/L)	1220
Relación de absorción de sodio	12
Sólidos totales disueltos (mg/L)	5476

Adicional al estudio de las características fisicoquímicas, la capacidad del pozo subterráneo utilizado fue analizada por la Autoridad Nacional de Agua (ANA). El informe del ANA nos da la cantidad de agua que puede ser extraída al año de la manera más sostenible, siendo el valor de 194400 m³/año. Considerando que la planta funciona todo el año, con años de 12 meses,

meses de 30 días y 8 horas de funcionamiento de la planta por día; se tiene que la capacidad de extracción de agua salobre es de: $67.5 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua salobre que puede extraerse como máximo del pozo.

6.2 DISEÑO DE UNA PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA

6.2.1 SISTEMA DE BOMBEO DE ALIMENTACIÓN

El sistema de bombeo se alimentará de dos tanques de material HDPE de 25 m^3 cada uno, esto para mantener la continuidad y estabilidad del sistema, el sistema de bombeo está comprendido por 02 bombas centrifugas, uno para la alimentación y el otro para retrolavados, a continuación, las especificaciones técnicas planteadas:

a) Bomba de Operación

Es crucial elegir una adecuada bomba de operación o también conocida bomba de baja para el sistema de ósmosis inversa, ya que la bomba de alta presión que es el corazón de la planta requiere una presentación de alimentación mínima para una mayor eficiencia del sistema. La bomba de operación también es importante para un adecuado pretratamiento a través de los sistemas de filtración, en este caso sistemas de mineral zeolita.

Por un requerimiento según RFP del cliente, la bomba debe ser de la marca Grundfos, para lo cual la misma marca tiene la ventaja de elegir mediante su página web la bomba adecuada de acuerdo con los flujos y presiones calculadas según el software Q+ Projection Software.

En la tabla 5 se muestran las características más importantes del equipo, en adelante, para todos los componentes de igual forma se indicarán las características y/o parámetros de operación más recalables de acuerdo con el diseño realizado y una previa elección adecuada de cada componente.

Tabla 5. *Características de la bomba de operación en el sistema de ósmosis inversa contigua.*

Fuente: www.grundfos.com

Característica	Valor
Operación	Uno (01)
Marca	Grundfos
Tipo	CRN 45-2-2
Modelo	Centrifuga vertical multietapas
Material partes húmedas	Acero inoxidable 316
Capacidad por bomba	235 gpm a 60 psi
Motor	15 HP, 460 V, 60 Hz
Variador de frecuencia	Incluido

b) Bomba de Retrolavados

La bomba de retrolavados tiene como función principal mantener la vida útil de los filtros que se tienen como pretratamiento al equipo de ósmosis inversa, el retrolavado ayuda a eliminar las partículas que se acumulan en la media filtrante, de lo contrario la media puede llegar a obstruir el flujo de agua o en casos más severos la media filtrante puede llegar a canalizar pasando el flujo de agua de forma directa sin ninguna retención de sólidos.

La bomba de retrolavados se escoge de acuerdo con la capacidad de los filtros y estos últimos son elegidos de acuerdo con el flujo de alimentación al sistema, debe asegurarse una adecuada frecuencia y flujo de retrolavado.

Tabla 6. *Características de la bomba de retrolavados en el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente: www.grundfos.com

Característica	Valor
Retrolavados	Uno (01)
Marca de la bomba	Grundfos
Tipo	CRN 45-2-2
Modelo	Centrifuga vertical multietapas
Material partes húmedas	Acero inoxidable 316
Capacidad por bomba	235 gpm a 60 psi
Motor	15 HP, 460 V, 60 Hz
Variador de frecuencia	Incluido
Marca del variador	Danfoss

Figura 7. *Bomba utilizada tanto como bomba de operación como de retrolavados*

Fuente: www.grundfos.com



6.2.2 SISTEMA DE FILTRACIÓN

El sistema de filtración propuesto es con media filtrante tipo zeolita, esto para darle una mayor capacidad de filtración para remoción de solidos suspendidos mayores a 10 micras, otro motivo por la elección de esta media en específico es que se requiere menor cantidad de agua para retrolavado por el cual se genera un ahorro energético mediante el uso de la bomba de retrolavados, se elige 02 filtros de acuerdo al flujo de ingreso que tendrá el sistema de ósmosis inversa, es importante que se realicé una adecuada programación a la válvulas automáticas de estos filtros, ya que inadecuados tiempos y frecuencia de retrolavados puede colmatar la media filtrante y en casos más severos canalizar.

Un sistema de filtración diseñado adecuadamente y con parámetros de operación correctos ayuda a prolongar la vida útil de las membranas, es importante tener mínimo 02 filtros, al momento de retrolavarse 01 filtro el otro puede seguir produciendo agua filtrada a continuación, las especificaciones técnicas planteadas.

Tabla 8. *Características del sistema de filtración en el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente: www.snowate.com

Característica	Valor
Cantidad de filtros	Dos (02)
Flujo de alimentación total	235 gpm
Carga hidráulica en operación	5 gpm/ft ²
Área de filtración por filtro	22 ft ²
Altura de cama filtrante	40 pulgadas
Medio filtrante	14 ft ³ grava y 55 ft ³ zeolita
Tamaño de malla	12 x 30
Presión de operación	60 psi
Presión de diseño	100 psi
Expansión de la cama (retrolavados)	50%
Flujo de retrolavados por filtro	303 gpm
Duración	10 minutos
Diámetro del filtro	63 pulgadas
Altura del filtro	67 pulgadas
Cuerpo	Cilindro vertical
Material de fabricación	FRP/Composite
Marca	Winder
Material tubería	PVC
Cedula	80

Figura 8. Sistema de filtración con filtrante tipo zeolita

Fuente: www.snowate.com



6.2.3 PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA

La capacidad de demanda de la planta de ósmosis inversa es un requerimiento por parte de la granja según RFP, en este caso es 40 m³/h, para ello se ha utilizado el Q+ Projection Software con las variables de salida se seleccionó cantidades de membranas, filtros y capacidad de bomba de alta presión.

Es crucial realizar algunas corridas adicionales en dicho software para evaluar diferentes arreglos que puede mejorar la calidad de TDS al agua permeada o incluso realizar menor consumo energético de la bomba de alta, también es importante evaluar diferentes membranas de las que son usadas normalmente para agua salobre, una vez realizado diferentes corridas se selecciona la más adecuada.

El software tiene la opción en el cual se especifica las presiones de trabajo en cada punto, flujos y valores de salinidad de los posibles contaminantes hacia las membranas, es importante verificar que estos datos estén dentro de los rangos admisibles para continuar con la selección de los demás equipos para el sistema de ósmosis inversa.

a) Diseño del equipo de ósmosis inversa.

Para este apartado, se debe evaluar el flux para el sistema, el flux es la división del flujo de membrana entre el área efectiva de la misma, el flux teórico no necesariamente es el que se escoge, inclusive los softwares de diseño de membranas consideran flux conservadores, con valores al de 30 al 50% del flux teórico, para nuestro caso el flux de diseño será el mismo al flux calculado por el Q+ Projection Software, con este valor es que se escoge la cantidad de membranas y el arreglo correspondiente, como se mencionó anteriormente, este arreglo se escoge realizando diferentes corridas y escogiendo el adecuado según valores de TDS en el permeado y consumo energético de la bomba de alta, a continuación los parámetros principales para el sistema.

Tabla 8. *Características del sistema de ósmosis en el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente: Q+ Projection Software

Característica	Valor
Número de trenes	Uno (01)
Arreglo por tren	6:3
Flujo de alimentación	235 gpm
Flujo de agua producto	176 gpm
Flujo de rechazo	59 gpm
GFD	11.7
Recuperación	75 %
Presión de operación	250 psi
Temperatura del agua	25°C
Dosis e inhibidor de incrustación	0.35 – 0.50 ppm

b) Filtro de cartucho

Los filtros cartuchos son de polipropileno, y mayormente seleccionados para 5 micras de filtración, ya que asegura que no haya pase de partículas que no pudieron ser filtradas en el sistema de media filtrante.

Tabla 9. *Características del filtro pulidor de cartuchos en el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente de: shelco.com

Característica	Valor
Cantidad	Uno (01)
Marca	Shelco
Modelo	22" x 40"
Material del filtro cartucho	Polipropileno
Diámetro de cartucho	2.5 pulgadas
Altura de cartucho	40 pulgadas
Material del portafiltro	Acero inoxidable 316
Retención	5 micras.

Figura 9. *Filtro pulidor de cartuchos*

Fuente: shelco.com



c) Bomba de alta presión.

La bomba de alta presión es el corazón de un sistema de ósmosis inversa, es importante la elección de una adecuada bomba, el objetivo es que pueda vencer la presión osmótica proveniente del agua de alimentación, usando Q+ Projection Software podemos estimar la presión necesaria a vencer, con esta presión se tiende a elegir una bomba de mayor presión, con esto se asegura que el proceso de ósmosis directa se convierta en un proceso de ósmosis inversa venciendo la presión osmótica.

Por el costo elevado de esta bomba, la gran mayoría de sistemas de ósmosis inversa solo cuentan con una bomba de alta, sin embargo, en este caso el cliente requiere 02, una para mantener en stand-by esto debido a la lejanía de la granja, a continuación, los parámetros seleccionados de la bomba de alta.

Tabla 10. *Características de la bomba de alta presión en el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente: www.grundfos.com

Característica	Valor
Cantidad	Dos (02), una en stan-by
Operación	Uno (01)
Marca de la bomba	Grundfos
Modelo	CRN 45-6
Material partes húmedas	Acero inoxidable 316
Tipo	Centrifuga vertical multietapas
Motor	50 HP, 460 V, 60 Hz
Flujo	235 gpm a 250 psi
Variador de frecuencia	Incluido
Marca del variador	Danfoss

Figura 10. *Bomba de alta presión*

Fuente: www.grundfos.com



d) Membranas de ósmosis inversa.

Las membranas de ósmosis inversa tienden a tener una remoción del 99 al 99.6 % de sales según ficha técnica del fabricante, es importante escoger la cantidad adecuada y el modelo para una fuente de alimentación de agua salobre.

Tabla 11. *Características de las membranas de alta presión en el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente: www.lgwatersolutions.com

Característica	Valor
Cantidad	Cincuenta y cuatro (54)
Marca	LG nanoH2O
Modelo	LG BW 400 ES
Material	Poliamida
Diámetro	8 pulgadas
Longitud	40 pulgadas
Rechazo de sales	99.6 %

Figura 11. *Membrana utilizada para ósmosis inversa*

Fuente: www.lgwatersolutions.com



e) Recipientes de presión.

Los recipientes de presión también llamados comúnmente housing o vessel deben tener la principal capacidad de soportar la presión de diseño, para este sistema de ósmosis inversa y de acuerdo con la presión que indica el sistema se escoge uno de 450 psi, en la tabla 12 se indica las demás características.

Tabla 12. *Características de los recipientes presión en el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente: www.snowate.com

Característica	Valor
Cantidad	Nueve (09)
Marca	Winder
Presión de operación	450 psi
Material	FRP
Código de fabricación	ASME

Figura 12. *Recipiente de presión utilizado en sistemas de ósmosis inversa*

Fuente: www.snowate.com



f) Soporte estructural para la planta de ósmosis inversa.

Tabla 13. *Características del soporte estructural en el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente: es.pureaqua.com

Característica	Valor
Material	Acero inoxidable 316
Limpieza de estructura	Pasivado
Espesor	4 milésimas

Figura 13. *Ejemplo de soporte estructural (color azul)*

Fuente: es.pureaqua.com.



g) Sistema de control y fuerza.

Tabla 14. *Características del sistema de control y fuerza en el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente: www.danfoss.com

Característica	Valor
Gabinete	Uno (01)
Protección	IP55
Marca gabinete	Rittal
Marca accesorios	Schneider
PLC	Uno (01)
Marca	Siemens
Puerto de Comunicación	Ethernet
Panel View	Incluido
Configuración y programación	Incluido
Accesorios Monitoreo Remoto	Incluidos
Alarma Visible y Audible	Incluido
Variadores de Frecuencia	Incluidos
Marca	Danfoss
Puerto de Comunicación	Ethernet

Figura 14. *Sistema control y fuerza para el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente: www.danfoss.com



h) Equipo dosificador de antiincrustante.

La bomba dosificadora de químico debe tener la capacidad y el rango más cercano posible de acuerdo con la ppm calculados según el flujo de agua a tratar, el material se escoge de acuerdo con la base química del antiincrustante.

Tabla 15. *Características del equipo dosificador de antiincrustante en el sistema de ósmosis inversa contigua*

Fuente: www.grundfos.com

Característica	Valor
Tanque de antiincrustante	Uno (01)
Capacidad	100 L
Material	HDPE
Bomba dosificadora	Una (01)
Marca	Grundfos
Capacidad	6 LPH a 150 psi
Válvula de pie	Incluido

Figura 15. *Dosificador de antiincrustante para un sistema de ósmosis inversa*Fuente: www.grundfos.com

6.2.4 SISTEMA DE LIMPIEZA QUÍMICA (CIP)

El sistema de limpieza química para la ósmosis inversa, conocido como clean in place (CIP) este compuesto por un tanque tipo HDPE, este sistema se utilizará para los enjuagues (cuando el equipo este en stand-by) o cuando se realicen limpiezas químicas como mantenimiento del sistema en general, a continuación, las especificaciones técnicas planteadas.

- a. Bomba y tanque de limpieza química

Tabla 16. *Características del CIP en el sistema de ósmosis inversa contigua*Fuente: www.danfoss.com

Característica	Valor
Cantidad	Uno (01)
Operación	Uno (01)
Marca de la bomba	Grundfos
Tipo	Centrifuga vertical multietapas

Modelo de bomba	CRN 64-2-1
Material partes húmedas	Acero inoxidable 316
Capacidad por bomba	360 gpm a 60 psi
Motor	20 HP, 460 V, 60 Hz
Variador de frecuencia	Uno (01)
Marca del variador	Danfoss
Tanque de limpieza	Uno (01)
Volumen del tanque	1300 L
Material	HDPE
Fondo	Cónico

Figura 16. Sistema CIP con su filtro cartucho y bomba para limpieza química.

Fuente: es.pureaqua.com.



b. Filtración por cartucho en CIP.

Es importante que un sistema CIP tenga sus propio filtración por cartucho ya que, al realizar la limpieza mediante un circuito cerrado, el ensuciamiento tiende a quedarse en estos filtros y pueden observarse visualmente el tipo de ensuciamiento encontrado.

Tabla 17. Características del filtro por cartucho del CIP en el sistema de ósmosis inversa contigua

Fuente: shelco.com

Característica	Valor
Cantidad	Uno (01)
Marca	Shelco
Modelo	22" x 40"
Material	Polipropileno
Número de cartuchos por filtro	Veintidós (22)
Diámetro de cartuchos	2.5 pulgadas
Altura de cartuchos	40 pulgadas
Material	Acero inoxidable 316
Retención	Cinco micras

Figura 17. *Filtración por cartucho para un sistema de ósmosis inversa*

Fuente: shelco.com



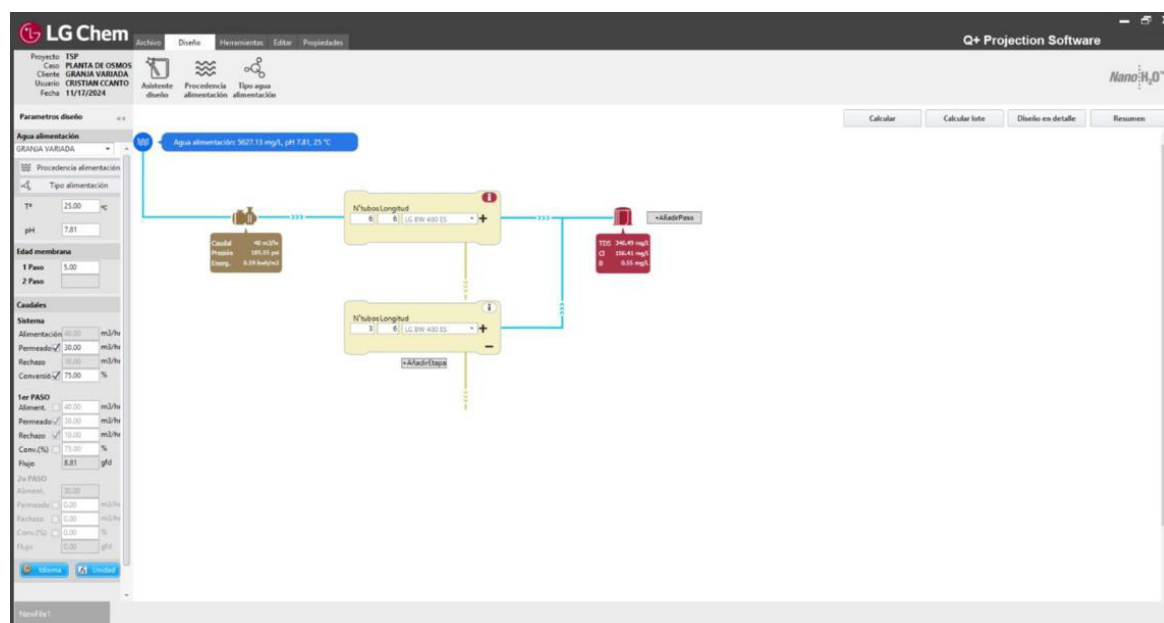
6.2.5 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE Q+

La simulación se realizará utilizando un arreglo en relación de 6 a 3 ya que según diferentes corridas realizadas en el Q+ Projection Software, se tiene menores valores de TDS y el menor consumo energético para la bomba de alta presión. La cantidad de membranas por cada housing es de 6 por un tema comercial y stock de los vasos de presión, pueden colocarse hasta 8 membranas en un housing o a partir de 2, la decisión es netamente comercial. La temperatura se mantiene a 25°C, el porcentaje de recuperación a 75% y el pH a 7.81 para la alimentación (como se registró para el agua de pozo utilizado). Con los parámetros mencionados se procede a trabajar la simulación para los flujos de permeado de: 30, 45 y 60 m³/h, esto se realiza con fines prácticos de la TSP, ya que la granja según RFP ya tiene un requerimiento específico de 40 m³/h de agua permeada, con los valores se tendrán diferentes corridas que se mostrarán a continuación para cada uno.

- **Simulación con 30 m³/h**

Figura 18. Simulación de la planta de ósmosis inversa contigua para un flujo de permeado de 30 m³/h

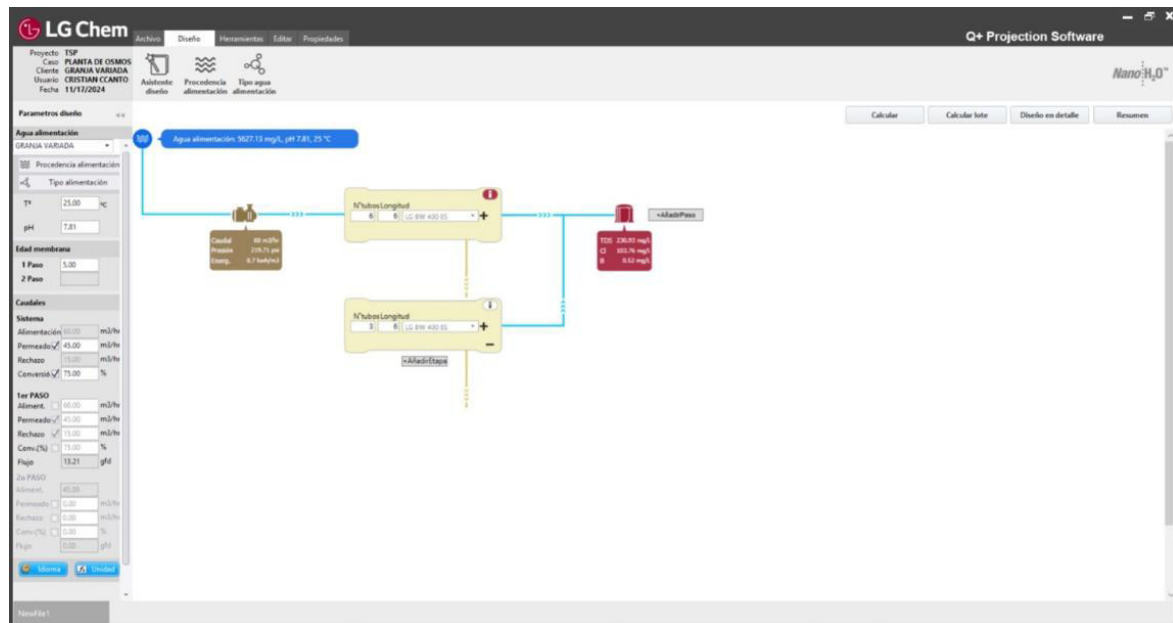
Fuente: Elaboración propia



- **Simulación con 45 m³/h**

Figura 19. Simulación de la planta de ósmosis inversa contigua para un flujo de permeado de 45 m³/h

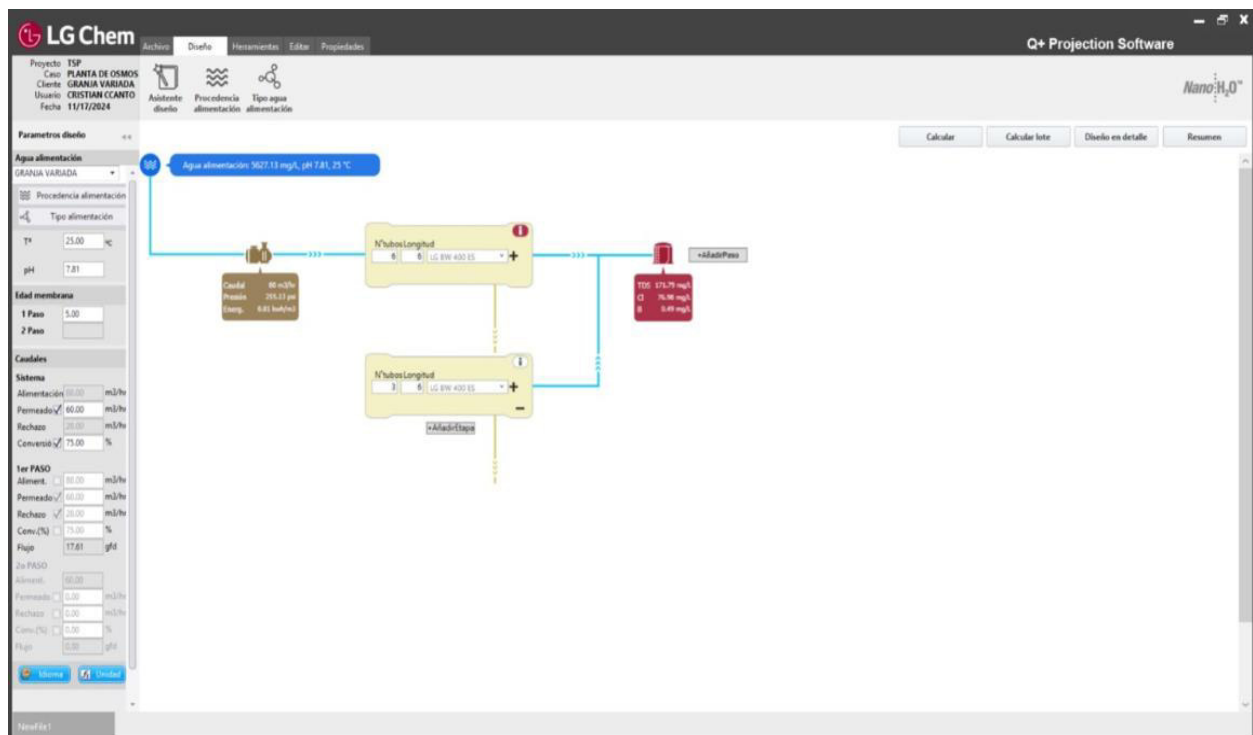
Fuente: Elaboración propia



- Simulación con 60 m³/h

Figura 20. Simulación de la planta de ósmosis inversa contigua para un flujo de permeado de 60 m³/h

Fuente: Elaboración propia



Se obtienen los siguientes valores de flujo de alimentación de acuerdo con las tres simulaciones realizadas.

Tabla 18. *Valores de flujo de alimentación conseguidos en la simulación*

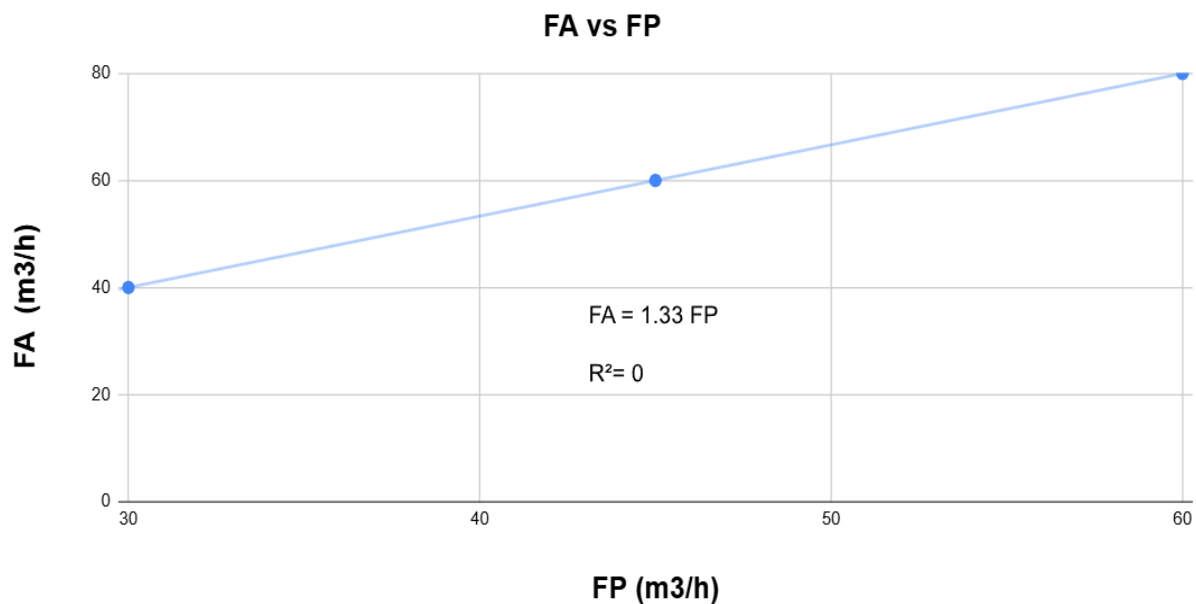
Fuente: Elaboración propia

Flujo de permeado FP (m ³ /h)	Flujo de alimentación FA (m ³ /h)
30	40
45	60
60	80

Con los valores obtenidos se establece una curva de relación entre los flujos de permeado (FP) y los flujos de alimentación (FA) según las corridas presentadas.

Figura 21. *Relación de flujo de alimentación (FA) vs flujo de permeado (FP)*

Fuente: Elaboración propia



Con la relación determinada procedemos a evaluar o estimar la cantidad necesaria de flujo de alimentación para el sistema que tendrá una capacidad de flujo de permeado de 40 m³/h, dando

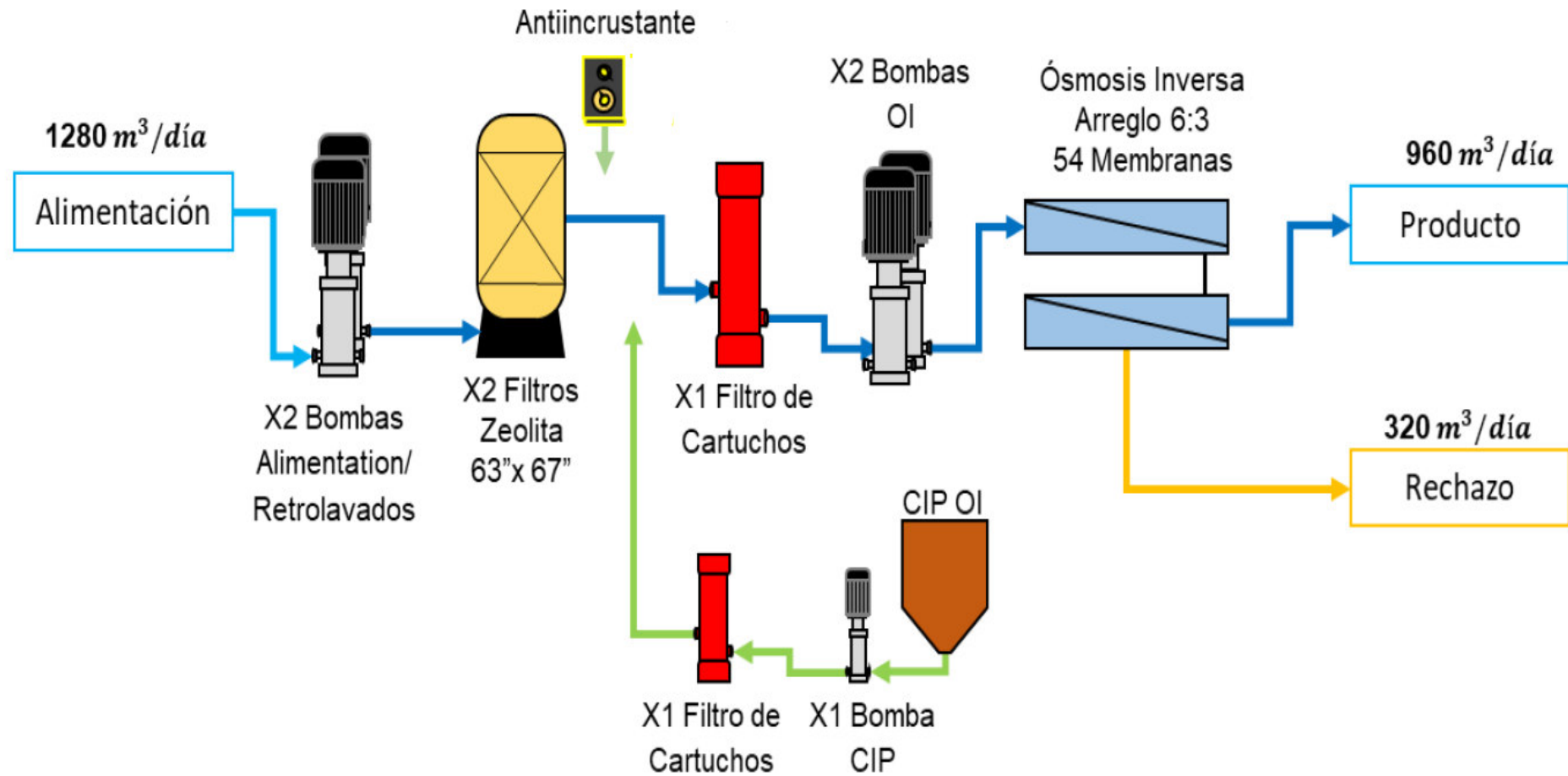
un valor de $53.33 \text{ m}^3/\text{h}$ necesarios como flujo de alimentación. Según lo mencionado anteriormente sobre la capacidad permitida de extracción de agua de pozo, el máximo flujo por hora a utilizar es de $67.5 \text{ m}^3/\text{h}$, este valor cumple con que el agua suministrada por el pozo subterráneo, satisfaciendo la planta de ósmosis inversa contigua diseñada para un flujo de alimentación de $40 \text{ m}^3/\text{h}$. Los detalles extra como los flujos en cada parte del sistema así como su composición se detallan en la sección de anexos.

Es importante realizar esta evaluación previo a cualquier cálculo de diseño, ya que en estos proyectos los clientes no suelen tener una capacidad necesaria y/o los permisos correspondientes.

Finalmente, con los equipos elegidos y el flujo de alimentación determinado se ha definido la siguiente planta:

Figura 22. Planta de ósmosis inversa contigua propuesta

Fuente: Elaboración propia



6.2.6 PARAMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA PRODUCTO

Una vez realizado la simulación en el software Q+, los resultados de las características fisicoquímicas del flujo de permeado; dadas por el programa, serían los siguientes:

Tabla 19. *Características fisicoquímicas del agua permeada del sistema de ósmosis inversa*

Fuente: Elaboración propia

PARAMETRO AGUA PERMEADA	CANTIDAD
Bicarbonatos (mg/L CaCO ₃)	11.04
Carbonatos (mg/L CaCO ₃)	0
Cloruro (mg/L)	104.52
Nitrato (mg/L NO ₃)	29.59
Sulfato (mg/L)	5.92
pH	6.81
Calcio disuelto (mg/L)	5.12
Magnesio disuelto (mg/L)	1.79
Potasio disuelto (mg/L)	4.69
Sodio disuelto (mg/L)	73.74
Sólidos totales disueltos (mg/L)	236.91

Estos valores en el agua permeada del sistema de ósmosis inversa, son aceptables para el consumo directo de porcinos de acuerdo con la tabla 1, llegando incluso a tener la calidad potable sin considerar parámetros bacterianos.

6.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para realizar la evaluación económica se realizará el cálculo de costo operativo en dólares por metro cubico de agua obtenida, tanto para el sistema de ósmosis inversa como para la adquisición de agua en camiones cisterna.

En el litoral peruano el abastecimiento de agua es escaso lo cual limita a las empresas y granjas del sector quienes demandan una gran cantidad para su proceso productivo, para ello es necesario descartar el uso de cisternas, las cuales generan una problemática de salubridad, demoras en el abastecimiento de las unidades y un impacto económico por los costos adicionales que la granja deberá incurrir cuyo valor es de S/ 15.00 por m³ o USD 3.947 según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS)

El costo operativo del equipo de ósmosis inversa para una planta de 40 m³/h se calcula de acuerdo con la tabla 17, el costo aproximado es de USD 1.136 por m³ de agua tratada teniendo un 71.29 % de ahorro respecto a la adquisición de agua en camiones cisterna.

Se debe mencionar que la inversión de la planta en general tiene un costo aproximado de USD 490,000.00 con esta inversión se realiza un cálculo de retorno de inversión para el cliente, se considera 08 horas de trabajo al día, 30 días al mes y 12 meses al año, con estos datos y el costo operativo de la planta (1.136 USD/m³) el retorno de inversión ROI es de 3.7 años.

Tabla 20. *Costo operativo de la planta de ósmosis inversa de 40 m³/h*

Fuente: Elaboración propia

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CONSUMO ESTIMADO		COSTO UNITARIO		COSTO TOTAL	
		Cantidad	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	ANUAL	POR M ³ DE PERMEADO
1	ZEOLITA	240	pie3/años	\$ 290.00	USD/pie3	USD 69,600	USD 0.199
2	DOSIFICACION DE ANTIINCRUSTANTE	30	kg/mes	\$ 85.00	USD/Kg	USD 30,600	USD 0.087
3	FILTRO CARTUCHO	60	filtro/mes	\$ 19.50	USD/Filtro	USD 14,040	USD 0.040
4	Recambio de Membranas RO	52	membranas/3años	\$ 1,200.00	USD/membrana	USD 20,800	USD 0.059
5	Energía	231264	kwh/año	\$ 1.09	USD/kW	USD 252,078	USD 0.719
6	MANTENIMIENTO MECÁNICO	1	% Valor Equipo/año	\$ 526,240.00	USD/Kg	USD 5,262	USD 0.015
7	LIMPIEZA QUÍMICAS	2	Limpiezas/año	\$ 2,500.00	USD/limpieza	USD 5,000	USD 0.014
8	M/O de Operación	24	Horas/día	\$ 1.97	USD/hora	USD 17,257	USD 0.049
TOTAL						USD 387,685	USD 1.183

CONCLUSIONES

- La calidad de agua del pozo el cual será utilizado como agua fuente para el sistema de ósmosis inversa continuo fue analizado por un tercero, en este caso el laboratorio AGQ Labs, que está certificado por el INACAL, los parámetros fisicoquímicos reportados son correspondientes a un pozo salobre según la tabla 2. Se realiza un análisis de calidad y según la tabla 1 que corresponde a los valores aceptables para consumo de porcino verificamos que algunos parámetros en el agua de pozo no cumplen para consumo directo y están en el nivel inadecuado, estos valores son: el TDS con un valor de 5476 ppm y el límite es 3000 ppm, cloruros con un valor de 2300 ppm con límite de 400 ppm, nitrato con un valor de 144 ppm con límite de 100 ppm, sulfato con un valor de 1192 ppm con límite de 500 ppm, calcio con un valor de 504 ppm con límite de 200 ppm, magnesio con un valor de 175 ppm con límite de 100 ppm y finalmente sodio con un valor de 1220 ppm con límite de 300 ppm. Por ello la necesidad de instalar un sistema de ósmosis inversa para que estos parámetros pasen a estar en valores aceptables.
- Como base de cálculo y elección para cada componente del sistema de ósmosis inversa se utilizó el Q+ Projection Software, se realizan algunas corridas a diferentes flujos de permeado para evaluar los diferentes flujos de alimentación, cabe recordar que se tiene un análisis de capacidad de captación de agua de pozo realizado por el ANA teniendo una capacidad máxima de $67.5 \text{ m}^3/\text{h}$, con este valor referencial, con un permeado de $40 \text{ m}^3/\text{h}$ y con un porcentaje de recuperación del 75% se determina un flujo de alimentación de $53.33 \text{ m}^3/\text{h}$, valor que se encuentra por debajo de la capacidad máxima dispuesta, ya en la interfaz del software se ingresan las variables de entrada más importantes como el análisis fisicoquímico del agua de pozo, flujo de permeado,

porcentaje de recuperación y modelo de membrana seleccionado para agua salobre, con el resultado de las corridas, se eligen los componentes adecuados dentro de las cantidades recomendadas y los rangos de presión de trabajo. Finalmente, la misma interfaz del software nos brinda una calidad de agua permeada, este último se encuentra dentro del rango aceptable según la tabla 1 que corresponde a los valores aceptables para consumo de porcino en granjas.

- Se realizó un análisis de costos operativos del sistema y un análisis de costos sobre el abastecimiento de agua mediante camiones cisterna, se ha comparado ambos escenarios, el primero mediante la tabla 20 con un costo de 1.183 USD/m³ y en el segundo bajo un análisis realizado por la entidad de Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) con un costo aproximado de 3.947 USD/m³ es importante recalcar que el agua osmotizada obtenida tiene menor cantidad de TDS en con respecto a la adquisición mediante cisternas, se tiene un ahorro de hasta 70.02 % por m³ de agua tratada, si bien es cierto se tiene un CAPEX de USD 526,240.00 y realizando un análisis de retorno de inversión ROI, se obtiene un valor de 1.3 años.

RECOMENDACIONES

- El flujo de permeado requerido por la empresa es de 40 m³/h se da utilizando 53.33 m³/h de consumo del agua fuente que es el pozo salobre, pero no abarca la capacidad máxima de extracción de 67.5 m³/h. Por ello puede plantearse el diseño de la planta para usar toda el agua disponible y no solo alimentar la granja variada, sino diferentes número de equipos que necesitan agua tratada generando un clúster alrededor de la planta de osmosis; o si se pudiese, vender el agua a empresas circundantes a la granja.

- Al tener una planta de osmosis inversa de mayor capacidad y según lo recomendado líneas arriba incluso es posible potabilizar el agua para consumo de los trabajadores, para ello se tendría que realizar una línea adicional al permeado que deberá pasar por un sistema ultravioleta mediante el uso de las lámparas y también el sistema de ozonificación para finalmente poder ser embotellados en bidones de 20 kg para consumo directo del personal.
- Es necesario sugerir a la granja en donde se implementará la planta de osmosis, tener un sistema automatizado. De esta manera se tendrá un control preciso de cada parte de la planta en tiempo real, aunque los costos sean elevados es importante considerar la automatización, porque como se ha mencionado los cambios en diferentes parámetros como presión o flujos pueden llegar a deteriorar las partes más sensibles de la planta como lo es la membrana. Incluido a ello se agregaría mayor facilidad de uso e inspección de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- Rodríguez A. et al. (2019.). *Sincronización e Integración en SCADA de un proceso de desalinización*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000200334
- Alcazar, C. et al. (2021). *Eco-Agua, propuesta para el acceso al agua potable, dirigido a los proyectos inmobiliarios de la costa peruana*. [Tesis de máster, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/20891>
- Arnal, J. M., Fayos, B. G., Antón, A. C. G., & Fernández, M. S. (2016). *Diseño de una instalación de desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa equipada con un mantenimiento preventivo específico*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8230469>
- Atecio D. & Garcia C. (2022) *Plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de planta Termozulia*. *Revista Tecnocientífica URU*, 22, 76–93. <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/article/view/atenciongarcian22a22>
- Baker, R. W. (2012). *Membrane Technology and Applications*. Pag. 207-251 <https://doi.org/10.1002/9781118359686>

- Cabezas, J (2018) Nuevas aplicaciones de la ósmosis inversa. *Paradigmas*, 4(1).
<https://doi.org/10.31381/paradigmas.v4i1.552>
- Cairampoma A, A., & Villegas V, P. (2016). Régimen jurídico de las aguas subterráneas en el Perú. *THEMIS Revista De Derecho*, (69), 147-158.
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/themis/article/view/16757>
- Castañeda, L. (2023). *Una revisión de la tecnología de osmósis inversa enfocada al tratamiento de agua contaminada por metales pesados y sales, para el consumo humano y aplicación en la costa del Perú* [Trabajo de investigación para bachiller, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo].
https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6217/1/TB_Casta%c3%bledaLopezElvis.pdf
- Condor, L. (2022). *Calidad del agua subterránea obtenida por ósmosis inversa en la PTAP-Tunshuruco de la Minera Chinalco Perú S.A. mediante análisis fisicoquímico y microbiológico para consumo humano, Morococha-2022* [Tesis para título profesional, Universidad Nacional Alcides Carrión].
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3121>
- Contreras, K & Estacio J. (2021). *TRATAMIENTO DE AGUA DE POZO POR OSMOSIS INVERSA PARA USOS EN LA INDUSTRIA AGRÍCOLA* [Tesis de título profesional, Universidad San Ignacio de Loyola] <https://acortar.link/LL5XUJ>.

- Crittenden, J. et. al (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design* (J. W and Sons Ed.) (Tercera Edición).
- De Blas, C. et. Al *Necesidades nutricionales para ganado porcino*. Normas FEDNA (2da ed.). (2013). [Libro digital]. Normas FEDNA. https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Normas%20PORCINO_2013rev.pdf.
- De Los Ríos, M. D., & Acosta, Y. L. (2018). Perspectivas del tratamiento de efluentes de destilerías y plantas de derivados mediante tecnologías de membranas. *Revista Centro Azúcar/Centro Azúcar*, 45(3), 14–23. <http://biblat.unam.mx/hevila/Centroazucar/2018/no3/2.pdf>.
- Entrena C. (2020) Departamento De Ingeniería Química Ambiental, U. *Optimización de las limpiezas de membranas de una planta desaladora de 282 MLD por ósmosis inversa en Oriente Medio*. idUS - Depósito De Investigación Universidad De Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/99348>.
- *Industrial Filter Housings*. (n.d.). Shelco. Recuperado el 19 de noviembre de 2024 de: <https://shelco.com/products/shelco-industrial-products/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2024, 15 de junio). *Producción nacional aumentó en 5,28% durante abril de 2024* [Comunicado de prensa]. <https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/972486-produccion-nacional-aumento-en-5-28-durante-abril-de-2024>.

- Kavitha, J., Rajalakshmi, M., Phani, A., & Padaki, M. (2019). Pretreatment processes for seawater reverse osmosis desalination systems—A review. *Journal of Water Process Engineering*, 32, 100926. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100926>
- Lutsak, E. V. A., & Remache, A. M. (2022). Ósmosis inversa y destilación: análisis comparativo de la integración en plantas de potencia. *Revista Científica Y Tecnológica UPSE*, 9(2), 1–18. <https://doi.org/10.26423/rctu.v9i2.700>
- *Membrane Housings*. (n.d.). Snowate. Recuperado el 19 de noviembre de 2024 de: <https://www.snowate.com/parts/membrane-housing/>
- Ministerio de Sanidad y Política Social (2009). Guía de desalación: Aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano. Madrid. Recopilado el 29 de octubre de 2024 de: https://www.sanidad.gob.es/en/profesionales/saludPublica/docs/Guia_desalacion.pdf
- Panagopoulos, A., Haralambous, K., & Loizidou, M. (2019). Desalination brine disposal methods and treatment technologies - A review. *The Science of the Total Environment*, 693, 133545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.351>
- *Productos*. (n.d.). www.lgwatersolutions.com. Recuperado el 19 de noviembre de 2024 de: <https://www.lgwatersolutions.com/es/product/seawater-ro>

- *Products*. (n.d.). Danfoss. Recuperado el 19 de noviembre de 2024 de: <https://www.danfoss.com/en/products/>
- Rayme, A. (2022). *Diseño y optimización de un sistema de generación de agua purificada (PW) para uso farmacéutico, Lima* [Monografía Técnica para título profesional, Universidad Nacional de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/ac3ba343-fbe6-4e70-9e61-9e058c2a523b>
- *Selección de equipos y bombas*. (n.d.). Grundfos. Recuperado el 19 de noviembre de 2024 de: <https://www.grundfos.com/es>.
- *Sistemas de purificación personalizada*. (n.d.). es.pureaqua.com. Recuperado el 19 de noviembre de 2024 de: <https://es.pureaqua.com/sistemas-de-purificacion-personalizada/>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass). (2016). Sunass: Comprar agua por camión cisterna les cuesta a las familias limeñas 72 soles mensuales. Recuperado el 1 de noviembre de 2024 de: https://www.sunass.gob.pe/doc/NotasPrensa/2016/enero/np22_2016.pdf
- Yu, W., Song, D., Chen, W., & Yang, H. (2020). Antiscalants in RO membrane scaling control. *Water Research*, 183, 115985. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115985>

ANEXOS

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DE POZO SALOBRE REALIZADO POR EL LABORATORIO AGQ LABS

Figura 23. Resultados de calidad de agua

Fuente: Laboratorio AGQ Labs

Tipo de Producto		CALIDAD DE AGUA		
Fecha de muestreo		21/03/2023	21/03/2023	21/03/2023
Hora de inicio de muestreo (h)		17:20	17:40	17:10
Coordenada UTM		E:0173145	E:0173140	E: 0173136
		N: 8848108	N: 8848109	N: 8848116
Nombre de la Estación		SV-01	SV-02	SV-03
Matriz		Agua de Manantial/Pozo	Agua Purificada	Agua Residual Industrial
N° de Referencia del Laboratorio		A-23/033477	A-23/033499	A-23/034324
Parámetro	Unidades		RESULTADOS ANALITICOS	
Aniones				
Bicarbonatos	mg/L CaCO3	82,0	<4.00	284
Carbonatos	mg/L CaCO3	< 4,00	<4.00	<4.00
Cloruro	mg/L	2 300	79	7 986
Nitrato	mg/L NO3	144	24	463
Sulfato	mg/L	1 192	4.2	2 859
Mediciones In Situ				
Conductividad Eléctrica In Situ Medido MA	µS/cm a 25°C	9 020	348	26 800
pH In Situ Medido MA	Unidades de pH	7.81	7.51	7.46
Metales Disueltos: Cationes				
Boro Disuelto	mg/L	0.675	0.547	1.55
Calcio Disuelto	mg/L	504	1.7	1 944
Magnesio Disuelto	mg/L	175	0.557	621
Potasio Disuelto	mg/L	13	0.83	31
Sodio Disuelto	mg/L	1 220	66	3 737
Relaciones de interés:Absorción de Sodio				
RAS (EPS)		12	11.3	19.1
Parámetros Físco - Químicos				
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5 476	217	19 828

RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA DEL ANA PARA LA EXTRACCIÓN DEL AGUA DE POZO

Figura 24. *Derecho de uso de agua de pozo*

Fuente: ANA


Resolución Administrativa
N° 106-2019 -ANA-AAA.HCH-ALA.CHUARMY
 LICENCIA DE USO DE AGUA POR CAMBIO DE TITULARIDAD
 Decreto Supremo N° 022-2016-MINAGRI

Fuente de agua y volumen asignado

Fuente agua	Subterráneo, Acuífero GRAMADAL				
Punto captación	WGS 84 (UTM) / ZONA:18 / Este: 173 108,00 / Norte: 8 848 078,00 Pozo				
Caudal (l/s)	Régimen de explotación				
	25,000	h/d : 6,000 d/m : 30 m/a : 12			
Volumen asignado	194 400,00 (m³/año)				
Volumen asignado mensual (m³/año)					
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
16 511,00	14 913,00	16 511,00	15 978,00	16 511,00	15 978,00
Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
16 511,00	16 511,00	15 978,00	16 511,00	15 978,00	16 511,00

Artículo 3º.-

Disponer la notificación a los administrados, inscripción en el Registro Administrativo de Derechos de Uso de Agua y su publicación en el portal web de la Autoridad Nacional del Agua.



AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
 ADMINISTRACIÓN LOCAL DE AGUA CASIRAHUAY
 ING. ELISEO MARCIANO PUELLES LOZADA
 ADMINISTRADOR LOCAL DE AGUA

RESULTADOS DETALLADOS DEL SOFTWARE PROJECTION Q+

Figura 25. *Flujos volumétricos, presiones aplicadas y concentraciones detalladas de cada etapa*

Fuente: Software Q+

2024-08-26 08:58:04

v3.3.0.2

Project name:

Customer:

Username:

Water type: CC-0824-AP-002. RE

Flux loss per year: 7.00%

Salt passage increase: 7.00%

Membrane age: 3

Safety factor: 1

Overall System

Total permeate flow: 40 m3/hr

Raw water flow: 53.33 m3/hr

Total concentrate flow: 13.33 m3/hr

Overall recovery: 75 %

Water source: Well Water (SDI<3)

Raw water TDS: 5,642.48 mg/L

Feed osmotic pressure: 47.44 psi

Concentrate osmotic pressure: 182.78 psi

Feed pressure: 205.8 psi (1P)

System - Pass1

Permeate flow: 40 m3/hr

RO feed flow: 53.33 m3/hr

Concentrate flow: 13.33 m3/hr

Recovery: 75 %

Number of elements: 54

ERD type: None

Recirculation:

Average flux: 11.74 gfd

Water source: Well Water (SDI<3)

Feed TDS: 5,642.48 mg/L

Feed osmotic pressure: 47.44 psi

Concentrate osmotic pressure: 182.78 psi

Pump efficiency: 80 %

Temperature: 25 °C

Average NDP: 32 psi

Specific energy: 0.66 kWh/m³

Feed pressure: 205.8 psi

Permeate TDS: 236.93 mg/L

Fouling factor: 0.8

	# of vessels	# of elements	RO feed flow	Permeate flow	Conc. flow	RO feed pressure	Conc. pressure	Vessel DP	Boost pressure	Back pressure	Inter-stage pressure loss	Average flux	Perm. TDS
			m3/hr	m3/hr	m3/hr	psi	psi	psi	psi	psi	psi	gfd	mg/L
Stage 1	6	6	53.33	35.4	17.93	205.8	196.42	9.39	0	0	0	15.59	138.23
Stage 2	3	6	17.93	4.56	13.36	196.42	188.16	8.26	0	0	0	4.02	1002.31

Water Analysis - Pass1

Species	Raw water	Adjusted feed	Conc.			Permeate		
			Stage1	Stage2	Composite	Stage1	Stage2	Composite
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	1,224.90	1,224.90	3,559.16	4,667.64	4,667.64	42.84	313.46	73.74
Potassium	13.05	13.05	33.09	38.04	38.04	2.90	18.62	4.69
Magnesium	175.70	175.70	520.64	695.82	695.82	1.02	7.70	1.79
Calcium	506.02	506.02	1,499.47	2,004.06	2,004.06	2.94	22.00	5.12
Strontium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chloride	2,290.66	2,290.66	6,694.69	8,828.78	8,828.78	60.46	446.24	104.52
Sulfate	1,187.16	1,187.16	3,524.77	4,719.92	4,719.92	3.39	25.45	5.91
Nitrate	143.42	143.42	391.60	483.86	483.86	17.74	121.47	29.59
Carbonate	0.83	0.83	2.47	3.30	3.30	0.00	0.02	0.00
Bicarbonate	100.07	100.07	284.90	366.32	366.32	6.47	46.53	11.04
Boron	0.67	0.67	1.06	1.14	1.14	0.47	0.82	0.51
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
TDS	5,642.48	5,642.48	16,511.85	21,808.87	21,808.87	138.23	1,002.31	236.91
pH	7.81	7.81	8.22	8.32	8.32	6.72	7.54	6.81

Figura 26. *Flujos, presiones aplicadas y concentraciones detalladas de cada membrana en cada etapa; y las solubilidades de la alimentación y el concentrado*

Fuente: SOFTWARE Q+

Within Vessels - Pass1

	Position	RO feed	Permeate	Flux	Element	Element	Net driving	Polarization	Feed TDS	Perm. TDS
		flow	flow		recovery	DP	pressure			
		m3/hr	m3/hr		gfd	%	psi		psi	mg/L
Stage 1										
LG BW 400 ES	1	8.89	1.53	24.19	17.17	3.00	139.15	1.26	5,641.86	44.93
LG BW 400 ES	2	7.36	1.32	20.91	17.91	2.18	122.52	1.27	6,802.23	68.37
LG BW 400 ES	3	6.04	1.09	17.31	18.08	1.57	104.00	1.26	8,272.42	107.54
LG BW 400 ES	4	4.95	0.86	13.62	17.36	1.14	84.47	1.24	10,074.83	173.42
LG BW 400 ES	5	4.09	0.64	10.18	15.69	0.84	65.65	1.21	12,155.89	282.36
LG BW 400 ES	6	3.45	0.46	7.32	13.38	0.65	49.22	1.17	14,368.37	455.43
Stage 2										
LG BW 400 ES	1	5.98	0.41	6.46	6.82	1.70	44.37	1.09	16,521.10	565.46
LG BW 400 ES	2	5.57	0.33	5.16	5.84	1.53	36.25	1.07	17,690.40	749.78
LG BW 400 ES	3	5.24	0.26	4.13	4.97	1.39	29.63	1.06	18,743.09	976.34
LG BW 400 ES	4	4.98	0.21	3.34	4.23	1.29	24.37	1.05	19,674.85	1,246.08
LG BW 400 ES	5	4.77	0.17	2.75	3.62	1.21	20.26	1.04	20,491.24	1,553.71
LG BW 400 ES	6	4.60	0.14	2.29	3.14	1.14	17.05	1.03	21,205.52	1,889.96

Solubility - Pass1

	Solubility calculation	
	Feed	Conc.
LSI	0.69	2.16
CaSO4	46.17 %	243.4 %
SrSO4	0 %	0 %
BaSO4	0 %	0 %
CaF2	0 %	0 %
SiO2	0 %	0 %
Stiff Davis Index	-0.01	0.79