



IMPULSADA POR FIA ESTUDIOS PARA LA INNOVACIÓN 2020

INFORME TÉCNICO FINAL PARA DIFUSIÓN

Nombre iniciativa:	Evaluación de viabilidad económica de una cubierta modular flotante generadora de electricidad y que reduce pérdida de agua por evaporación, comparada con una planta solar flotante convencional con una superficie de 1.000 m2.
Código iniciativa:	EST – 2020 - 1464
Nombre Ejecutor:	Consultoría empresarial y fabricación de aparatos agrícolas patohormoneador Ltda.

Copiapó, abril 2021

Carlos Hernán Pérez Gutiérrez, Ingeniero Agrónomo

Juan Carlos Madrigal Lobos, Ingeniero Civil industrial e Ingeniero electrónico

Académico Universidad de Atacama (Jefe de corte de la carrera Técnico universitario en energías renovables y eficiencia energética.)

Sebastián Antonio Pérez Flores, Ingeniero en Electricidad.

Sergio Augusto Flores Tulian, Doctor en Astrofísica.

Académico Universidad de Atacama

Patricio Javier Pérez Gutiérrez, Ingeniero Informático.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	7
contexto de la propuesta	7
características de la propuesta	8
Descripción de la solución que se estudiará	8
Sistema de limpieza de paneles con drones	8
Objetivos y resultados esperados.....	10
Objetivo específico N°1	10
Objetivo específico N°2	10
Objetivo específico N°3	11
Objetivo específico N°4	11
Restricciones legales que impidan el desarrollo y comercialización de la propuesta	12
Búsquedas de sistemas similares.....	12
Búsqueda internacional.....	12
Búsqueda Nacional INAPI	12
Conclusión de la búsqueda	13
Regulaciones nacionales de operación en Chile	13
Sobre reunión con Superintendencia de electricidad y Combustibles (SEC).....	13
Participación en Webinar SEREMI energía	14
Evaluar posible demanda del mercado.....	16
Catastro de tranques.....	16
Sector Agrícola	17
Sector Minero	22
Herramientas de apoyo financiero	26
Públicas.....	26
Privadas	26
Características de las propuestas	28
Antecedentes del sitio propuesto para el análisis.	28
Locación	28
Capacidades de generación de energía.....	29
Descripción de sistema de conexión al sistema eléctrico	32
Sistema disponible en el mercado	32

Información del sistema	32
Potencia calculada.....	33
Costos involucrados	34
Método de limpieza.	37
Módulo flotante con Panel flexible.....	37
Información del sistema	38
Potencia calculada.....	38
Costos involucrados	39
Método de limpieza	43
Módulo flotante conformado por 9 celdas	44
Información del sistema	45
Potencia calculada.....	45
Costos involucrados	46
Método de limpieza	51
Evaluación productiva	52
Capacidad de producción de energía.....	52
Capacidad de reducción de evaporación	53
Evaluación económica	55
Evaluación de viabilidad económica de cada sistema.....	56
Sistema disponible en el mercado	56
Módulo flotante con panel flexible.....	56
Módulo flotante conformado por 9 celdas	56
Comparación.....	57
Otras tecnologías que podrían mejorar la propuesta.....	58
Oportunidad del Hidrógeno verde.....	58
Tecnologías con potencial para mejorar eficiencia de las celdas	58
Lente de Fresnel.....	58
Sistemas Concentrador Foto-Voltaico.....	60
Discusión.....	60
Conclusiones	61
Bibliografía.....	63
ANEXOS.....	65
ANEXO 1. CUADROS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	65

Cuadro de Evaluación Económica. Sistema disponible en el mercado	66
Cuadro de Evaluación Económica. módulo flotante con panel flexible	67
Cuadro de Evaluación Económica. Módulo flotante conformado por 9 celdas	68

INTRODUCCIÓN

CONTEXTO DE LA PROPUESTA

El cambio climático afecta a todos los países, produciendo un impacto negativo en su economía y la vida de las personas. En un futuro se prevé que las consecuencias serán peores. Los patrones climáticos están cambiando, los niveles del mar están aumentando, los eventos climáticos son cada vez más extremos y las emisiones del gas de efecto invernadero están ahora en los niveles más altos de la historia (ONU 2020). Por ello la Organización de la Naciones Unidas acordó entre sus 17 objetivos de desarrollo sostenible el objetivo 13 de Acción por el Clima.

El agua es fundamental para la vida y el desarrollo de muchas de las actividades humanas. La agricultura depende fuertemente de la disponibilidad de agua. Por otro lado, hay preocupación mundial por la emergencia climática y sus consecuencias en Chile nos tienen con más 7 años de sequía. En algunas regiones se están reportando cientos de animales muertos por falta de agua y se pierden cientos de hectáreas por falta de posibilidad de riego, en ciertos casos las autoridades han ayudado con el traslado de crianceros de cabras hacia zonas más al sur (Cooperativa 2020).

En la minería esta incertidumbre representa desafíos para la explotación de los diversos metales. En este sector las cubiertas flotantes se usan para evitar la evaporación, pero tienen elevados costos y la inversión se amortiza luego de 8 años, con las tecnologías más económicas y en condiciones de explotación minera.

El crecimiento de la demanda de recursos hídricos hace prever la intensificación del marcado déficit estructural de la zona norte del país y del déficit de la zona central. El cambio climático se ha manifestado en la intensificación de la reducción de la masa de hielo de los ventisqueros (glaciares), en especial en la zona central, y de las precipitaciones, especialmente en las zonas centro y sur (CONAF 2016, ODEPA 2010)

Las pérdidas de agua por evaporación pueden ser muy importantes. En Chamonate, cerca de Copiapó en la región de Atacama la evaporación anual es de 2.195 mm al año (CNR – CIREN 1997), que significa que por cada metro cuadrado (m^2) de agua expuesta a la atmosfera se pierden cerca de 2,2 metros cúbicos (m^3). Por ejemplo, un tranque de 10.000 m^2 va a perder suficiente agua como para regar cerca de 3 hectáreas (ha) de uva de mesa con riego tecnificado de la zona. En la región metropolitana hay 78 tranques CORA (COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO, 2017) con una superficie promedio de 21.000 m^2 que y que podrían evaporar cerca de 2,13 millones de m^3 suficiente para el riego tecnificado de 304 ha.

En la técnica y la oferta del mercado existen soluciones que permiten instalar una planta solar sobre una superficie de agua. Son flotadores que sirven para embarcadero o muelles, en base a piezas plásticas, algunas con diseños especiales para la incorporación de la estructura metálica y los paneles sobre ésta. Tienen la limitante que deben ser instaladas en un sector del cuerpo de agua que asegure que al descender el nivel se mantengan paralela a la superficie.

CARACTERÍSTICAS DE LA PROPUESTA

La propuesta planteada es una cubierta modular flotante, para reducir la evaporación y que será capaz de generar energía eléctrica, que permitiría amortizar la inversión en alrededor de 4 años, y además disponer de más agua que tendrá menor carga de algas. Está compuesta de unidades flotantes compuesta de dos partes. La primera es una pieza que va sumergida que tiene forma cuadrada o hexagonal y que en su exterior (expuesto al agua) nervaduras que le permiten cierto lastre. La parte superior, puede tener una forma de cuadrado o hexágono y sobre ésta tiene una serie de 9 celdas fotovoltaicas de 5 a 6W inclinadas.

Descripción de la solución que se estudiará

Durante el proceso del estudio, se constató que no existe normativa en Chile para determinar las características específicas del panel flotante de 9 celdas, situación que alienta el desarrollo de esta tecnología en el entendido que representa una innovación muy profunda. Sin embargo, se determinó que sería conveniente considerar en este tipo de propuesta una solución que incorpore un panel flexible en la estructura del flotador y evaluarlo. Es así que el estudio considera dos tipos de unidades colectoras en energía:

- a) Un panel flexible que se instala como una sola pieza en la parte expuesta al Sol de la pieza superior.
- b) Una serie de celdas solares de 156 mm cuadrados mono cristalinas que deberían ir dispuestas en grupos de 9 unidades sobre un módulo que conforma una sola pieza en la parte expuesta al Sol.

Consideramos que las piezas serán de HDPE con protección UV para otorgarles una vida útil de entre 20 a 25 años según los adherentes que se le aplique, mientras que las celdas y conexiones se estiman en 20 a 25 años

Sistema de limpieza de paneles con drones

Unos de los factores más importantes en el desarrollo de esta propuesta fue la seguridad y la mantención de la planta. Para evitar el ingreso de personal a los paneles flotantes y así disminuir riesgos de accidentes se planteó la idea de incorporar un drone agrícola al sistema para la limpieza de los paneles en forma periódica y autónoma. Se considera un drone agrícola con capacidad de carga de 10 litros o más, con vuelo programado en ruta y horarios. Este drone trabaja con un pequeño sistema purificador de agua que permite el uso de agua limpia para movilizar las partículas de polvo sobre los paneles. Un sistema de recarga autónoma del estanque del drone permite el funcionamiento de este conjunto de limpieza sin requerir presencia de personal, a excepción de mantenciones periódicas. El sistema definitivo debe ser desarrollado en conjunto a la propuesta. Hay empresas nacionales que se dedican a la fabricación y programación de Drones para fines especiales como robomotic, que permiten hacer de esta propuesta una solución real.



Figura 1. Publicidad de Robomatic, empresa nacional especializada automatización de drones.

OBJETIVOS Y RESULTADOS ESPERADOS

OBJETIVO ESPECÍFICO N°1

Evaluar si la solución innovadora tiene restricciones legales que impidan su desarrollo y comercialización.

Resultados esperados (RE) que se espera conseguir para validar el cumplimiento del objetivo específico N°1	Indicador de resultado	Línea base indicador	Meta del indicador
1.- Revisión internacional de patentes realizada	Búsqueda internacional realizada	Oficina europea de patentes	Ninguna solución de igual característica
2.- Revisión nacional de regulaciones de operación en Chile	Catastro de permisos y regulaciones relacionadas realizado	Organismo y agencias del estado	No existen restricciones legales para la solución propuesta

OBJETIVO ESPECÍFICO N°2

Evaluar la posible demanda del mercado por la solución y determinar quiénes podrían ser los compradores

Resultados esperados (RE) que se espera conseguir para validar el cumplimiento del objetivo específico N°2	Indicador de resultado	Línea base indicador	Meta del indicador
3.- Catastro de tranques agrícolas visibles mediante googlemaps de las regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso.	Catastro realizado	Googlemaps	3 regiones catastradas
4.- Catastro de tranques mineros visibles mediante googlemaps de las regiones de Atacama y Antofagasta.	Catastro realizado	Googlemaps	2 regiones catastradas
5.- Búsqueda de herramientas de apoyo financiero del estado para riego y energía para productores agrícolas	Búsqueda realizada	Herramientas de Comisión Nacional de Riego	3 fuentes de financiamiento halladas

OBJETIVO ESPECÍFICO N°3

Evaluar los componentes y características de la solución innovadora y compararla con una planta solar flotante convencional

Resultados esperados (RE) que se espera conseguir para validar el cumplimiento del objetivo específico N°3	Indicador de resultado	Línea base indicador	Meta del indicador
6.- Capacidad de producción de energía evaluada.	Potencia (kW) Energía (kWh) (solución innovadora/ Planta convencional)	Planta convencional	Relación sobre 0,9
7.- Capacidad de reducción de evaporación	Reducción de evaporación (solución innovadora/ Planta convencional)	Reducción de 85% de Cubierta modular flotante	Relación sobre 0,9

OBJETIVO ESPECÍFICO N°4

Evaluar la viabilidad económica de la solución y compararla con una planta solar flotante convencional.

Resultados esperados (RE) que se espera conseguir para validar el cumplimiento del objetivo específico N°4	Indicador de resultado	Línea base indicador	Meta del indicador
8.- Ingresos esperados por generación de energía y ahorro de agua de una planta de 1.000 m2 mayor o igual a una planta convencional	Pesos por superficie (\$/1.000m2)	Ingresos de una planta fotovoltaica flotante convencional	Ingresos mayores o igual a planta fotovoltaica convencional flotante.
9.- Costos de inversión y operación de una planta de 1.000 metros cuadrados Menor o igual a planta fotovoltaica convencional flotante.	Pesos por superficie (\$/1.000m2)	Costos planta fotovoltaica convencional flotante.	Costos Menor o igual a planta fotovoltaica convencional flotante.
10.- Rentabilidad de una planta de 1.000 metros cuadrados mayor o igual a planta fotovoltaica convencional flotante.	Variables económicas (Flujo de caja, VAN, TIR y Periodo recuperación inversión -PRI-)	Rentabilidad planta fotovoltaica convencional flotante.	Mayor o igual planta fotovoltaica convencional flotante.

RESTRICCIONES LEGALES QUE IMPIDAN EL DESARROLLO Y COMERCIALIZACIÓN DE LA PROPUESTA

BÚSQUEDAS DE SISTEMAS SIMILARES.

Para la búsqueda de sistemas similares se determinó realizar una búsqueda de solicitudes de patentes o privilegios industriales en la materia, dado que cualquier aplicación industrial de un sistema similar debería estar con la protección correspondiente. Para ellos se realizó una búsqueda internacional y otra nacional.

Búsqueda internacional

La búsqueda internacional se realiza a través del portal de la Oficina Europea de Patentes denominado Espace Net Worldwide que es la principal fuente de consulta internacional de patentes. La búsqueda fue realizada en los meses de marzo y abril del año 2021 a través de la dirección web https://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP#!/CPC=H02S20/00.

Se enmarca la búsqueda en la clasificación H que, según indica dicho portal, incluye elementos eléctricos básicos, que cubren todas las unidades eléctricas y la estructura mecánica general de aparatos y circuitos. incluido el ensamblaje de varios elementos básicos en lo que se denominan circuitos impresos y también cubren en cierta medida la fabricación de estos elementos (cuando no se cubren en otra parte). Luego se determina la subclasificación 02 que corresponde a sistema de generación, conversión o distribución de electricidad. Dentro de esta subclasificación se determinó la subcategoría 02S correspondiente a la generación de energía eléctrica por conversión de radiación infrarroja, luz visible o luz ultravioleta. Dentro de las definiciones indica que la sección cubre patentes relacionadas con plantas de energía fotovoltaicas, combinación de plantas fotovoltaicas con otros sistemas de generación eléctrica, estructuras de soporte para módulos fotovoltaicos, entre otras definiciones que no tienen mayor relación con nuestra búsqueda.

La búsqueda se concentró en la subcategoría H02S 20 Estructuras de soporte para módulos fotovoltaicos. Según la definición se incluyen estructuras mecánicas para soportar uno o varios módulos fotovoltaicos. Se realiza búsqueda en clasificación **H02S 20/30** que corresponde al foco en *“Estructuras de soporte móviles o ajustables”*. Dado que la innovación corresponde a una estructura flotante, se realiza la búsqueda de patentes con la palabra clave “floating” por su característica de flotante. Con esto encontramos un total de 226 solicitudes y patentes en el sistema.

Búsqueda Nacional INAPI

Se realiza una búsqueda en la base de datos del Instituto nacional de propiedad industrial del ministerio de economía. Para la primera búsqueda se utiliza la misma clasificación (en este caso se indica en la casilla CIP del formulario de búsqueda), logrando encontrar 7 registros de los cuales sólo uno tiene relación con la propuesta en estudio. Corresponde a una estructura que dispone un

sistema flotante para la instalación de paneles sobre ella, igual que lo hallado en la búsqueda internacional. También se realizó búsqueda con términos o palabras claves como “Planta solar flotante”, “Fotovoltaica agua”, “módulo energía solar flotante” o “módulo energía solar agua” sin encontrar resultados distintos.

Conclusión de la búsqueda

Al revisar las solicitudes halladas se puede observar que las innovaciones en la materia de plantas solares flotantes dicen principalmente con estructuras de flotación o medios de sujeción a ellas para proveer una base para la instalación de paneles solares comunes, los que pueden ser adquiridos por separados como en el caso del ejemplo estudiado de Isifloating. Se puede concluir que desarrollar un módulo flotador que en parte de su estructura considera una serie de celdas que conforman un panel que es parte íntegra del módulo no vulnera ninguna de las solicitudes planteadas publicada a la fecha y que además tiene la novedad suficiente para poder obtener privilegios de patentes de invención. Por lo anterior se concluye que No hay ninguna solución de igual característica.

REGULACIONES NACIONALES DE OPERACIÓN EN CHILE

Dado que la propuesta es una innovación tecnológica, no existe regulación y normativa técnica en donde sustentarse, ya que la normativa de los sistemas fotovoltaicos no considera la superficie de un tranque que soporte una planta de paneles fotovoltaico flotantes, pero siguiendo el espíritu de la normativa, para congeniar con el proyecto, se utilizan las leyes, reglamentos y normativas vigentes de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, SEC. Las plantas flotantes que se emplazan en Chile son paneles regulados que se instalan sobre plataformas flotantes. Toda instalación fotovoltaica de exterior, aislada o conectada a la red, debe cumplir con la Nch Elec 4/2003 y su nueva actualización que está por entrar en vigencia.

La fabricación de estos flotadores deberá, entonces satisfacer las exigencias necesarias para obtener una certificación de productos eléctricos de acuerdo con la Ley Nº18.410, el artículo 60 de la Ley 18.681 y el Decreto Supremo Nº399/85 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, incluidas sus modificaciones, los productos eléctricos sujetos a certificación obligatoria, antes de su comercialización y utilización deben someterse a una evaluación del cumplimiento de requisitos mínimos de seguridad, según determinadas normas o especificaciones técnicas.

En el proceso nos contactamos con la SEREMI de energía y la Superintendencia de electricidad y combustibles (SEC), y producto de ello asistimos a seminario vía web (webinar) y una reunión de trabajo con la SEC con el director regional Iván Lillo y Francisco Rodríguez, experto en seguridad y ERNC.

Sobre reunión con Superintendencia de electricidad y Combustibles (SEC)

Se sostuvo una reunión con la Superintendencia a la que asisten, por parte de la SEC, Iván Lillo director SEC Atacama y Francisco Rodríguez profesional SEC Santiago, especialista en ERNC. En esta

reunión se presentó la propuesta y la idea fue obtener de parte de la SEC algunos comentarios y recomendaciones al proyecto. Destacaron que la idea es muy buena, nos cuentan que ya hay una instalación en la Región de Valparaíso (que coincide con la que se evaluó en este estudio) y con respecto al proyecto se menciona que se debe seguir y respetar a cabalidad la normativa vigente, nos indican que en la creación de un panel para la Planta Flotante no hay regulación específica y nos recomiendan el seguir el espíritu de la ley, para poder finalizar de buena forma la propuesta para poder lograr la validación y certificación correspondiente por parte de ellos.

Finalmente se encuentran dispuestos a que en otra oportunidad nos podamos juntar para mostrar los avances y colaborar a que podamos resolver las dudas del proyecto del punto de vista de la ley y la normativa nacional.

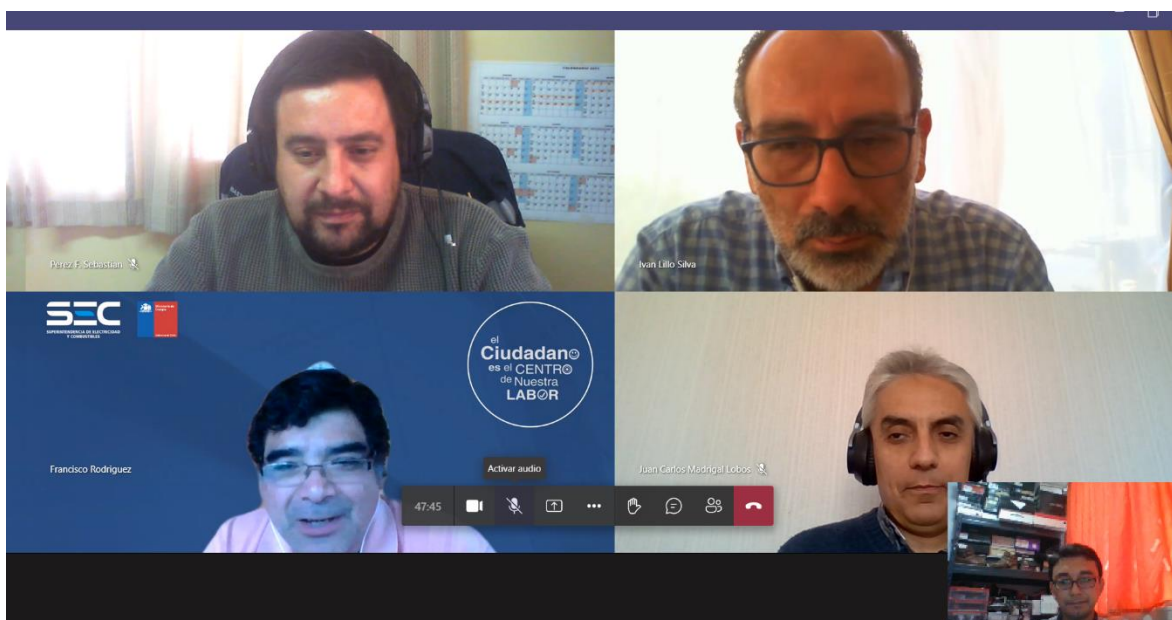


Figura 2. Captura de pantalla de reunión con SEC.

Participación en Webinar SEREMI energía

En el desarrollo del estudio, se participó en un seminario web relacionado con la materia del proyecto, actividad que se llevó a cabo de forma virtual el día martes 20 de abril de 2021, con la finalidad de aumentar conocimientos técnicos, administrativos generales, políticas, procesos, experiencias y casos de éxitos. Ese seminario se desarrolló en torno de la industria energética de la región de Atacama y contempló las ventajas de la zona para el desarrollo de energía Solar.

El primer tema abordado, fue el Panorama Energético Regional, el cual fue impartido por la Sra. Kim-Fa Bondi Hafon, Seremi Energía. El segundo tema abordado, fue el Programa Territorial Integrado Desarrollo de la Industria Energética de Atacama, dictado por la Sra. Ximena Monardes Garzón, Gerenta PTI Energía Atacama. Como tercer y último tema analizado, fue Las ventajas de Atacama para el desarrollo de la energía solar, charla dictada por el director del Centro de Tecnologías para Energía Solar Fraunhofer Chile Research, el Dr. Frank Dinter,

El seminario en general dio a conocer todo el potencial de energía solar del desierto de Atacama, con capacidades enorme de generación de energía eléctrica, donde solo con el 0.5 % de la superficie total del desierto de Atacama, es posible suministrar el 100 % de la energía eléctrica que necesita Chile. Con tan grandes cifras y con la disminución del costo por tecnología ya existente en el mercado y con alta eficiencia, el desierto de Atacama se convertirá en una fuente de energía renovable enorme. Con el bajo costo de producción de electricidad se torna rentable la producción de Hidrogeno Verde “H2”, el combustible del futuro, destinado a reemplazar los combustibles fósiles. Esto posicionando a la región de Atacama, como la más interesante a nivel mundial, en esta materia. Esta opción de almacenamiento de energía puede ser una oportunidad para propuestas como ésta.

EVALUAR POSIBLE DEMANDA DEL MERCADO

CATASTRO DE TRANQUES

Se realizó una búsqueda de tranques visibles desde imágenes satelitales disponibles en la aplicación Google earth en las regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso para los Valles de Copiapó, Huasco, Elqui y Limarí y San Felipe en el Valle del Aconcagua. Además, se realizó una búsqueda de tranques mineros en las regiones de Antofagasta y Atacama. Se determinó la superficie utilizando la herramienta de polígonos y un código especialmente desarrollado en C# para poder extraer la información a tablas Excel para su cálculo. Con ello se pudo estimar la potencia de generación que se podría instalar y la evaporación.

Para estimar la potencia instalada se consideró un estándar de 150 KWp por cada 1.000 metros cuadrados (para el caso de los tranques del sector minero).

Si bien la evaporación de cada sitio depende de varios factores, como viento, radiación y temperatura entre otros, los registros históricos pueden ayudar a hacernos una idea de la situación. Es por ello que para los cálculos de evaporación nos basamos en las tablas de evaporación presentadas en el informe final del “Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile” de la comisión nacional de riego (CNR) y el Centro de información de recursos naturales (CIREN) CORFO. Para la estimación real de evaporación existen muchos métodos y variados; y con distintos grados de aceptación. Para efectos del presente estudio se decidió utilizar como método un coeficiente de tanque aplicado al valor medido desde éste, que es un método sencillo. Los valores de tanque oscilan para grandes cuerpos de agua oscilan entre 0,6 y 0,8 (Molina y otros); debido que los tranques que vamos a encontrar son cuerpos de agua relativamente pequeños comparados con los embalses utilizaremos como valor de 0,8 como coeficiente.

Para comprender mejor las cantidades de agua evaporada vamos a relacionar estas cantidades con dos tipos de métricas, el consumo de un hogar en Chile y el requerimiento anual de agua estimado de un cultivo de uva de mesa bajo riego tecnificado.

Consideraremos que una familia media de 4 personas consume 248 m³ de agua anualmente de acuerdo a lo dispuesto según la Superintendencia de servicios sanitarios del Ministerio de Obras Públicas (Referencia como *S/SS* en bibliografía).

La demanda anual de un cultivo de uva de mesa con riego tecnificado puede ir desde los 4.000 m³ hasta más de 10.000 m³ según diversos expertos. Por parte de Yara (Yara 2021) el consumo anual de este cultivo requiere entre 4.000 a 13.500 metros cúbicos. En Mundoagro (mundoagro 2020), otro portal dedicado a la agricultura señala que para mantener el potencial productivo se requiere entre 7.000 y 10.000 metros cúbicos al año.

Sector Agrícola

En el sector Agrícola, encontramos un total de 2.676 tranques distribuidos entre las tres regiones. No representan la totalidad de los tranques existentes dado que existe la probabilidad que algunos tranques no hayan sido detectados en el proceso de búsqueda. La gran mayoría de éstos se encuentran en la región de Valparaíso y de Coquimbo. De estos tranques las superficies calculadas se pueden observar en la Tabla 1.

Tranque menores de 1000	1.197
Tranque menores de 1000 a 5000	1.109
Tranque menores de 5000 a 10000	235
Tranque menores de 10000 a 100.000	135
TOTAL	2.676

Tabla 1. Distribución de tranques por tamaño. Fuente: elaboración propia

La superficie total de todos estos tranques suma 6.789.855 metros cuadrados. La distribución de los tranques es tan amplia que se debería realizar un estudio especial para determinar la estación climatológica más cercana para poder calcular la evaporación. Con el objetivo de poder tener una mirada aproximada, se utilizará valores referenciales con la información disponible por parte de CNR para el trabajo de “cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile” (CNR 1997) en cada región; dado que para un cálculo más aproximado se requiere de un estudio más completo que pueda relacionar la información de cada tranque con la estación más cercana.

Región de Atacama

En la región de Atacama encontramos un total de 192 tranques (ver Figura 3), que según lo apreciado se utilizan con fines agrícolas. La mayoría de éstos se encuentra en el valle del Huasco, donde encontramos 125. En total la superficie de agua expuesta es de 580.000 metros cuadrados (ver Tabla 2).

Cantidad de tranques en la región	192
Tranque menores de 1000	67
Tranque menores de 1000 a 5000	94
Tranque menores de 5000 a 10000	17
Tranque menores de 10000 a 100.000	13
Superficie expuesta (en metros cuadrados)	580.128

Tabla 2. Distribución de tranques por tamaño en Atacama. Fuente: Elaboración propia

Con el fin de poder apreciar el significado de la cifra, consideraremos la información de las estaciones Aeródromo Chamonate y la estación Aeródromo Vallenar. El valor promedio de ambas estaciones (ver Tabla 3) es de 2.085 mm/año.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Aeródromo Chamonate	321,6	249,4	209,3	148,2	99,3	103,1	87,6	116	145,2	198,2	235	281,7	2194,6
Aeródromo Vallenar	302,2	228,1	194,6	134,1	97,4	72,9	70,7	107,8	132,7	176,5	220,6	239,7	1977,3
Promedio													2085,95

Tabla 3. Evaporación anual promedio en estaciones CNR con registros de 7 y 9 años respectivamente. Fuente "Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile" (CNR-CIREN 1997)

Aplicando un coeficiente de tanque de 0,8 obtenemos una evaporación de 1.668mm/año/metro cuadrado para estimar la evaporación de los tranques. Es así que se puede estimar que entre todos estos tranques se está evaporando un valor cercano a 968.094 metros cúbicos de agua al año. Esta cantidad de agua es equivalente al consumo de 3.904 hogares o podría servir para mantener con riego entre 138 hectáreas de uva de mesa con riego tecnificado.

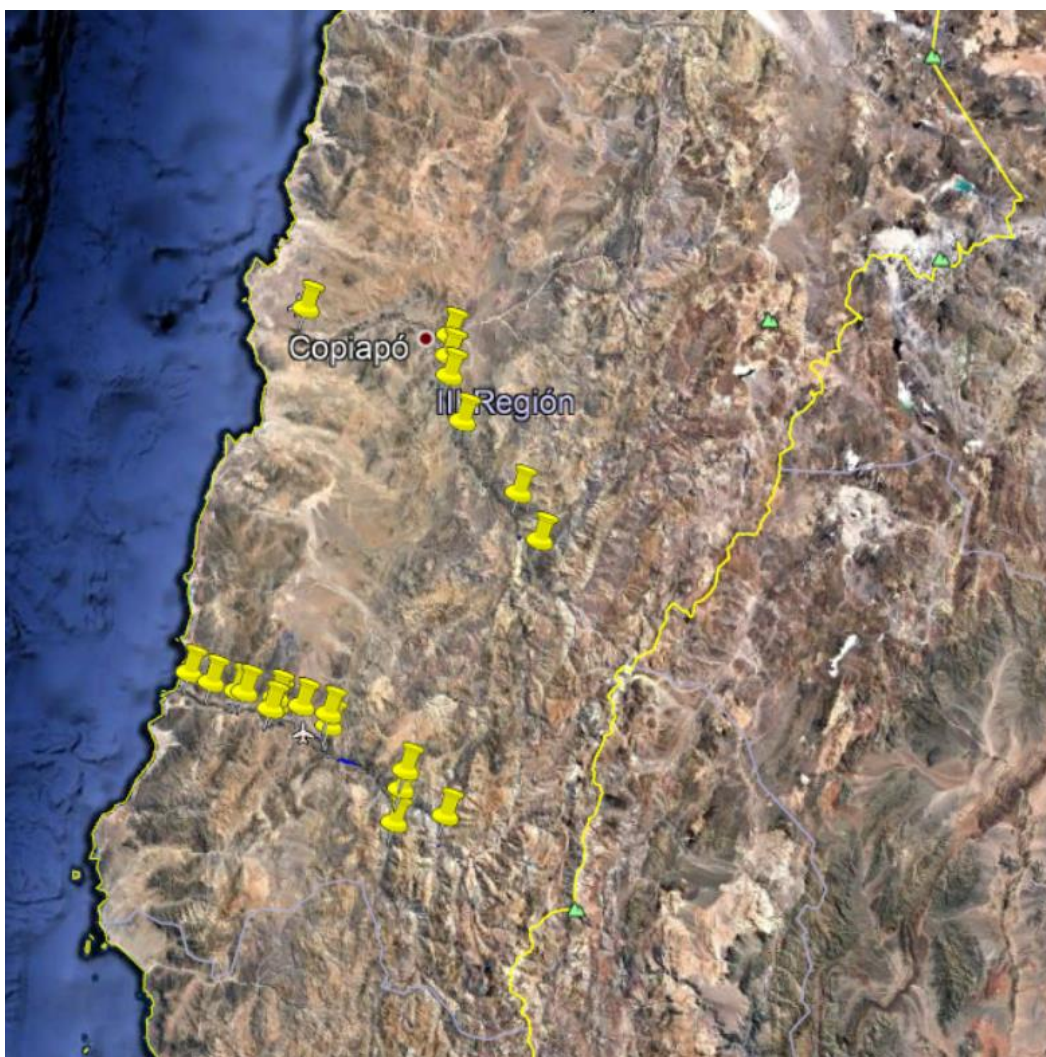


Figura 3. Ubicación de puntos de referencias (un punto cada 10 tranques hallados), en la región de Atacama. Fuente: elaboración propia.

Región de Coquimbo

En la región de Atacama encontramos un total de 1.494 tranques (ver Figura 4), que según lo apreciado se utilizan con fines agrícolas. De éstos, 605 los encontramos en el Choapa, 565 en el Limarí y 324 en El Elqui. En total la superficie de agua expuesta es de 3.606.179 metros cuadrados (ver Tabla 4).

Cantidad de tranques en la región	1.494
Tranque menores de 1000	714
Tranque menores de 1000 a 5000	584
Tranque menores de 5000 a 10000	125
Tranque menores de 10000 a 100.000	71
Superficie expuesta (en metros cuadrados)	3.606.179

Tabla 4. Distribución de tranques por tamaño en Atacama. Fuente: Elaboración propia

Nuevamente, con el fin de poder apreciar el significado de la cifra, consideraremos la información de las estaciones Aeródromo La Florida (de La Serena) y la estación Vicuña INIA. El valor promedio de ambas estaciones (ver Tabla 5) es de 1.640 mm/año.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Aeródromo la Florida	159,1	134,1	114,9	80,5	64,8	51,2	48,0	52,7	75,1	91,5	112,0	147,5	1.131,4
Vicuña INIA	287,4	241,7	209,9	136,9	98,9	84,5	85,0	113,9	148,7	213,5	246,0	283,6	2.150,0
Promedio													1.640,7

Tabla 5. Evaporación anual promedio en estaciones CNR con registros de 14 y 16 años respectivamente. Fuente "Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile" (CNR-CIREN 1997)

Aplicando un coeficiente de tanque de 0,8 obtenemos una evaporación de 1.312 mm/año/metro cuadrado para estimar la evaporación de los tranques. Es así que se puede estimar que entre todos estos tranques se está evaporando un valor cercano a 4.733.326 metros cúbicos de agua al año. Esta cantidad de agua es equivalente al consumo de 19.086 hogares o podría servir para mantener con riego entre 676 hectáreas de uva de mesa con riego tecnificado.

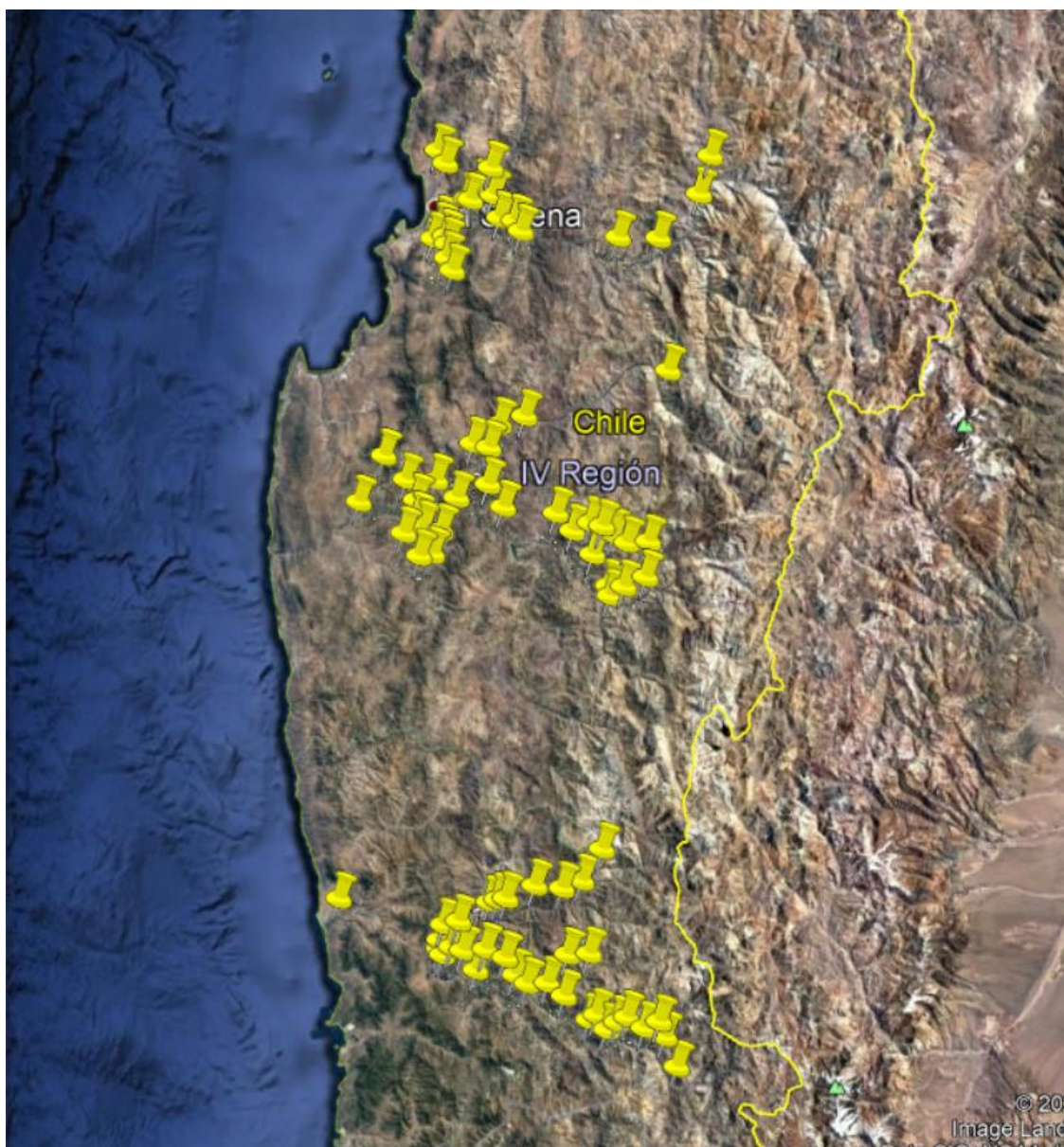


Figura 4. Ubicación de puntos de referencia (un punto cada 20 tranques hallados), en la región de Coquimbo. Fuente: elaboración propia.

Región de Valparaíso

En la región de Valparaíso catastramos la zona del Aconcagua en los sectores de San Felipe, Llallay, Quillota y Nogales. Encontramos un total de 990 tranques, que según lo apreciado se utilizan con fines agrícolas. En total la superficie de agua expuesta es de 2.603.547 metros cuadrados (ver Tabla 6).

Cantidad de tranques en la región	990
Tranque menores de 1000	415
Tranque menores de 1000 a 5000	431
Tranque menores de 5000 a 10000	93
Tranque menores de 10000 a 100.000	51
Superficie expuesta (en metros cuadrados)	2.603.547

Tabla 6. Distribución de tranques por tamaño en zona estudiada del Aconcagua. Fuente: Elaboración propia

Con el fin de poder apreciar el significado de la cifra, consideraremos la información de las estaciones Quillota UC-DGA y la estación Escuela Agrícola San Felipe SAG. El valor promedio de ambas estaciones (Ver tabla) es de 1.515 mm/año (ver Tabla 7).

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANNUAL
Quillota UC-DGA	232	159	121	90	45	38	44	56	70	126	185	195	1361
Escuela Agrícola San Felipe SAG	268	219	176	104	64,1	44,6	36	62,1	105	144	203	245	1669,5
Promedio													1515,25

Tabla 7. Evaporación anual promedio en estaciones CNR con registros de 6 años en la estación de Escuela de San Felipe. Fuente "Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile" (CNR-CIREN 1997)

Aplicando un coeficiente de tanque de 0,8 obtenemos una evaporación de 1.212 mm/año/metro cuadrado para estimar la evaporación de los tranques. Es así que se puede estimar que entre todos estos tranques se está evaporando un valor cercano a 3.156.020 metros cúbicos de agua al año. Esta cantidad de agua es equivalente al consumo de 12.726 hogares o podría servir para mantener con riego entre 451 hectáreas de uva de mesa con riego tecnificado.

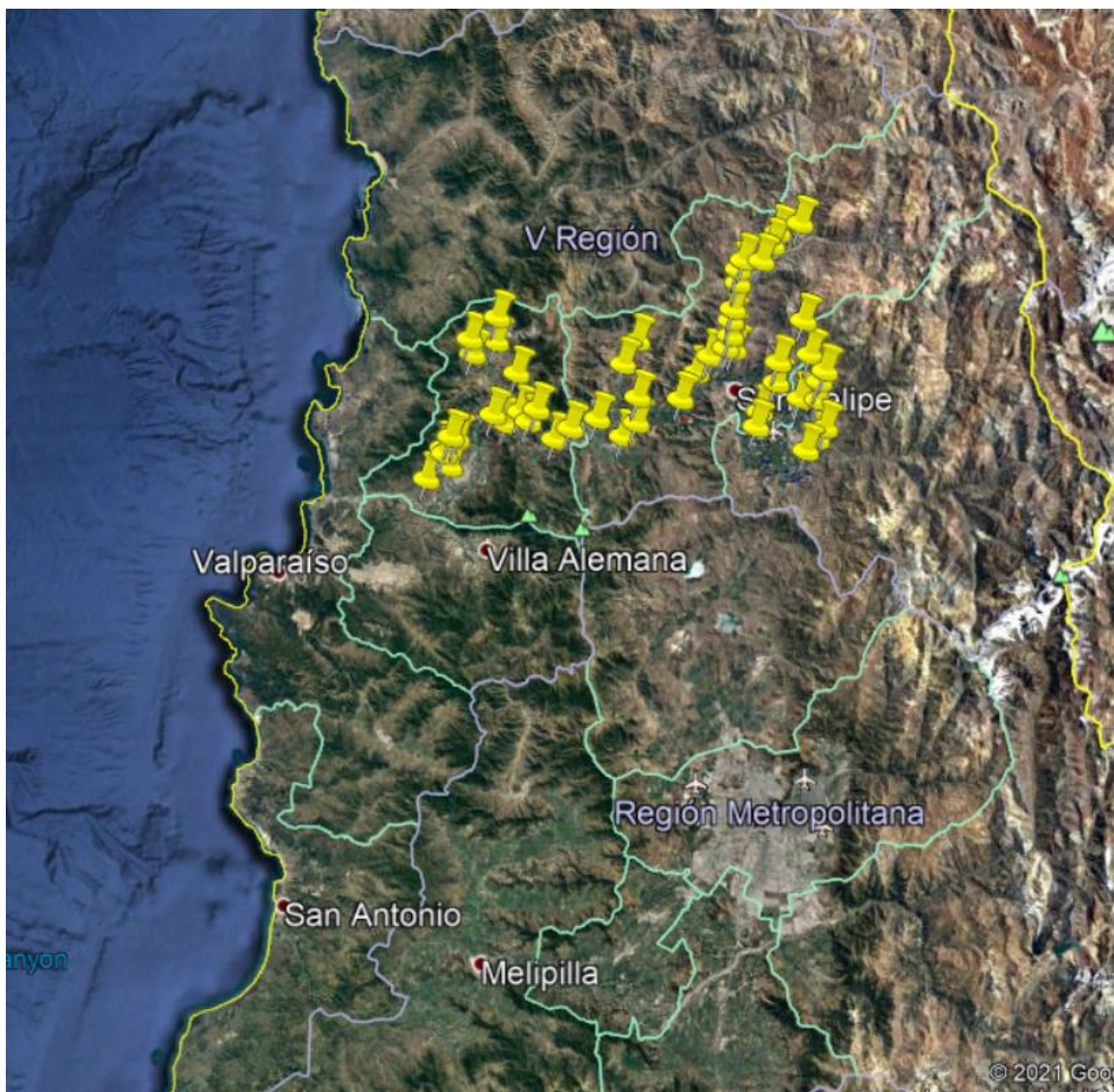


Figura 5. Ubicación de puntos de referencias (un punto cada 20 tranques hallados), en la región de Valparaíso. Fuente: elaboración propia.

Sector Minero

En el sector minero, encontramos un total de 221 unidades distribuidas entre ambas regiones. No representan la totalidad de los tranques existentes dado que existe la probabilidad que algunos tranques no hayan sido detectados en el proceso de búsqueda. De estos tranques las superficies calculadas se pueden encontrar en la Tabla 8.

Tranque menores de 1000	27
Tranque menores de 1000 a 5000	103
Tranque menores de 5000 a 10000	57
Tranque menores de 10000 a 100.000	30
Mayores a 50000	4

Tabla 8. Distribución de tranques por tamaño en el sector minero.

Fuente: Elaboración propia

La superficie total de todos estos tranques suma 1.607.105 metros cuadrados con los que se podría obtener alrededor de 241 Mega watt de potencia, evitar evaporación de agua suficiente para cultivar 485 hectáreas de uva de mesa bajo riego tecnificado o abastecer de agua por un año a 13.685 hogares.

Región de Antofagasta.

Los tranques encontrados en la región de Antofagasta son 150 (ver Figura 6) y entre todos suman una superficie de 1.338.017 metros cuadrados. De acuerdo con la información disponible por parte de CNR para el trabajo de “cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile” (CNR 1997), la estación Cerro Moreno (aeropuerto) registra una evaporación de 2.066 mm anuales, mientras que la estación El Loa en Calama registra una evaporación anual de 4.514 mm (ver Tabla 9). Aplicando un coeficiente de tanque de 0,8 obtenemos una evaporación de 1.653mm y 3.611mm respectivamente para estimar la evaporación de los tranques. Es así que se puede estimar que entre todos estos tranques **se está evaporando anualmente entre 2.211.446 metros cúbicos y 4.831.786 metros cúbicos de agua al año**. Esta cantidad de agua es equivalente al consumo de entre 8.917 a 19.483 hogares o podría servir para mantener con riego entre 368 a 805 hectáreas de uva de mesa con riego tecnificado.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Cerro moreno	260,3	214	197	149	122	100	106	127	148	191	211	242	2066,8
Antofagasta													
El Loa Calama	431,8	364	410	348	344	314	338	323	354	415	429	444	4514,5

Tabla 9. Evaporación anual promedio en estaciones CNR con registros de 14 y 9 años respectivamente.

Fuente “Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile” (CNR-CIREN 1997)

Además, en la búsqueda se encontró dos lagunas en faenas mineras, una con 886.539 metros cuadrados de superficie y la otra con 980.107 metros cuadrados de superficie. Entre ambas suman 1.866.646 metros cuadrados, agua que podrían consumir entre 12.435 y 27.171 familias; o regar entre 514 y 1.123 hectáreas de uva de mesa bajo riego.

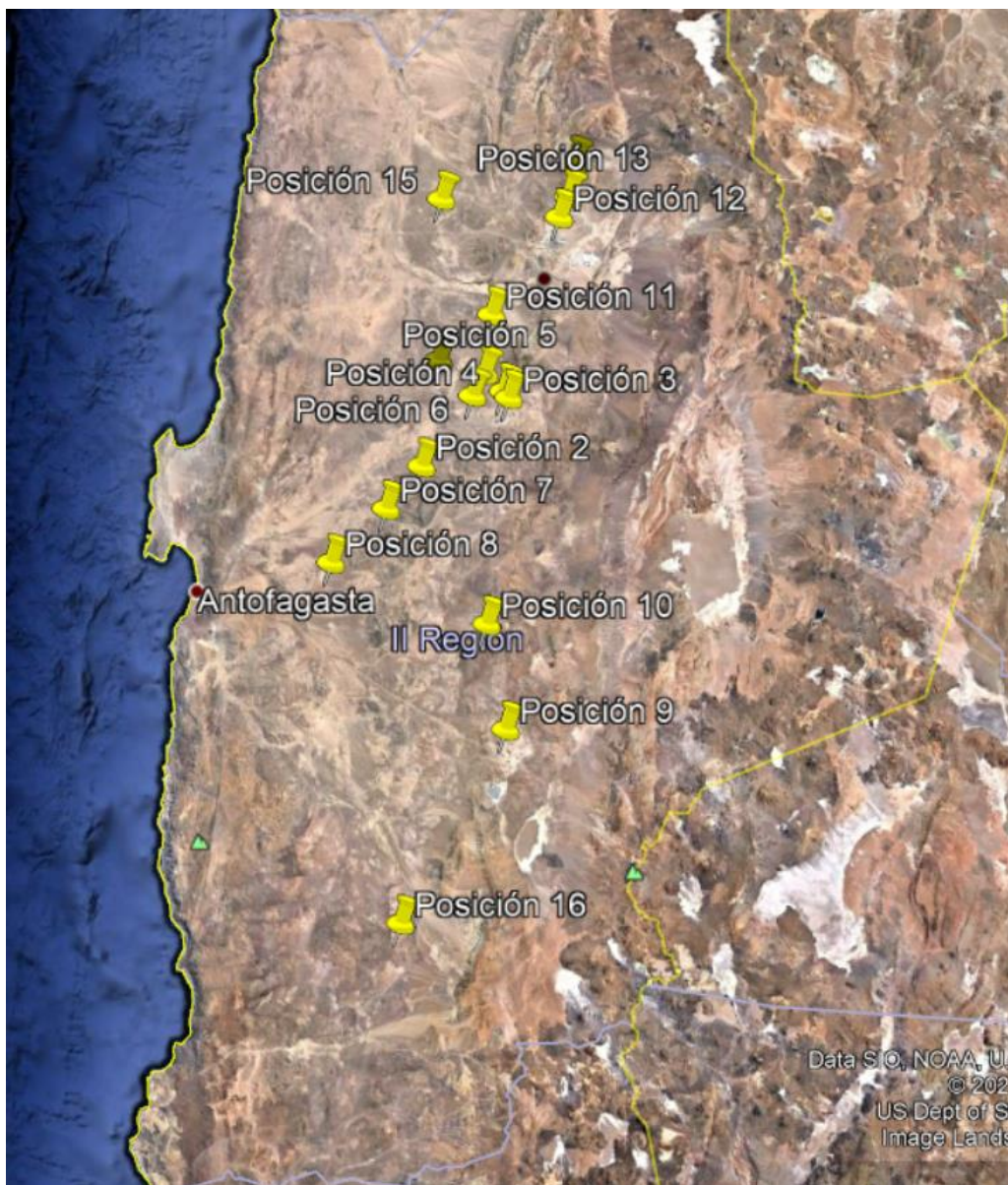


Figura 6. Ubicación de puntos de referencias (un punto cada 10 tranques hallados).

Fuente: elaboración propia.

Región de Atacama.

Los tranques encontrados en la región de Atacama son 71 (ver Figura 7) y entre todos suman una superficie de 269.088 metros cuadrados. De acuerdo con la información disponible por parte de CNR para el trabajo de “cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile” (CNR 1997), la estación Potrerillos registra una evaporación de 2.336 mm anuales, mientras que la estación Embalse Lautaro registra una evaporación anual de 2.867 mm (ver Tabla 10). Aplicando un coeficiente de tanque de 0,8 obtenemos una evaporación de 1.863 mm y 2.294 mm respectivamente para estimar la evaporación de los tranques. Es así que se puede estimar que entre todos estos tranques **se está evaporando anualmente entre 502.707 metros cúbicos y 616.978**

metros cúbicos de agua al año. Esta cantidad de agua es equivalente al consumo de entre 2.027 a 2.487 hogares o podría servir para mantener con riego entre 83 a 102 hectáreas de uva de mesa con riego tecnificado.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Potrerillos	237	192	200	200	170	134	159	173	198	224	218	231	2336
Embalse Lautaro	343	298	271	221	69,7	140	135	185	214	310	335	345	2867

*Tabla 10. Evaporación anual promedio en estaciones CNR con registros de 6 y 4 años respectivamente.
Fuente “Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile” (CNR-CIREN 1997)*

Además, en la búsqueda se encontró dos lagunas en faenas mineras, una con 846.616 metros cuadrados de superficie y la otra con 184.150 metros cuadrados de superficie. Entre ambas suman 1.030.776 metros cuadrados, agua que podrían consumir entre 7.761 y 9.525 familias; o regar entre 320 y 393 hectáreas de uva de mesa bajo riego.



*Figura 7. Ubicación de puntos de referencias (un punto cada 10 tranques hallados).
Fuente: elaboración propia.*

HERRAMIENTAS DE APOYO FINANCIERO

El modelo de negocio de este tipo de proyectos se relaciona fuertemente con la legislación respecto a la generación distribuida de energía. Esto permite que los proyectos de generación eléctrica menores puedan inyectar sus excedentes de energía a la red, la que posteriormente será valorizada por la empresa distribuidora y descontada en la factura. Para la financiación de este tipo proyectos de inversión eléctrica existen diferentes fuentes, como la financiación privada por parte del productor agrícola, préstamos, subsidios y otros. De esta oferta de posibilidades señalamos las siguientes alternativas:

Públicas

Los organismos públicos trabajan con subsidios o préstamos blandos, los cuales en general se entregan mediante concursos público y obedecen a objetivos establecidos por la autoridad y según ello depende la cantidad de fondos disponibles.

Comisión Nacional de Riego (CNR)

Tiene el programa Energías Renovables en Riego, que señala en su portal como “Programa de trabajo entre la CNR y el Ministerio de Energía con el objeto de fomentar proyectos de riego con energías renovables y eficiencia energética para autoconsumo en beneficio de productores agrícolas, organizaciones usuarias del agua y pueblos originarios de Chile. Al impulsar estas tecnologías, mejora la competitividad de los proyectos al reducir los costos de sus sistemas productivos, siendo más resilientes y adaptados a los nuevos escenarios de cambio climático.” La CNR ha bonificado cerca de 1.000 proyectos de riego en energías renovables y de ellos casi todos han sido proyectos fotovoltaicos.

Corporación de fomento (CORFO-INNOVA)

Corfo tiene una diversidad de instrumentos, de ellos hoy está habilitado un crédito verde, que es un programa de refinanciamiento para potenciar el desarrollo y ejecución de proyectos que mitiguen los efectos del cambio climático y/o mejoren la sustentabilidad ambiental de las empresas, reimpulsando la inversión en iniciativas de Energía Renovable, Eficiencia Energética y Economía Circular.

Privadas

En el mundo privado hay alternativas muy atractivas si se desea realizar una inversión de este tipo. El crowdfunding es una alternativa que permite buscar capital de inversión para la construcción de la planta fotovoltaica a cambio de beneficios que pueden ser económicos o alguna recompensa. También existe otra alternativa muy atractiva, es aquella que utilizan el modelo ESCO el que permite al agricultor acceder a una planta fotovoltaica sin tener que financiar la inversión, a cambio de un contrato de energía que considera el mantenimiento de la misma y que al final del cual la planta queda bajo su propiedad. Algunas herramientas son:

Solcorchile

Es una empresa de raíces belgas con 5 años de trayectoria en el mercado nacional. Su propósito es generar conciencia energética en la sociedad en favor del desarrollo sostenible y busca mejorar la calidad de vida y el entorno de sus clientes y colaboradores, logrando un impacto positivo en la economía, en la sociedad y en el medioambiente. Utiliza el modelo ESCO y ha desarrollado importantes proyectos en Chile. Tienen más de 160 proyectos industriales y 25 mega watt instalados en Chile.

Ciudadluz

Es una empresa que nace con el propósito de transformar la energía solar fotovoltaica (FV) en la fuente más accesible y competitiva para el autoconsumo eléctrico de hogares, empresas, comunidades y servicios públicos, constituyéndonos en un efectivo agente de cambios en la industria energética y en un pilar de sostenibilidad en América Latina. Utilizan el modelo ESCO y han logrado instalar más de 200 proyectos residenciales y 50 industriales con 5 mega watt instalados.

Brota

Debe ser el principal portal de crowdfunding en Chile, ha permitido el financiamiento de más de 8 mil millones de pesos en proyectos de inversión de diversa índole. No está orientado exclusivamente al área eléctrica y las exigencias administrativas de gestión son importante tener en cuenta a la hora de considerar esta opción.

Koraz

Es un portal de crowdfunding orientado a una plataforma digital colaborativa para promover el uso de energías renovables en hogares y empresas. El portal no tiene casi movimiento y habría que estar atento si logra consolidar en algún momento algún proyecto.

CARACTERÍSTICAS DE LAS PROPUESTAS

ANTECEDENTES DEL SITIO PROPUESTO PARA EL ANÁLISIS.

Locación

El sitio escogido para determinar las capacidades de la propuesta y evaluarla en comparación con una planta solar flotante tradicional corresponde a un tranque de una empresa agrícola que se dedica a la producción de uva de mesa de exportación, quien nos facilitó una factura eléctrica para conocer la tarifa con la que trabajan. También nos informó que el gasto total en el que incurren en electricidad durante un año supera los 35 millones de pesos, tienen una tarifa AT 4.3 con aproximadamente \$66 por kilowatt hora y que al contabilizar el total de los cargos sube a \$104,4 por kilowatt hora neto.

El tranque en cuestión tiene una superficie de máxima de 4.280 metros cuadrado de espejo de agua cuando esta en su máxima capacidad. Esta dimensión fue determinada mediante el uso de la herramienta de medición de polígono de Google earth (ver Figura8).

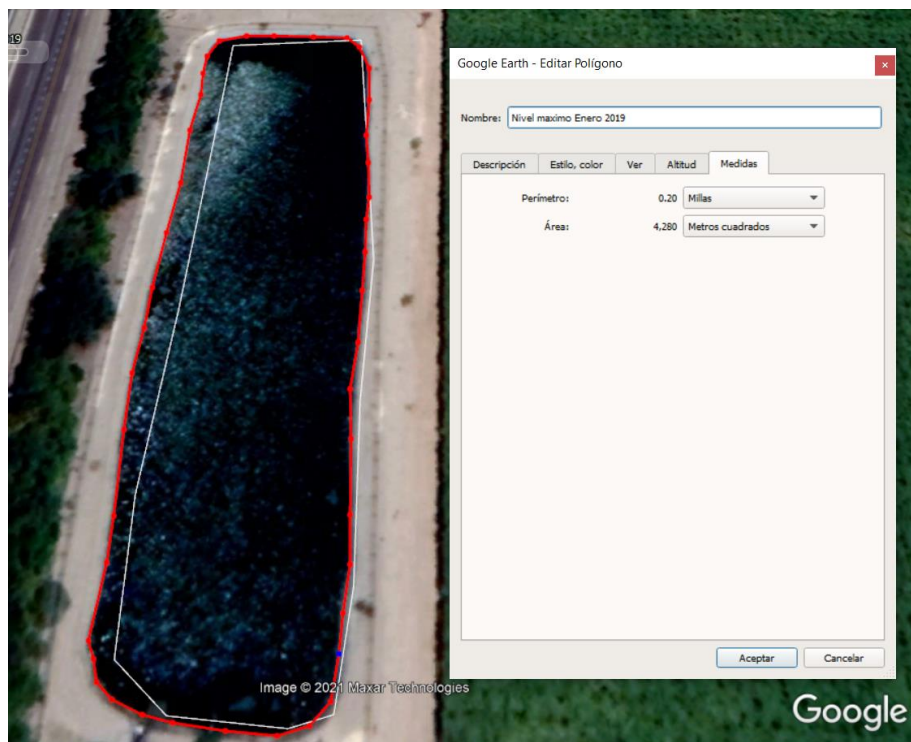


Figura 8. Tranque de la locación. Se observa cálculo de área máxima 4.280 m²

El huerto está ubicada en la comuna de Tierra Amarilla, poco antes de ingresar a la localidad del mismo nombre. Está dedicado a producción de uva de mesa y cuenta con riego por goteo, con ello un importante sistema de bombas con un importante consumo de energía. La ubicación exacta del

tranque es 27°27'35" latitud sur y 70°15'59" longitud oeste a una altura de 476 metros sobre el nivel del mar.

Capacidades de generación de energía

Para este tranque, se calcula la capacidad de generación utilizando el Explorador Solar del Ministerio de Energía, que cuenta con el soporte de la Facultad Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Chile, esto se obtiene de la página web del ministerio de Energía de Chile, Explorador Solar (minenergia.cl) visitada desde marzo de 2021. La producción diaria y anual para una inclinación de 27°, ya que la teoría dice que la mejor inclinación está en la latitud del lugar (tomando en consideración que los paneles solares deben estar orientados hacia el norte). Estos datos son:

- Para una instalación de 150 KWp.
- Una producción diaria de 721,73 KWH día.
- Una producción anual de 263.432 KWH al año.
- Un factor de planta de 20 %.

Es importante destacar que la orientación de mirar hacia el norte e inclinar los paneles a 27° o más aún si se quiere una mayor producción se puede usar un sistema de traqueo, que permita estar siempre el panel paralelo al Sol, esto suena bastante bien en tierra donde el espacio es suficiente y podemos agregar peso con todos estos elementos necesarios para producir más, pero para una planta flotante tenemos varias restricciones, la primera es que un tranque no necesariamente estará orientado hacia el norte, por otro lado el espacio no es suficiente para poder inclinar a 27° y dejar los espacios para las sombras que disminuyen la generación de los paneles o más aún para un sistema que siga al Sol, además el peso es fundamental para disminuir la capacidad del tranque.

Todos estos inconvenientes se deben tomar en cuenta en este tipo especial de superficie para instalar una Planta Solar Fotovoltaica. Para una Planta Flotante la mejor opción es dejar los paneles solares con una mínima inclinación, que no provoque sombras y no se tenga que buscar la orientación al norte, para nuestro caso lo dejamos sin inclinación, 0° en otras palabras paralelo a la superficie, con eso se aprovecha de la mejor forma el espacio del tranque. Para este supuesto los valores son:

- Para una instalación de 150 KWp.
- Una producción diaria de 664 KWH día.
- Una producción anual de 242.62 KWH al año.
- Un factor de planta de 18 %.

Si se analizan solo los números, es evidente que al tener menos producción diaria, se tiene una menor producción anual, pero para una planta flotante las ventajas son más que las desventajas, ya que se gasta menos estructura, no tener el problema de la inclinación, no tener el problema de la orientación y optar a la mejor distribución por espacio al no tener que dejar los pasillos para las sombras, y principalmente se gana la oportunidad de ocupar un espacio no considerado y ganar el resto del suelo para posibles nuevos cultivos.

Las siguientes figuras (Figuras 9 y 10) muestran una simulación del Ciclo Anual donde se puede ver el buen funcionamiento de los meses de más calor (primavera y verano) y como baja el funcionamiento en otoño e invierno.

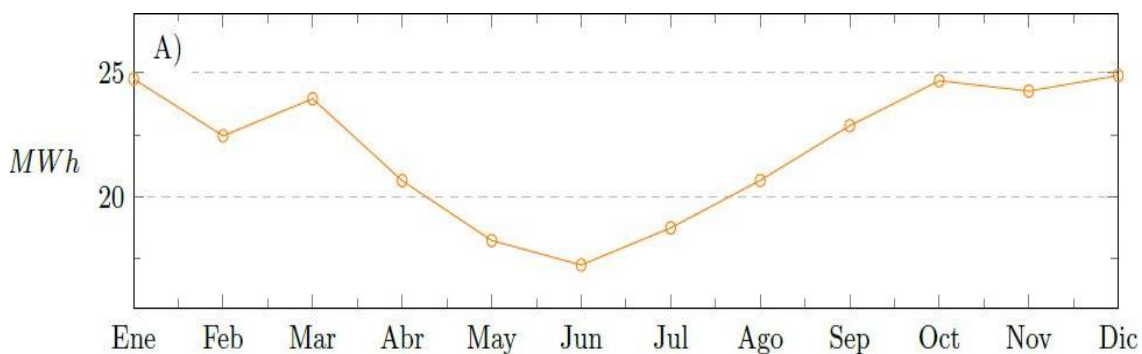


Figura 9: Ciclo anual de generación. Fuente: Explorador Solar del Ministerio de Energía

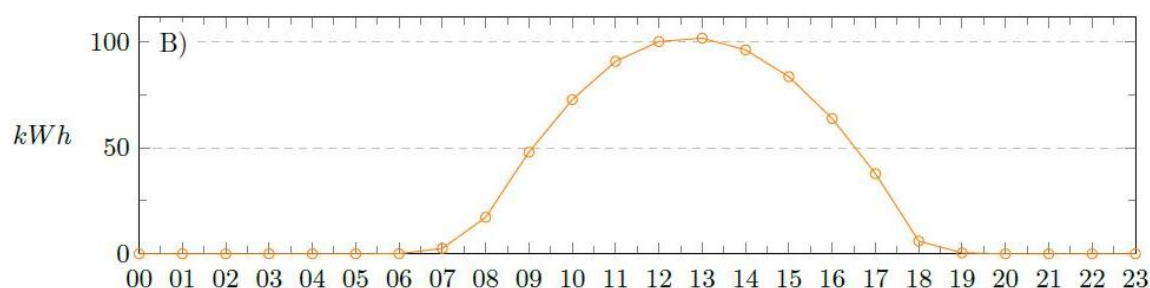


Figura 10: Ciclo diario de generación. Fuente: Explorador Solar del Ministerio de Energía

Se debe tener en consideración que la figura 10, muestra un promedio de la generación diaria, que es muy parecida a una gráfica de generación diaria en verano, ya que en invierno esta se modifica bastante con los días nublados y una menor radiación solar.

La tabla siguiente (Tabla 11) nos muestra una comparación de radiación mensual para una superficie sin inclinación y una inclinada a los 27° requeridos.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	7.98	7.28	6.19	4.66	3.41	3.15	3.44	4.28	5.71	6.77	7.78	8.09
Difusa	0.88	0.84	0.72	0.71	0.67	0.58	0.59	0.68	0.72	0.87	0.9	0.91
Global	8.86	8.12	6.91	5.37	4.08	3.73	4.03	4.96	6.43	7.64	8.68	9.0

(a) Radiación incidente en el plano horizontal

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	6.99	7.06	6.84	5.93	4.93	4.87	5.13	5.68	6.63	6.86	7.03	6.95
Difusa	0.84	0.8	0.68	0.67	0.63	0.55	0.56	0.64	0.68	0.83	0.85	0.86
Suelo	0.12	0.11	0.09	0.07	0.05	0.05	0.05	0.06	0.08	0.1	0.11	0.12
Global	7.95	7.97	7.61	6.67	5.61	5.47	5.74	6.38	7.39	7.79	7.99	7.93

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

Tabla 11. Tabla de promedio mensual de la insolación diaria en unidades de $[kWh/m^2/día]$. Fuente: Explorador Solar del Ministerio de Energía

La tabla que se muestra a continuación (Tabla 12) nos muestra la radiación diaria, pero sin inclinación de los paneles solares o puestos de forma horizontal para la comparación.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Directa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.23	139.0	339.96	550.12	709.57
Difusa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	18.46	48.96	73.94	79.04	86.52
Global	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	50.69	187.96	413.9	629.16	796.09

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Directa	802.8	824.07	769.79	658.84	496.6	302.75	85.76	5.84	0.0	0.0	0.0	0.0
Difusa	85.0	80.82	78.64	69.83	58.52	44.84	23.76	6.17	0.0	0.0	0.0	0.0
Global	887.8	904.89	848.43	728.67	555.12	347.59	109.52	12.01	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 12. Tabla promedio horario de la radiación incidente en unidades $[W/m^2]$ en el plano horizontal. Fuente: Explorador Solar del Ministerio de Energía

La tabla siguiente (Tabla 13) nos muestra la radiación diaria, pero con inclinación de los paneles solares con 27° según la latitud del sitio. En los datos podemos observar que la producción del sitio parte desde las 07:00 de la mañana, hasta las 19:00, en promedio más de 10 horas al día, además podemos ver que la mejor producción se encuentra entre las 10:00 de la mañana y las 16:00 de la tarde, en esa hora por la producción debería realizarse la mayor parte del consumo eléctrico de la planta, con eso el ahorro anual sería muy bueno.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Directa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	122.56	372.42	607.62	789.78
Difusa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.61	17.45	46.29	69.91	74.74	81.8
Suelo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.66	2.46	5.41	8.23	10.41
Global	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.63	31.61	171.31	447.74	690.59	881.99
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Directa	894.53	919.16	858.4	732.54	547.59	326.83	51.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Difusa	80.37	76.42	74.36	66.02	55.33	42.4	22.46	5.84	0.0	0.0	0.0	0.0
Suelo	11.61	11.84	11.1	9.53	7.26	4.55	1.43	0.16	0.0	0.0	0.0	0.0
Global	986.51	1007.42	943.86	808.09	610.18	373.78	74.89	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 13. Tabla promedio horario de la radiación incidente en unidades $[W/m^2]$ en el plano con inclinación igual a la latitud del sitio. Fuente: Explorador Solar del Ministerio de Energía

Descripción de sistema de conexión al sistema eléctrico

Para la interconexión al sistema eléctrico nacional usamos el supuesto de que las plantas serán de no más de 300 kW, esto para poder cumplir con la normativa vigente de Generación Distribuida ley 21.118, la que permite conectar la misma capacidad instalada con ERNC. Si se sobrepasan los 300 KW pasan a ser un PMGD (pequeño medio de generación distribuida), y para ese caso hay que ampliar el gasto en los transformadores para conectarse en alta tensión, ya que la ley pide dos el principal y uno secundario por si falla el principal.

SISTEMA DISPONIBLE EN EL MERCADO

Se estudió la propuesta de Isifloating, para este caso se requieren de 384 paneles solares de 400 W, estos paneles al ser de 23.1 Kg. podrían requieren de una mayor infraestructura para el montaje, además solo el peso de los paneles es de 8870.4 Kg. Los paneles no son ofertados por Isifloating y deben ser adquiridos por separado al igual que todos los elementos de generación eléctrica. La planta solar debe anclarse exteriormente para asegurar su posición sobre la proyección del fondo del tranque, área que no puede superar.

Información del sistema

Tipo de flotador

Flotador modular para panel FV: Son de material HDPE virgen UV estabilizador + antioxidante, con ángulo de inclinación de 5° (ver Figura 11). Las dimensiones del flotador para paneles son de 1160mm x 935mm x 370mm. Tiene una flotabilidad 240 KN (240 Kg.) por panel y puede contar con un flotador secundario: Son de material HDPE virgen UV estabilizador + antioxidante, con ángulo de inclinación de 0° con dimensiones de 1097mm x 575mm x 240mm y una flotabilidad 157 Kg/m².

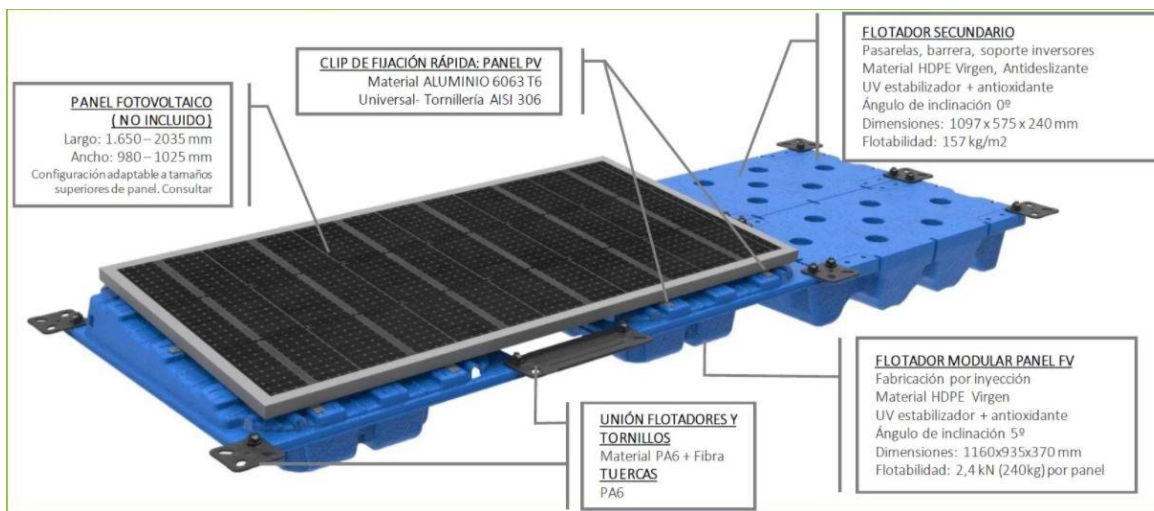


Figura 11. Flotadores Isifloating con un panel instalado.

Capacidad de cobertura

Finalmente, se nos indica de Isifloating que para instalar la planta solar se debe considerar el fondo del tranque que será la superficie máxima de la planta solar. Para ello se puede utilizar la información disponible en Google earth. Por esta razón la capacidad de cobertura está relacionada con las características de cada tranque y sus taludes. No logra cobertura total de los tranques. Para el caso del tranque del sitio su capacidad de cobertura es menor al 50 % de la superficie máxima del espejo de agua.

Tipo de colector solar.

Panel Fotovoltaico genérico de 400 W peak, las dimensiones son de aproximadamente 2000 mm x 1000 mm, con un peso estimado de 22 Kg. Los paneles solares no están incluidos en la propuesta de Isifloating y por tanto el funcionamiento de los mismo como de la planta no son parte de sus responsabilidades.

Potencia calculada

Con 384 paneles de 400W calculamos una potencia máxima de 153 KW y se considera que la planta trabajará con 150 kW de capacidad de inversores según el *Explorador Solar* la generación de un año con una inclinación de 0° se observa en la tabla 14.

Capacidad Instalada	153 kW
Total Diario	677.0 kWh
Total Anual	247.11 MWh
Factor de Planta	18.0 %

Tabla 14. Resultados de la generación fotovoltaica con las condiciones indicadas. Fuente: Explorador solar del ministerio de energía a través de su portal.

Ahora calculando la producción con un software especializado de SMA, el Sunny Design, el que se puede trabajar on line en la página web, <https://www.sunnydesignweb.com/sdweb/#/Home>, en el que se ha estado trabajando desde marzo a la fecha nos arroja con el panel solar SPR-P19-405 y dos inversores SMA de 75 KW, nos entrega la siguiente información:

Vista general del sistema			
384 x SunPower SPR-P19-405-COM (07/2019) (Generador FV 1)			
Acimut: 180 °, Inclinación: 5 °, Tipo de montaje: Techo, Potencia pico: 155,52 kWp			
 2 x SMA SHP75-10			
Datos de diseño fotovoltaicos			
Cantidad total de módulos:	384	Factor de aprovecham. de energía:	100 %
Potencia pico:	155,52 kWp	Coefficiente de rendimiento*:	87,3 %
Número de inversores fotovoltaicos:	2	Rendimiento energético específico*:	1760 kWh/kWp
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos:	150,00 kW	Pérdidas de línea (% de la energía):	---
Potencia activa de CA:	150,00 kW	Carga desequilibrada:	0,00 VA
Relación de la potencia activa:	96,5 %	Reducción de CO ₂ al cabo de 20 año(s):	2.798 t
Rendimiento energético anual*:	273,67 MWh		

Tabla 15. Vista general del sistema. Fuente: sunnydesignweb, a través de su portal.

Costos involucrados

Se calcula el costo de inversión de una planta solar con esta tecnología sobre una superficie de 1.000 metros cuadrados. Es muy importante destacar, que la empresa Isifloating vende su estructura solar flotante, pero no agrega los Paneles Solares Fotovoltaicos, que son de cargo y responsabilidad del cliente, solo da información que deberían ser paneles tipo de 400 watt de potencia, ya que tienen una medida estándar de aproximadamente 2 metros de largo por 1 metro de ancho.

El panel modelo SUNPOWER SPR-P19-400-COM tiene un valor neto de \$135.600, con gasto inicial \$52.070.400, los que pueden disminuir un poco por la compra al por mayor. Información consultada con Heliplast energy systems.

Según la respuesta de Isifloating el costo aproximado de la estructura solar flotante para 150 KW está en el orden de 0.22 a 0.26 EUR/Wp. El valor del euro al 24 de abril de 2021 es de 863.01 pesos chilenos, si utilizamos el valor mayor para una planta de 150 KW, nos da un costo de la estructura de \$ 33.657.390 pesos. El costo asociado a Anclaje y Amarres es del orden de 0.02 a 0.06 EUR/Wp. El valor del euro al 24 de abril de 2021 es de 863.01 pesos chilenos, si utilizamos el valor mayor para una planta de 150 KW, nos da un costo de la estructura de \$ 7.767.090 pesos. A estos ítems hay que agregar el traslado de los elementos desde España a Chile en un par de contenedores, estimados para este caso en 2.000 euros. La instalación de la estructura y el apoyo en la instalación, valores que no se agregan en su propuesta. Finalmente se debe agregar el costo del diseño de detalle que es del orden de 2000 a 2500 euros para plantas de 100 KW. El valor del euro al 24 de abril de 2021 es de 863.01 pesos chilenos, si utilizamos el valor mayor para una planta de 150 KW, nos da un costo

de la estructura de \$ 2.157.525 pesos. A estos costos se debe adicionar el costo de montaje, que para los efectos del estudio tiene los mismos componentes y valores que la propuesta.

RESUMEN COSTOS DE PLATAFORMA PLÁSTICA				
Detalle	Valor unitario	Cantidad	Total EURO	Total Pesos
Estructura sola flotante (Eu/w)	0,3	150.000,0	39.000	33.657.390
Anclajes y amarres	0,1	150.000,0	9.000	7.767.090
Traslado contenedor desde alicante	1,0	1,0	2.000	1.726.020
Diseño detalle	2.500,0	1,0	2.500	2.157.525
TOTAL (Valor Modulo)	2.501,3	-	52.500	45.308.025

Tabla 16. Resumen de costos de plataforma plástica. Fuente: elaboración propia.

Según recomendación del fabricante, se requiere de 3 a 4 operarios para la instalación de la planta en un lapso de alrededor de 15 días. Para ello se requiere de un supervisor y 4 trabajadores por medio mes. Para el estudio consideramos un supervisor de obra con sueldo mensual de \$1.040.000 y 4 trabajadores instaladores con un sueldo mensual de \$650.000, que calculado por medio mes tiene un valor de \$1.820.000. A esto sumamos un costo en implementación de elementos de protección y vestuario de personal entre otros por un monto de \$170.000. Finalmente sumamos el costo de colaciones de los trabajadores, que requieren un total de 75 colaciones a 3.500 cada una, con un total de \$262.500.

Se considera el uso de una camioneta para el traslado de personal y transporte en general con un costo diario de \$65.000 por 6 días. Se calculó al menos dos traslados diarios entre Copiapó y el sitio (ida y vuelta son alrededor de 25 km) y que por medio mes serían 750 kilómetros con una camioneta con un rendimiento estimado en 10 km/l, que nos significa un gasto de 75 litros a \$650. Con estos antecedentes el costo en vehículo es de \$438.750.

Para el traslado de los equipos al sitio se considera un costo de traslado de todos los equipos por \$ 500.000 y el costo de un camión grúa para traslado e instalación del contenedor (sala eléctrica) por un monto de \$300.000. Sumando para traslados de equipos un total de \$800.000.

Otros costos involucrados están relacionados con adquisición de equipos (2 atornillador inalámbrico por \$200.000 en desgaste), herramientas (variadas estimadas en \$150.000 en desgaste), insumos menores por \$175.000) y caja chica por \$125.000. Estos costos suman \$625.000

Consideramos los costos técnicos administrativos, entre ellos el costo de administración de personal por medio mes estimado en \$70.000, Soporte de un Inspector técnico de Obra por \$720.000, desarrollo de ingeniería construcción eléctrica por \$1.500.000 e inspección SEC TE1 más TE4 por \$1.600.000. Estos costos suman \$3.890.000.

Con todos estos antecedentes los costos de instalación para este tipo de planta se pueden observar en la tabla 17.

Costos generales de instalación				
Detalle	Cantidad	Unario	Por obra	
Supervisor de obra	1	\$ 1.040.000	\$	520.000
Instalador	4	\$ 650.000	\$	1.300.000
Implementación			\$	170.000
Vehículo			\$	438.750
Almuerzos			\$	262.500
Transporte de equipos			\$	800.000
Soportes técnico-administrativos			\$	3.890.000
Otros costos			\$	625.000
TOTAL				\$ 8.006.250
TOTAL EURO		\$	9.277	

Tabla 17. Resumen de costos de plataforma plástica. Fuente: elaboración propia.

Los costos de equipos y materiales corresponden a 3 inversores de 50 kW cada uno por un valor neto de \$3.000.000, 760 set de conectores por un valor de \$4.500, 4 bobinas de cables de 100 metros a un valor individual de \$165.000, container para sala eléctrica por \$1.400.000, y tablero eléctrico equipado por un total de \$420.000. Como se observa a continuación el costo total es de \$14.889.091 (ver Tabla 18).

Costos instalaciones electricas			
Detalle	Cantidad	Valor	Total
Inversores	3	3.000.000	9.000.000
Set conectores	758	4.500	3.409.091
Cable (bobina 100m)	4	165.000	660.000
Sala electrica (container)	1	1.400.000	1.400.000
Tablero electrico (equipado)	1	420.000	420.000
TOTAL			14.889.091
TOTAL EUROS		17.253	

Tabla 18. Resumen de costos de plataforma plástica. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, consideramos el margen de utilidad para empresa que impulsa el proyecto, por un monto de 15% sobre el proyecto. Con todos estos datos podemos llegar al siguiente total de inversión de este tipo de planta:

Resumen costo inversión	
Detalle	Valor
384 Paneles solares ULICA 440W -144C	52.070.400
Costos de plataforma plástica	45.308.025
Costos generales de instalación	8.006.250
Costo de instalaciones eléctricas	14.889.091
Margen (15%)	18.041.065
TOTAL	138.314.831
TOTAL USD	191.572

Tabla 19. Resumen de costos de plataforma plástica. Fuente: elaboración propia.

Método de limpieza.

Limpieza tradicional con una cuadrilla de limpieza utilizando herramientas manuales, agua desmineralizada y sus elementos de protección personal. Cualquier otro método de limpieza más sofisticado es de cargo del dueño de la planta.

Para la estimación del costo de operación de la planta se considera el costo de una patrulla de operarios realizando limpieza periódica cada 2 meses (6 visitas en el año), con soporte de un inspector técnico de operación. Para esto, se requiere supervisión de un prevencionista, debido al peligro que representa el ingreso de personal a la planta en un medio líquido. También se requieren insumos de protección de los trabajadores, vehículo de traslado, combustible, almuerzos, soporte administrativo y herramientas. Además, consideramos un margen de 20% a favor del prestador de servicio. Los costos entonces serían:

Detalle	Costo de operación		
	valor unitario	cantidad	Total
Prevencionista (jornada diaria)	66.667	6	400.000
Supervisor técnico	42.400	6	254.400
4 técnicos de aseo	148.400	6	890.400
Insumos de protección	135.000	1	135.000
Vehículo de traslados	65.000	6	390.000
Combustible (litros)	650	30	19.500
Colaciones	4.500	36	162.000
Soporte administrativo	10.000	6	60.000
Inspector técnico de operación	75.000	6	450.000
Herramientas y maquinas	300.000	1	300.000
Caja chica	300.000	1	300.000
Margen	672.260	1	672.260
TOTAL			4.033.560
TOTAL USD		5.587	

Tabla 20. Resumen de costos de plataforma plástica. Fuente: elaboración propia.

MÓDULO FLOTANTE CON PANEL FLEXIBLE

Corresponde a un diseño de módulo flotante plástico donde se inserta directamente un panel sobre éste, similar a todos los sistemas flotantes, pero con la diferencia que el panel flexible pasa a formar parte de la estructura del módulo flotador. El conjunto de módulos conforma una cobertura flotante y van unidos en sus extremos por articulaciones espaciales que le permiten ciertos movimientos de pivote que le permitirá asentarse al talud en la medida que el nivel del agua del tranque disminuya. La configuración y método de limpieza permite proyectar una planta solar compuesta sólo de módulos generadores, sin pasillos de limpieza.

Información del sistema

Tipo de flotador

El flotador corresponde a un módulo que un tiene diseño especial para la inserción en su parte superior del panel flexible. Tiene 123cm de largo por 57cm de ancho y un alto de 30cm para adecuarse a las dimensiones del panel flexible y un sistema de acople entre módulos que le permite cierta movilidad para asentarse al talud y mantener los módulos unidos trabajando como una cobertura flotante unida. Se puede ver imagen proyectada en la figura 12.

Tipo de colector solar

Es un panel flexible, que en este caso es fabricado por Yiwu Donghui Solar Technology co (Figura 13). Es un panel que se puede fabricar de acuerdo a los requerimientos del cliente, el que se consideró en la evaluación es un panel flexible de 120 cm X 54 cm de 100 watt compuesto por 36 células monocristalinas de 125 mm x 125 mm con una eficiencia del 20 % de un peso declarado para el panel es de 3 kg. Es una empresa internacional de alta tecnología y desarrollo, que fabrica productos de energía solar, paneles solares y placas de batería, obleas de silicio monocristalino, diseño de sistemas solares fotovoltaicos, e instalación. Yiwu Donghui Solar Technology co. dice aspirar a convertirse en "el experto en generación de energía solar", concentrándose en células, módulos e ingeniería de generación de energía solar.



Figura 12. Imágenes de panel flexible publicadas por el proveedor.

Potencia calculada

La superficie que ocupará cada módulo flotante (incluido panel y módulo) es de 0,72 metros cuadrados por tal razón en una superficie de 1.000 metros cuadrados podremos incorporar alrededor de 1.390 unidades (no se consideran pasillos de limpieza). Con esto la potencia instalada de esta planta será de 139 kW. Se considera que la planta trabajará con 150 kW de capacidad de inversores. Se calcula una generación de un año con una inclinación de 0°, y según el *Explorador Solar* es la siguiente:

Capacidad Instalada	138.99 kW
Total Diario	615.0 kWh
Total Anual	224.48 MWh
Factor de Planta	18.0 %

Tabla 21. Resultados de la generación fotovoltaica. Fuente: Explorador solar del ministerio de energía a través de su portal.

Costos involucrados

La propuesta considera un panel flexible de origen chino, el YWDH-F100W fabricado por la empresa Yiwu Donghui Solar Technology co. y que tiene un costo de 40,5 dólares. El total de paneles ocupan un volumen de 18 metros cúbicos y tienen un peso de 4.1 toneladas. De acuerdo a la información Global Transport and Logistics DSV (DSV 2021) un contenedor DRY de 20 pies puede cargar hasta 25.000 kg y más de 33 metros cúbicos. Según Awarecon (AWARECON 2021) un contenedor de 20 pies en temporada baja cuesta entre 1.000 y 1.200 dólares, que dividido entre los 1390 paneles significan 86 centavos de dólar. Considerando una merma de 5 % del material, se estima unos costos por panel de 43,39 USD. Al proceder de China no se cobra el arancel de 6 % por tratados internacionales y se maneja como valor neto.

Para la fabricación del módulo flotante se Calculó el peso de dicha estructura plástica como un cubo de 122 cm de largo por 55 cm de ancho y de 30 cm de alto con planos internos para instalación del panel y un protector de panel montado sobre el conjunto. El volumen total calculado es de 10.237 cm³ y dado que el HDPE tiene una densidad de 0,95 kg/kg el peso estimado es de 9,73 kg.

Sección	alto	en cm largo	ancho	
Protector transparente Módulo				1.377,2
Espacio porta panel	0,40	55,00	122,00	2.684,0
Vaciado del espacio que ocupa Panel	0,20	54,00	121,00	1.306,8
Pieza superior soporte panel				1.346,5
Estacio soporte panel	0,40	55,00	122,00	2.684,0
Vaciado espacio panel	0,20	54,00	121,00	1.306,8
Vaciado espacio para caja conexión	0,20	12,00	6,40	30,7
Pieza inferior flotante				7.513,3
Pieza	30,00	55,00	122,00	201.300,0
hueco en pieza	29,50	54,20	121,20	193.786,7
				10.237,0

Tabla 22. Cálculo de volumen de plástico. Fuente: elaboración propia.

Para la estimación del costo de inyección de la pieza plástica, consideramos una máquina de inyección de plástico de 118.000 dólares con una vida útil de 6 años y con un total de 25.920 horas máquina disponible, calculando un valor de hora máquina de \$3.279. De acuerdo a lo consultado con un especialista de la industria del plástico propietario de la empresa MAVLAR, hemos calculado una capacidad de 12 módulos inyectados por hora y con ello un costo de \$273 por módulo

inyectado. El costo de operario por hora está estimado en \$4.167 por lo que el costo por módulo en este ítem es de \$347. El costo de las matrices se estima en \$25.000.000 y con una vida útil de 200.000 inyectados, por lo que el costo de la matriz suma \$125. Es importante indicar que éstos valores son referenciales dado que si bien es factible inyectar las piezas para un módulo de 55 cm x 55 cm x 30 cm (como en el caso siguiente), la medida de 120 cm de ancho no se podría trabajar en este tipo de máquina. Se supone un costo de 1,5 USD para el kilogramo de HDPE, por lo que el costo en material sería de \$10.532 con dólar a \$722. El costo de administración, electricidad, costos fijos y margen se suponen en una equivalencia al costo del plástico inyectado. Con estos antecedentes el costo total por inyección de plástico sería de \$21.810 por unidad, y los componentes del costo de la pieza plástica serían:

Tipo de costo	Costo de piezas plásticas		
	valor unitario	módulos por unidad	Sub total
maquinaria	3.279	12	273
Operario calificado	4.167	12	347
Matriz de piezas	25.000.000	200.000	125
HDPE	10.532	1	10.532
Administración y otros	10.532	1	10.532
TOTAL			21.810
TOTAL USD		30,21	

Tabla 23. Costo de piezas plásticas. Fuente: elaboración propia.

Para calcular el costo de armado por módulo se consideran el costo de operario de armado, instalaciones de lugar de trabajo y costos de administración. Se considera que el operario debe tomar la pieza inferior flotante y ponerla sobre el mesón de trabajo, ensamblar sobre ella la pieza superior soporte de panel. Luego instalar el panel sobre esta y poner los conectores entre el panel y el exterior del módulo. Luego aplicar una resina y finalmente instalar el protector transparente. Se estima que en una hora un operario podría ensamblar 8 unidades. Sin embargo, este trabajo debería ser realizado en una cadena de montaje y estudiarse en profundidad el lay out adecuado de la oficina y metodología de trabajo adecuados. Para estimar el costo de mano de obra se considera un sueldo por operario de \$620.000 en función que el ingreso promedio mensual en Chile el 2019 fue de 620.528 (INE 2020). Considerando una jornada de 8 horas y 24 días de trabajo al mes se obtiene un costo de \$538 por módulo.

Se considera también el trabajo de control de calidad, que corresponde a una verificación de funcionamiento eléctrico en banco de cada uno de los equipos armados. Tendrá un costo de empleo de \$700.000 y Verificará 10 unidades por hora con una jornada de 8 horas y 24 días de trabajo al mes lo que implica un costo de \$324 por módulo.

Para la estimación del costo de instalaciones se buscó referencias en diversos portales. Desde el portal Todogalpón (<http://www.todogalpon.cl/arriendos.php>) se pudo observar que el precio para unas instalaciones de 1.000 m² equipadas oscilan entre 100 UF a 200 UF mensuales. Con ello se determinó establecer el costo de instalaciones en \$4.500.000 y considerar una capacidad de producción de 3.000 unidades por mes, calculando para ello un valor de \$1.500 por módulo.

Se considera finalmente gastos generales de administración mensuales tales como seguridad de instalaciones con 4 turnos de guardias por \$2.000.000, contador por \$500.000, secretaria por \$450.000, y gerente de operaciones por \$1.800.000 y \$500.000 para gastos básicos como electricidad, internet y otros. Estos costos suman \$5.250.000 y, considerando una capacidad de producción de 3.000 unidades se obtiene un costo por módulo de \$1.750.

Finalmente se considera el costo de un leasing para un camión por \$800.000 y un chofer por \$750.000 mensuales, con un costo total de \$1.550.000 y \$517 por unidad.

Costo de armado de módulos		
Detalle	Unidad USD	Unidad CLP
Operario mes		538
instalaciones		1.500
Administración		1.750
Control calidad		324
Transporte		517
TOTAL		4.112
TOTAL USD	5,70	

Tabla 24. Costos de armado de módulos. Fuente: elaboración propia.

Con todos estos antecedentes podemos concluir que el costo total de un módulo flotante con panel incorporado asciende a 79,29 USD equivalentes a \$57.246, desglosados de la siguiente manera:

RESUMEN COSTOS DE MÓDULOS			
Detalle	Dólar USD	CLP \$	
Tipo Cambio Dólar	1	\$	722
Costo panel flexible puesto en Chile (pérdida 5%)	43,39	\$	31.324
Costo de piezas plásticas	30,21	\$	21.810
Costo Armado de módulos	5,70	\$	4.112
TOTAL		\$	57.246
Total USD	79,29		

Tabla 25. Resumen de costos de módulos. Fuente: elaboración propia

Se determinó que para la instalación de esta planta se usará como parámetro la misma cantidad de operarios del ejemplo de Isifloating porque no existen mayores antecedentes. Si bien son menos paneles que deben instalarse, la cantidad de trabajo en las piezas flotantes plásticas será similar, y en este tipo de planta no se debe instalar los paneles en el flotador, solo deben conectarse el cableado e instalarse la pieza del sistema de acople. Por lo anterior se requiere de 3 a 4 operarios para la instalación de la planta en un lapso de alrededor de 15 días. Para ello se considerará de un supervisor y 4 trabajadores por medio mes; un supervisor de obra con sueldo mensual de \$1.040.000 y 4 trabajadores instaladores con un sueldo mensual de \$650.000, que calculado por medio mes tiene un valor de \$1.820.000. A esto sumamos un costo en implementación de elementos de protección y vestuario de personal entre otros por un monto de \$170.000. Finalmente sumamos el costo de colaciones de los trabajadores, que requieren un total de 75 colaciones a 3.500 cada una, con un total de \$262.500.

Se considera el uso de una camioneta para el traslado de personal y transporte en general con un costo diario de \$65.000 por 6 días. Se calculó al menos dos traslados diarios entre Copiapó y el sitio (ida y vuelta son alrededor de 25 km) y que por medio mes serían 750 kilómetros con una camioneta con un rendimiento estimado en 10 km/l, que nos significa un gasto de 75 litros a \$650. Con estos antecedentes el costo en vehículo es de \$438.750.

Para el traslado de los equipos al sitio se considera un costo de traslado de todos los equipos por \$ 500.000 y el costo de un camión grúa para traslado e instalación del contenedor (sala eléctrica) por un monto de \$300.000. Sumando para traslados de equipos un total de \$800.000.

Otros costos involucrados están relacionados con adquisición de equipos (1 atornillador inalámbrico por \$100.000 en desgaste), herramientas (variadas estimadas en \$150.000 en desgaste), insumos menores por \$175.000) y caja chica por \$125.000. Estos costos suman \$550.000

Consideramos los costos técnicos administrativos, entre ellos el costo de administración de personal por medio mes estimado en \$70.000, Soporte de un Inspector técnico de Obra por \$720.000, desarrollo de ingeniería construcción eléctrica por \$1.500.000 e inspección SEC TE1 más TE4 por \$1.600.000. Estos costos suman \$3.890.000.

Con todos estos antecedentes los costos de instalación de este tipo de planta serían:

Costos generales de instalación				
Detalle	Cantidad	Unitario	Por obra	
Supervisor de obra	1	\$ 1.040.000	\$	520.000
Instalador	4	\$ 650.000	\$	1.300.000
Implementación			\$	170.000
Vehículo			\$	438.750
Almuerzos			\$	262.500
Transporte de equipos			\$	800.000
Soportes técnico-administrativos			\$	3.890.000
Otros costos			\$	550.000
TOTAL			\$	7.931.250
TOTAL USD		\$	10.985	

Tabla 26. Resumen de costos generales instalación. Fuente: elaboración propia.

Los costos de equipos y materiales corresponden a 3 inversores de 50 kW cada uno por un valor neto de \$3.000.000, 2.782 set de conectores por un valor de \$1.083 (adquiridos en China vía Alibaba, compra al por mayor), se requieren alrededor de 800 metros de cable y por lo tanto 9 bobinas de cables de 100 metros a un valor individual de \$165.000, container para sala eléctrica por \$1.400.000, y tablero eléctrico equipado por un total de \$420.000. El costo total es de \$15.371.906, como se muestra a continuación:

Costos instalaciones electricas			
Detalle	Cantidad	Valor	Total
Inversores	3	3.000.000	9.000.000
Set conectores	2782	1.083	3.012.906
Cable (bobina 100m)	9	165.000	1.485.000
Sala electrica (container)	1	1.400.000	1.400.000
Tablero electrico (equipado)	1	420.000	420.000
TOTAL			15.317.906
TOTAL USD		21.216	

Tabla 27. Costo de instalaciones eléctricas. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, consideramos el margen de utilidad para empresa que impulsa el proyecto, por un monto de 15% sobre este. Con todos estos datos podemos llegar un costo total de inversión de \$118.273.201 desglosado de la siguiente manera:

Resumen de costo de inversión	
Detalle	Valor
1390 Módulos	79.597.106
Costos generales de instalación	7.931.250
Costos instalaciones eléctricas	15.317.906
Margen (15%)	15.426.939
TOTAL	118.273.201
TOTAL USD	163.813

Tabla 28. Resumen de costo de Inversión. Fuente: elaboración propia.

Método de limpieza

Se considera un drone agrícola con capacidad de carga de 20 litros de mezcla, con vuelo programado en ruta y horarios. Este drone trabaja con un pequeño sistema purificador de agua que permite el uso de agua limpia para movilizar las partículas de polvo sobre los paneles. Un sistema de recarga autónoma del estanque del drone permite el funcionamiento de este conjunto de limpieza sin requerir presencia de personal, a excepción de mantenciones periódicas.

Para la estimación del costo de operación de la planta se considera el costo de técnico especialista para mantención del drone por valor de \$68.750 (calculado a partir de un sueldo mensual de \$1.650.000), con soporte de un inspector técnico de operación de la planta. También se requieren insumos de protección de los trabajadores, vehículo de traslado, combustible, almuerzos y soporte administrativo. Hay varias alternativas de Drone agrícola, desde equipos de 6 litros de capacidad a valores desde \$3.000.000 (ejemplo: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/6-liter-small-size-high-speed-sprayer-agriculture-uav-drone-with-gps-62335572283.html>) hasta valores sobre 10 millones. Para el ejemplo usamos el valor de un drone de importación de 20 litros ofrecido por la empresa Controlpaso (<http://controlpaso.cl/viewitem.php?productid=374>) a \$8.790.000, valor que utilizaremos. Para obtener agua en calidad aceptable se requiere de un sistema purificador de agua, de nivel domiciliario que tienen costos de alrededor de \$150.000. A estos montos consideramos

aplicar \$500.000 en equipos de control autónomo para la recarga del estanque del drone, equipo que deberá ser desarrollado junto a la propuesta.



Figura 13. Imagen del drone y del sistema purificador de agua por osmosis interna.

También se considera una caja chica por un monto de \$300.000 y un margen de 20% a favor del prestador de servicio. Los costos entonces serían:

Detalle	Costo de operación		Total
	valor unitario	cantidad	
Técnico de mantención sistema drone	68.750	6	412.500
Insumos de protección	135.000	1	135.000
Vehículo de traslados	65.000	6	390.000
Combustible (litros)	650	30	19.500
Colaciones	4.500	6	27.000
Soporte administrativo	5.000	6	30.000
Inspector técnico de operación	75.000	6	450.000
Drone (depreciado en 8 años)	8.790.000	8	1.098.750
Planta de agua limpia para lavado (depreciada en 8 añ	750.000	8	93.750
Caja chica	300.000	1	300.000
Margen (20%)	591.300	1	591.300
TOTAL			3.547.800
TOTAL USD		4.914	

Tabla 29. Costos de operación. Fuente: elaboración propia.

MÓDULO FLOTANTE CONFORMADO POR 9 CELDAS

Corresponde a un diseño de módulo flotante plástico donde las celdas van insertas en la estructura de plástico y pasan a formar parte de la estructura del módulo flotador. Al igual que en el caso anterior el conjunto de módulos conforma una cobertura flotante y van unidos en sus extremos por articulaciones espaciales que le permiten ciertos movimientos de pivote que le permitirá asentarse al talud en la medida que el nivel del agua del tranque disminuya. La configuración y método de

limpieza permite proyectar una planta solar compuesta sólo de módulos generadores, sin pasillos de limpieza.

Información del sistema

Tipo de flotador

El flotador corresponde a un módulo que tiene un diseño especial de contener en su parte superior 9 celdas de generación de energía solar y conectados internamente. Tiene 53 cm de largo por 53 cm de ancho y un alto de 30 cm para adecuarse a las dimensiones del panel flexible y un sistema de acople entre módulos que le permite cierta movilidad para asentarse al talud y mantener los módulos unidos trabajando como una cobertura flotante unida.

Tipo de colector solar

Es un conjunto de 9 celdas solares. La célula solar considerada es fabricada por “Changzhou Enew Energy Technology Co. Ltd. Es una célula de 156 mm X 156 mm monocristalina de silicio con eficiencia declarada entre 20 y 22% capaz de generar 5,28 watt. Estas células se incorporan a nuestra pieza plástica superior de manera tal que conforman nuestro panel-módulo flotante.

Sobre la empresa, ésta declara que fue establecida en 2015, es un fabricante profesional dedicado a la investigación, desarrollo, producción, venta y servicio de energía solar. Tiene un área de planta de 8.000 m² ubicada en la ciudad de Changzhou, provincia de Jiangsu, con un cómodo acceso de transporte. Dedicado a un estricto control de calidad y un atento servicio al cliente, con experimentado personal está siempre disponible para discutir requisitos y garantizar la plena satisfacción del cliente. En los últimos años, ha introducido una serie de equipos avanzados y nuevas técnicas y han obtenido el certificado CE / TUV / CQC.

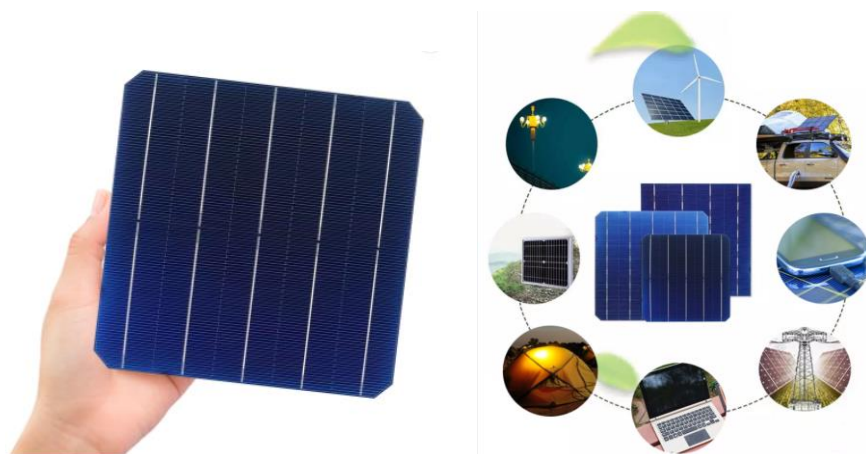


Figura 14. Imágenes de la celda solar publicadas por el proveedor.

Potencia calculada

La superficie que ocupará cada módulo flotante (incluido panel y módulo) es de 0,29 metros cuadrados calculados en razón de los 53 cm de lado más 1 cm (54x54) hacia la junta con el próximo módulo; por lo que en una superficie de 1.000 metros cuadrados podremos incorporar alrededor

de 3.429 unidades (no se consideran pasillos de limpieza). Cada módulo tendrá una generación de 47,5 watt. Con esto la potencia instalada de esta planta será de 163 kW. Se considera que la planta trabajará con 150 kW en capacidad de inversores. Se calcula una generación de un año con una inclinación de 0°, y según el *Explorador Solar* es la siguiente:

Capacidad Instalada	163 kW
Total Diario	721.0 kWh
Total Anual	263.26 MWh
Factor de Planta	18.0 %

Tabla 30. Resultados de la generación fotovoltaica. Fuente: Explorador solar del ministerio de energía a través de su portal.

Costos involucrados

La propuesta considera una celda solar de 156 mm X 156 mm monocristalina de silicio con eficiencia declarada entre 20 y 22% capaz de generar 5.37 watt fabricadas por “Changzhou Enew Energy Technology y tienen un valor de 0,55 USD cada una. Como se explicó en el caso anterior un contenedor de 20 pies en temporada baja cuesta entre 1.000 y 1.200 dólares. Considerando una merma de 10% del material en el proceso de fabricación del flotador, se estima un costo final de 6,05 USD. Al proceder de China no se cobra el arancel de 6% por tratados internacionales.

Para la fabricación del módulo flotante se Calculó el peso de una estructura plástica con forma de un cubo de 52 cm de largo por 52 cm de ancho y de 30 cm de alto con planos internos para instalación de las celdas solares y un protector de panel montado sobre el conjunto. El volumen total calculado es de 4.678 cm³ y dado que el HDPE tiene una densidad de 0.95 kg/kg el peso estimado es de 4,44kg.

Sección	en cm			Cant	Sub total
	alto	largo	ancho		
Protecor transparente de celdas					508,6
Estructura de soporte celdas	0,40	47,90	49,70	1,00	952,3
Vaciado espacio celdas (9)	0,20	15,70	15,70	9,00	443,7
Pieza superior soporte celdas					412,6
Estructura de soporte	0,40	47,90	47,90	1,00	917,8
Vaciado espacio celdas (9)	0,20	15,70	15,70	9,00	443,7
Vaciado espacio para conexión celdas	0,20	12,00	6,40	4,00	61,4
Vaciado espacio para conexión líneas d	0,20	28,00	3,00	0,00	-
Perfil plastico bajo soporte					685,9
2 laterales con forma triangular	13,72	50,00	0,50	1,00	342,9
lado posterior	13,72	50,00	0,50	1,00	342,9
Pieza inferior flotante					3.070,7
Cubo	30,00	52,00	52,00	1,00	81.120,0
hueco en tubo	29,60	51,50	51,20	1,00	78.049,3
Volumen Total					4.677,8

Tabla 31. Cálculo de volumen de plástico. Fuente: elaboración propia.

Para la estimación del costo de inyección de la pieza plástica, consideramos una máquina de inyección de plástico de 118.000 dólares con una vida útil de 6 años y con un total de 25.920 horas máquina disponible, calculando un valor de hora máquina de \$3.279. De acuerdo a lo consultado con un especialista de la industria del plástico propietario de la empresa MAVLAR, hemos calculado una capacidad de 15 módulos inyectados por hora y con ello un costo de \$219 por módulo inyectado. El costo de operario por hora está estimado en \$4.167 por lo que el costo por módulo en este ítem es de \$278. El costo de las matrices se estima en \$25.000.000 y con una vida útil de 200.000 inyectados, por lo que el costo de la matriz suma \$125. Es importante indicar que éstos valores son referenciales y que es factible inyectar las piezas para un módulo de 55 cm x 55 cm x 30cm, pero requiere de un diseño definitivo y trabajo de ingeniería completo para determinar adecuadamente sus valores y factibilidad. Se supone un costo de 1,5 USD para el kilogramo de HDPE, por lo que el costo en material sería de \$4.813 con dólar a \$722. El costo de administración, electricidad, costos fijos y margen se suponen en una equivalencia al costo del plástico inyectado. Con estos antecedentes el costo total por inyección de plástico sería de \$10.247 por unidad, y los componentes del costo de la pieza plástica serían:

Costo de piezas plásticas			
Tipo de costo	valor unitario	módulos por unidad	Sub total
maquinaria	3.279	15	219
Operario calificado	4.167	15	278
Matriz de piezas	25.000.000	200.000	125
HDPE	4.813	1	4.813
Admnsitración y otros	4.813	1	4.813
TOTAL			10.247
TOTAL USD		14,19	

Tabla 32. Costo de piezas plásticas. Fuente: elaboración propia.

Para calcular el costo de armado por módulo se consideran el costo de operario de soldadura de celdas, operario de armado, instalaciones de lugar de trabajo y costos de administración. Un operario soldador aplica soldadura sobre la superficie de las celdas, luego otro operario soldador pone éstas en el protector transparente de celdas y suelda las celdas a la celda correspondiente para mantener el circuito, un operario de armado sella el conjunto instalando sobre estas la pieza superior soporte de celdas. Luego otro armador termina de armar el flotador con la pieza de inferior flotante. Para estimar el costo de mano de obra se considera un sueldo por operario de \$620.000 en función que el ingreso promedio mensual en Chile el 2019 fue de 620.528 (INE 2020). Se considera un sueldo mensual de \$700.000 para soldador y que podrá soldar adecuadamente una celda cada 5 minutos (tiempo determinado tras revisión de trabajos de soldadura de celdas en video de diversas personas en internet), por lo que podrá soldar 12 celdas por hora y 2.592 en un mes, que se traduce en 288 módulos por mes; así el costo de soldadura de un módulo será de \$2.430. Se considera para un operario armador un sueldo de \$600.000 y que tendrá la podrá armar 8 unidades por hora, el costo hora es de \$3.125 y con ello el costo por unidad armada es de \$391. Todo este trabajo debería ser realizado en una cadena de montaje y estudiarse en profundidad el lay out adecuado del proceso y taller, así como la metodología de trabajo adecuados.

Para poder lograr disminuir los riesgos de falla se considera un proceso de control de calidad que permita verificar que los módulos efectivamente generen la energía esperada. Por ello se considera un operario de control de calidad con un sueldo de \$650.000 con un costo por hora de \$3.385, que deberá revisar 10 módulos por hora, con ello el costo por unidad por mano de obra de control de calidad es de \$339. Para poder realizar el proceso se requiere de un banco de pruebas, que según Salas-Reyes y otros (Salas-Reyes y otros 2018) construirlo tiene un valor de entre 5.016.000 y 6.413.000 pesos colombianos que en pesos chilenos a abril del 2021 corresponden a \$921.680 y \$1.182.147, valor referencia que utilizaremos con depreciación en 5 años, al dividirlo en 12 meses por año y 24 días y 8 horas día, tenemos un costo de \$103. En total se tendrán \$441 de costo.

Para la estimación del costo de instalaciones se buscó referencias en diversos portales. Desde el portal Todogalpón (<http://www.todogalpon.cl/arriendos.php>) se pudo observar que el precio para unas instalaciones de 1.000 m² equipadas oscilan entre 100 UF a 200 UF mensuales. Con ello se determinó establecer el costo de instalaciones en \$4.500.000 y considerar una capacidad de producción de 10.000 unidades por mes, calculando para ello un valor de \$450 por módulo.

Se considera finalmente gastos generales de administración mensuales tales como seguridad de instalaciones con 4 turnos de guardias por \$2.000.000, contador por \$500.000, secretaria por \$450.000, y gerente de operaciones por \$1.800.000 y \$500.000 para gastos básicos como electricidad, internet y otros. Estos costos suman \$5.250.000 y, considerando una capacidad de producción de 10.000 unidades se obtiene un costo por módulo de \$525.

Finalmente se considera el costo de un leasing para un camión por \$800.000 y un chofer por \$750.000 mensuales, con un costo total de \$1.550.000 y \$155 por unidad.

Costo de armado de módulos		
Detalle	Unidad USD	Unidad CLP
Operario Soldador		2.431
Operario Armado	\$	404
instalaciones		450
Control de calidad		441
Administración		525
Transporte		155
TOTAL		4.250
TOTAL USD	5,89	

Tabla 33. Costos de armado de módulos. Fuente: elaboración propia

Con todos estos antecedentes podemos concluir que el costo total de un módulo flotante con celdas incorporadas asciende a 26,13 dólares equivalentes a \$18.864, desglosados de la siguiente manera:

RESUMEN COSTOS MÓDULOS			
Detalle	Dólar USD	CLP \$	
Tipo Cambio Dólar	1	\$	722
Plastico estrucutra	14,19	\$	10.245
Costo Adquisición Celdas (x9) (pérdida 11%)	6,05	\$	4.368
Costos de amrado de módulos	5,89	\$	4.250
TOTAL		\$	18.864
TOTAL USD	26,13		

Tabla 34. Resumen de costos de módulos. Fuente: elaboración propia

Se determinó que para la instalación de esta planta se usará como parámetro la misma cantidad de operarios del ejemplo de Isifloating y el caso anterior porque no existen mayores antecedentes. Si bien son menos paneles que deben instalarse en el caso de Isifloating, la cantidad de trabajo en las piezas flotantes plásticas será similar, y en este tipo de planta no se debe instalar los paneles en el flotador, solo deben conectarse el cableado e instalarse la pieza del sistema de acople. Por lo anterior se considera que se requiere de 4 operarios para la instalación de la planta en un lapso de alrededor de 15 días. Para ello se considerará de un supervisor y 4 trabajadores por medio mes; un supervisor de obra con sueldo mensual de \$1.040.000 y 4 trabajadores instaladores con un sueldo mensual de \$650.000, que calculado por medio mes tiene un valor de \$1.820.000. A esto sumamos un costo en implementación de elementos de protección y vestuario de personal entre otros por un monto de \$170.000. Finalmente sumamos el costo de colaciones de los trabajadores, que requieren un total de 75 colaciones a 3.500 cada una, con un total de \$262.500.

Se considera el uso de una camioneta para el traslado de personal y transporte en general con un costo diario de \$65.000 por 6 días. Se calculó al menos dos traslados diarios entre Copiapó y el sitio (ida y vuelta son alrededor de 25 km) y que por medio mes serían 750 kilómetros con una camioneta con un rendimiento estimado en 10 km/l, que nos significa un gasto de 75 litros a \$650. Con estos antecedentes el costo en vehículo es de \$438.750.

Para el traslado de los equipos al sitio se considera un costo de traslado de todos los equipos por \$500.000 y el costo de un camión grúa para traslado e instalación del contenedor (sala eléctrica) por un monto de \$300.000. Sumando para traslados de equipos un total de \$800.000.

Otros costos involucrados están relacionados con adquisición de equipos (1 atornillador inalámbrico por \$100.000 en desgaste), herramientas (variadas estimadas en \$150.000 en desgaste), insumos menores por \$175.000) y caja chica por \$125.000. Estos costos suman \$550.000

Consideramos los costos técnicos administrativos, entre ellos el costo de administración de personal por medio mes estimado en \$70.000, Soporte de un Inspector técnico de Obra por \$720.000, desarrollo de ingeniería construcción eléctrica por \$1.500.000 e inspección SEC TE1 más TE4 por \$1.600.000. Estos costos suman \$3.890.000.

Con todos estos antecedentes los costos de instalación de este tipo de planta serían:

Costos generales de instalación			
Detalle	Cantidad	Unitario	Por obra
Supervisor de obra	1	\$ 1.040.000	\$ 520.000
Instalador	4	\$ 650.000	\$ 1.300.000
Implementación			\$ 170.000
Vehículo			\$ 438.750
Almuerzos			\$ 262.500
Transporte de equipos			\$ 800.000
Soportes técnico-administrativos			\$ 3.890.000
Otros costos			\$ 550.000
TOTAL			\$ 7.931.250
TOTAL USD		\$ 10.985	

Tabla 35. Costos generales de instalación. Fuente: elaboración propia.

Los costos de equipos y materiales corresponden a 3 inversores de 50 kW cada uno por un valor neto de \$3.000.000, 6.859 set de conectores por un valor de \$1.083 (adquiridos en China vía Alibaba, compra al por mayor), se requieren alrededor de 2.000 metros de cable y por lo tanto 20 bobinas de cables de 100 metros a un valor individual de \$165.000, container para sala eléctrica por \$1.400.000, y tablero eléctrico equipado por un total de \$420.000. El costo total es de \$21.547.984, como se muestra a continuación:

Costos instalaciones electricas			
Detalle	Cantidad	Valor	Total
Inversores	3	3.000.000	9.000.000
Set conectores	6859	1.083	7.427.984
Cable (bobina 100m)	20	165.000	3.300.000
Sala electrica (container)	1	1.400.000	1.400.000
Tablero electrico (equipado)	1	420.000	420.000
TOTAL			21.547.984
TOTL USD		29.845	

Tabla 36. Costos de instalaciones eléctricas. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, consideramos el margen de utilidad para empresa que impulsa el proyecto, por un monto de 15% sobre este. Con todos estos datos podemos llegar al siguiente total de inversión de este tipo de planta:

Resumen de costo de inversión	
Detalle	Valor
3.429 Módulos	64.690.123
Costos generales de instalación	7.931.250
Costos instalaciones eléctricas	21.547.984
Margen (15%)	14.125.404
TOTAL	108.294.760
TOTAL USD	149.993

Tabla 37. Resumen de costo de inversión. Fuente: elaboración propia.

Método de limpieza



Figura 13. Imagen del drone y del sistema purificador de agua por osmosis interna. (repetida)

También se considera una caja chica por un monto de \$300.000 y un margen de 20% a favor del prestador de servicio. Los costos entonces serían:

Detalle	Costo de operación			Total
	valor unitario	cantidad		
Técnico de mantención sistema drone	68.750	6		412.500
Insumos de protección	135.000	1		135.000
Vehículo de traslados	65.000	6		390.000
Combustible (litros)	650	30		19.500
Colaciones	4.500	6		27.000
Soporte administrativo	5.000	6		30.000
Inspector técnico de operación	75.000	6		450.000
Drone (depreciado en 8 años)	8.790.000	8		1.098.750
Planta de agua limpia para lavado (depreciada en 8 añ	750.000	8		93.750
Caja chica	300.000	1		300.000
Margen (20%)	591.300	1		591.300
TOTAL				3.547.800
TOTAL USD		4.914		

Tabla 38. Costos de operación. Fuente: elaboración propia.

EVALUACIÓN PRODUCTIVA

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Se detallan la conformación de cada uno de los sistemas en el apartador anterior.

El sistema de Isifloating no incluye paneles fotovoltaicos y recomienda el uso de paneles genéricos de 400 watt, y que son de responsabilidad del cliente la selección como su rendimiento. Estos paneles van en una posición casi horizontal con un leve ángulo de 5°. Los paneles tienen dimensiones aproximadas de 200 centímetros por 100 centímetros, y cuando está terminado el armado de los flotadores con los paneles sobre esté la superficie aproximada que cubren es de 220 centímetros por 120 centímetros (según información del proveedor en 1.000 metros cuadrados entran 384 paneles). Así la capacidad de generación potencial será de 384 X 400 W, obteniendo 153.600 watt. Con esta información se realizan los cálculos en el explorador solar; utilizando una inclinación de 0°.

El sistema de panel flexible considera un panel flexible sobre el flotador formando parte íntegra de la estructura de éste. Los paneles miden 120 cm por 54 cm y los módulos que los portan utilizan un área de 124 cm por 58 cm, así los paneles utilizan un área de 0,7192 m² y con ellos calculamos que pueden entrar 1.390 módulos en 1.000 metros cuadrados. Como los paneles son de 100 watt tendremos una capacidad potencial de generación de 139.000 watt.

El sistema de conformado por 9 celdas considera celdas de 157 mm por 157 mm que van montadas en configuración de 9 unidades integradas en un flotador. Las celdas por cada lado suman 47,1 centímetros y entre celdas tenemos un supuesto de 2 mm y 2 mm en los bordes exteriores, sumando en total 47,9 cm. Así, se considera que, entre módulos, por su estructura, tendrán una separación tal que cada módulo ocupa un área de 53 cm por 53 cm o 0,292 m² y con ello calculamos que pueden entrar 3.429 módulos en 1.000 metros cuadrados. Cada celda es de 5,28 watt, por lo que el módulo generará 48,3 watt, así el total de módulos de esta superficie tendrán una potencia de generación de 163.000 watt.

Item	SISTEMA		
	Isifloating	Propuesta con panel flexible	Propuesta conformado por 9 celdas
Tipo de panel	Rígido de 400W	Flexible 100W	Compuesto especial de celdas de 157mm x157mm
Medidas	≈ 200cm x 100cm	120cm x 54cm	53cm x 53cm
Potencia de panel (watt)	400	100	47,5
Potencia instalada	153 kW	139 kW	163 kW
Cantidad de paneles por 1.000 m2	384	1.390	3.249
Capacidad Inversores propuesta (Kilowatt)	150	150	150
Generación anual (Explorador solar)	247.110 kWh	224.480 kWh	263.260kWh
Factor de planta	18%	18%	18%

Tabla 39. Comparación de producción de energía de los sistemas. Fuente: elaboración propia.

La relación de producción de energía de la propuesta de panel flexible en relación con la planta convencional es de 0,908. En tanto la relación entre la propuesta conformado por 9 celdas en relación con la planta convencional es de 1,06.

CAPACIDAD DE REDUCCIÓN DE EVAPORACIÓN

Para determinar con exactitud la reducción de evaporación se hace necesario un estudio de campo experimental. De acuerdo a la información recopilada son muchos los factores que intervienen en la evaporación del agua en los cuerpos de agua.

Por ejemplo, Gallego (GALLEGO 2011) encontró que algunos investigadores indicaban haber documentado reducciones de evaporación de hasta 87% con coberturas de sombreo suspendidas. Señala que los resultados muestran que la cobertura reduce la evaporación anual un 85%. Las principales propiedades de la cobertura responsables de esta reducción son la baja transmisión de la radiación solar (1%) y la alta reducción del viento (92%). Por información aportada por ingenieros relacionados con la minería en Atacama, se pudo observar que este tipo de soluciones son de elevados costos y presentan problemas con acumulaciones superficiales de materiales en suspensión y que pueden ser factor de peligro.

Según Benninon y otros autores (Benninon G. y otros, 2016) en ambientes áridos la pérdida de agua debido a evaporación puede representar hasta el 60 - 70%. El uso de módulos flotantes circulares puede reducir la evaporación anual en hasta un 90%, según se informó a partir de una prueba realizada en una mina de cobre australiana (mina North Park).

Según Agustín Cáceres del grupo Akria entrevistado en Redagrícola (Redagricola), Isifloating reduce la evaporación entre un 80% y 85%, indicando que “Eso se debe al mayor porcentaje de cobertura instalada con la estructura flotante, por ejemplo, en un embalse” en relación a otros sistemas.

Debido a los antecedentes señalados, sin la posibilidad de realizar estudios de campo se puede inferir que tanto la propuesta como la solución Isifloating pueden reducir la evaporación entre un 80% a 85%. Por esta razón para 1.000 metros cuadrados de superficie de agua la relación entre Isifloating y la propuesta es 1. Sin embargo, debido a que en la práctica la solución Isifloating no puede cubrir todo el cuerpo de agua, limitando la instalación de la planta a aquella porción que se corresponde con el fondo del tranque. Se realizaron observaciones de las imágenes disponibles del tranque objetivo del estudio y se pudo determinar dos imágenes donde se puede apreciar el tranque con capacidad total y vacío, donde puede delimitarse el fondo (ver Figura 15).

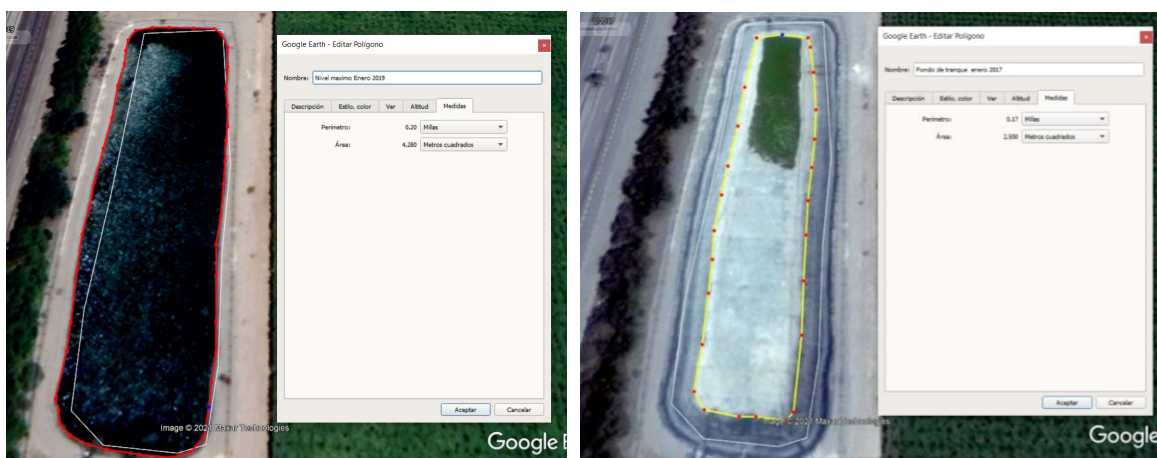


Figura 15. A la izquierda se aprecia el área máxima de 4.280 m² y a la derecha el fondo del tranque con un área de 2.500 m². Ambas calculadas por la herramienta de Google earth.

Por lo tanto, la máxima reducción posible de Isifloating corresponde a un 85% de los 2.500 m² que puede ofrecer a este tranque. Y estos 2.500 m² corresponden a un 58,41% de la superficie máxima del espejo de agua (4.280 m²). Debido a esto, el real potencial de disminución de evaporación de la propuesta de Isifloating es de 49,64% de la evaporación real total de este tranque. De esta forma podemos al calcular la relación de reducción de evaporación tenemos la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Reducción evaporación Propuesta}}{\text{Reducción evaporación Isifloating}} = \frac{85\%}{49,64\%} = 1,71$$

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para estimar los ingresos de cada propuesta se consideró la tarifa que cancela la empresa agrícola dueña del tranque. En el campo las bombas operan en promedio 18 horas al día y se nos informó que es principalmente de día. Dada esta información se trabajó con el supuesto que el 60% de la energía generada por la planta durante el día es utilizada por la planta y el resto inyectado a la red.

De acuerdo a la factura que se nos facilitó la empresa, le energía tiene un costo final de aproximado de \$125 por kilo watt hora facturado, valores que incluyen cargo por demanda máxima de potencia, transporte de electricidad y otros. Este valor se utiliza para valorizar el 60% de la energía producida por la planta. Para valorizar el restante 40% de energía producida se utilizó el costo del kilo watt hora que se cobra a la empresa y cuyo valor es de \$66.

Se valorizó el beneficio económico en la reducción de pérdida de agua y en el manejo de algas. Para estimar la cantidad de agua que se logra evitar evaporar, se consideró que los sistemas tienen una capacidad de reducción del 85% del agua que se evaporaría en esa misma superficie de agua (1.000 m²). En la estación CNR del embalse Lautaro se registró 2.867mm al año en promedio (CNR – CIREN 1997). Por otro lado, la Dirección General de Agua registró, entre 1978 y 1983, como promedio anual 3.190mm. Al aplicar un coeficiente de tanque de 0.7 para este valor es de 2.950 mm al año y con la eficiencia del sistema en 85%, el agua retenida por un año es de 2.508 m³. Considerando que un huerto de uva de mesa en el valle puede generar hasta 6.000 USD de margen con 6.500 m³ de agua bajo riego tecnificado, valorizaremos el agua evaporada en 2.315 USD o \$1.671.152 con valor del dólar a \$722.

También el crecimiento de algas se vería reducido con la instalación de este tipo de plantas flotantes. De acuerdo a la información aportada por la empresa, se aplica mensualmente sulfato de cobre en dosis de 7 gramos por metro cúbico. Se trabajó con el supuesto que el tranque tiene 2 metros de profundidad y con ello el volumen afectado es de 2.000 m³. El gasto estimado en sulfato de cobre para este volumen es de 14 kilogramos mensual y de 168 kilogramos al año. Consideramos un valor de \$80.000 para el saco de 25 kg de sulfato de cobre y con ello el costo estimado por este concepto es de \$537.600 anual.

Para la evaluación económica se estimó una tasa de descuento de 4% para el cálculo del Valor Actual Neto, un valor IPC de 4% (aplicado sobre costos de operación, generación de electricidad, agua de recuperación y control de algas) y una pérdida de eficiencia del sistema de 2% anual.

EVALUACIÓN DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE CADA SISTEMA

Sistema disponible en el mercado

De acuerdo a la descripción del *sistema disponible en el mercado* en la sección “Características de las propuestas” la inversión inicial de esta propuesta es de \$138.314.831. Los costos operacionales se han estimado en \$4.033.560 y se agregó un ítem inesperado de 10% sobre este costo.

Como esta planta genera al año 247.110 kilo watt hora, el 60% de esta energía valorada a \$125 se supone un ingreso de \$18.499.237 y el restante 40% valorizado a \$66 el kilo watt hora supone un ingreso de \$6.523.704; totalizando un ingreso anual para el primer año de \$25.022.941.

Considerando los aportes de la reducción de costos valorados en agua no evaporada y menor adición de sulfato de cobre sumados, agregamos como ingreso en la evaluación \$2.358.752.

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es de 6 años, en cuyo momento el valor actual neto (VAN) es de \$4.293.000; en tanto que al año 15 el VAN es de \$138.990.000. Con esto la tasa interna de retorno (TIR) calculada es de 10%. Más detalles de la evaluación ver cuadro de valuación económica en ANEXOS.

Módulo flotante con panel flexible

De acuerdo a la descripción del *sistema disponible en el mercado* en la sección “Características de las propuestas” la inversión inicial de esta propuesta es de \$118.273.201. Los costos operacionales se han estimado en \$3.547.800 y se agregó un ítem inesperado de 10% sobre este costo.

Como esta planta genera al año 224.480 kilo watt hora, el 60% de esta energía valorada a \$125 se supone un ingreso de \$16.805.102 y el restante 40% valorizado a \$66 el kilo watt hora supone un ingreso de \$5.926.272; totalizando un ingreso anual para el primer año de \$22.731.374.

Considerando los aportes de la reducción de costos valorados en agua no evaporada y menor adición de sulfato de cobre sumados, agregamos como ingreso en la evaluación \$2.358.752.

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es de 6 años, en cuyo momento el valor actual neto (VAN) es de \$11.532.900; en tanto que al año 15 el VAN es de \$134.181.246. Con esto la tasa interna de retorno (TIR) calculada es de 13%. Más detalles de la evaluación ver cuadro de valuación económica en ANEXOS.

Módulo flotante conformado por 9 celdas

De acuerdo a la descripción del *sistema disponible en el mercado* en la sección “Características de las propuestas” la inversión inicial de esta propuesta es de \$108.294.760. Los costos operacionales se han estimado en \$3.547.800 y se agregó un ítem inesperado de 10% sobre este costo.

Como esta planta genera al año 263.260 kilo watt hora, el 60% de esta energía valorada a \$125 se supone un ingreso de \$19.708.264 y el restante 40% valorizado a \$66 el kilo watt hora supone un ingreso de \$6.950.064; totalizando un ingreso anual para el primer año de \$26.658.328.

Considerando los aportes de la reducción de costos valorados en agua no evaporada y menor adición de sulfato de cobre sumados, agregamos como ingreso en la evaluación \$2.358.752.

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es de 5 años, en cuyo momento el valor actual neto (VAN) es de \$17.961.269; en tanto que al año 15 el VAN es de \$177.213.001. Con esto la tasa interna de retorno (TIR) calculada es de 24,2%. Más detalles de la evaluación ver cuadro de valuación económica en los ANEXOS.

COMPARACIÓN

Se realiza una comparación de ambas soluciones con el sistema disponible en el mercado. Para ello se ha conformado una tabla de comparación (ver tabla), donde podemos observar la propuesta con la solución “módulo flotante conformado por 9 celdas” es la que logra los mayores ingresos.

En relación a los costos operacionales la propuesta en ambas soluciones logra obtener menores costos de operación al igual que respecto al costo de inversión, donde nuevamente ambas soluciones son de menor magnitud que el sistema disponible en el mercado.

Respecto a la rentabilidad la propuesta con la solución “módulo flotante conformado por 9 celdas” obtiene un valor actual neto (VAN) al año 15 mayor que el sistema disponible en el mercado, sin embargo, respecto a la tasa interna de retorno (TIR) de la propuesta en sus dos soluciones es superior a la del sistema disponible en el mercado. Finalmente, respecto al periodo de recuperación de la inversión la propuesta tiene el mismo valor para la solución “módulo flotante con panel flexible” y es menor para la otra solución.

Solución	Parametro	Costos		Rentabilidad		
	Ingresos	Costos operacionales	Costo de inversión	Valor actual Neto (VAN) año 15	Tasa interna de retorno TIR	Periodo de recuperación de inversión (PRI)
Sistema disponible en el mercado	M\$25.022	M\$4.033	M\$138.314	M\$138.990	10%	6
Propuesta módulo flotante con panel flexible	M\$22.731	M\$3.547	M\$118.273	M\$134.181	13%	6
Relación a sistema disponible en el mercado	menor	menor*	menor*	menor	mayor*	igual
Módulo flotante conformado por 9 celdas	M\$26.658	M\$3.547	M\$108.294	M\$177.213	24,20%	5
Relación a sistema disponible en el mercado	mayor*	menor*	menor*	mayor*	mayor*	menor*

*indica que parámetro satisface la meta del indicador

Tabla 40. Cuadro de comparación de ingresos, costos y rentabilidad de propuesta versus sistema disponible en el mercado. Fuente: elaboración propia.

OTRAS TECNOLOGÍAS QUE PODRÍAN MEJORAR LA PROPUESTA.

OPORTUNIDAD DEL HIDRÓGENO VERDE

El hidrógeno verde se produce a partir de agua y energías renovables. La obtención por electrólisis a partir de fuentes renovables consiste en la descomposición de las moléculas de agua (H_2O) en oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2). Históricamente, el hidrógeno se ha obtenido usando combustibles fósiles. Esta separación también se puede hacer con energía eléctrica o gas natural, pero la fórmula más amigable con el medio ambiente es producirlo con energía solar y eólica (FUNDACIÓN CHILE, 2021).

El hidrógeno es muy poderoso, tiene tres veces más energía que la gasolina y no produce CO_2 como residuo. No obstante, aunque existen hace muchos años tecnologías que permiten usar el hidrógeno como combustible, hay varios motivos por los cuales hasta ahora solo ha sido usado en ocasiones especiales (como por ejemplo para potenciar las naves espaciales de la NASA). Uno, es que es considerado peligroso por ser altamente inflamable, por lo que transportarlo y almacenarlo de manera segura es todo un desafío. Pero un escollo aún mayor tiene que ver con las dificultades para producirlo (BBC NEWS, 2021).

La reducción del costo de la electrólisis es uno de los desafíos más grandes que tiene el mundo hoy, dada la importancia que toma el hidrógeno en la reducción de emisiones. La molécula de H_2 tiene alta densidad energética por unidad de masa; 3 veces más que la gasolina y 120 veces más que las baterías de litio (FUNDACIÓN CHILE, 2021).

Estos antecedentes, sumados a lo indicado por la autoridad regional en tema de energía nos indican que la generación de energía fotovoltaica podría tener como fin, además, la producción de hidrógeno verde permitiendo suponer un futuro mercado que haga atractivo la instalación de plantas solares donde podría evaluarse a futuro plantas de hidrógenos verde al alcances de una importante empresa agrícola que posea amplias superficies de agua expuestas, para en un futuro cosecha también hidrógeno verde.

TECNOLOGÍAS CON POTENCIAL PARA MEJORAR EFICIENCIA DE LAS CELDAS

Lente de Fresnel

Una lente convencional tiene forma ovalada, y está construida por moldeo (si se trata de plásticos) o puliendo su superficie (si se trata de materiales tipo vidrio). Las lentes Fresnel recurren a un

ingenioso sistema para dar esa forma cóncava (o convexa) sin necesidad de que éstas tengan ninguna curvatura. Una lente Fresnel vista de canto es perfectamente plana.

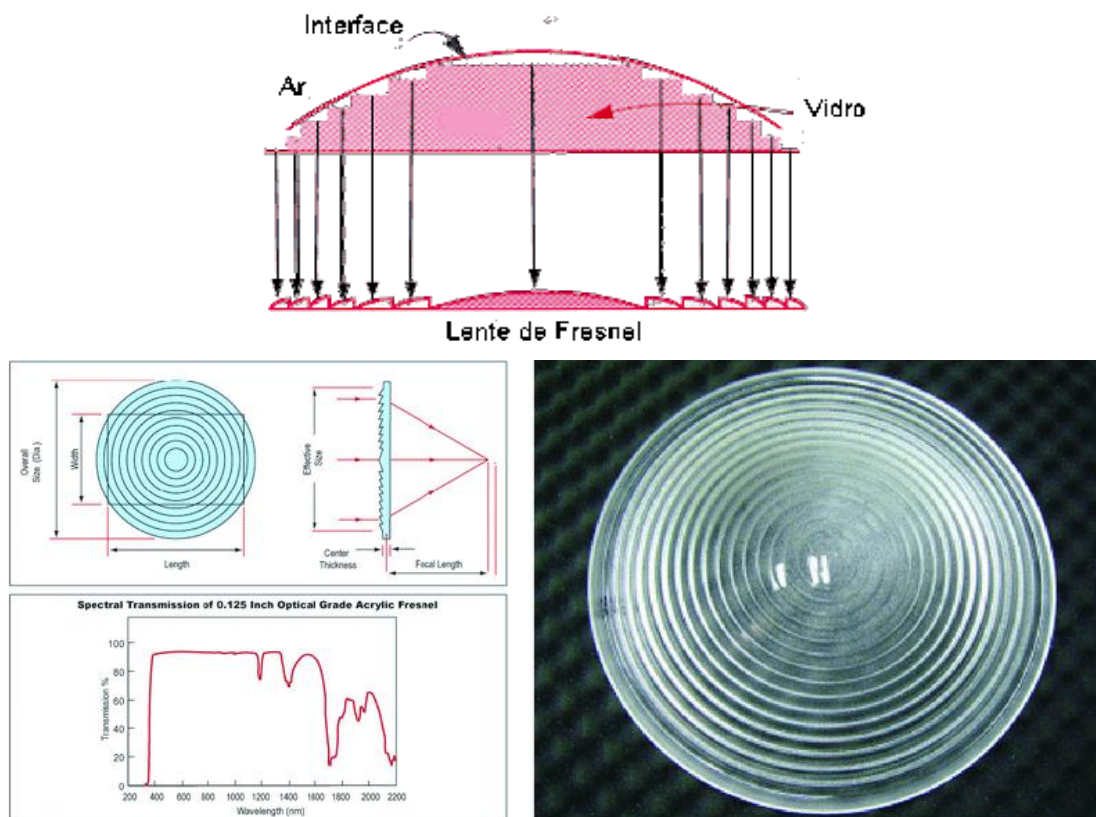


Figura 16. Imagen ilustrativa de un lente de Fresnel.

En la parte inferior de la imagen sobre estas líneas puede verse como está construida una lente Fresnel (vista de canto), y en la parte superior está el equivalente. El efecto lente se consigue porque en el proceso de fabricación se le hacen una especie de microsurcos (algo parecido a los surcos en un disco de vinilo de los utilizados en los tocadiscos).

Cada uno de estos surcos tiene una inclinación variable, consiguiendo así un efecto que simula a una lente. Esto ahorra grosor, y por lo tanto ahorra volumen, peso y coste económico. En pocas palabras una lente de Fresnel es como una lupa muy eficiente en términos de sus prestaciones respecto a su peso y tamaño. La particularidad de estas lentes es que permiten ser de grandes dimensiones sin un volumen ni peso excesivo como tendría una lente convencional. Para ello, manteniendo el radio de la curvatura de una lente convencional, pero fragmentada en anillos, se logra la misma efectividad, pero con menor grosor y un aspecto escalonado.

Sistemas Concentrador Foto-Voltaico

La empresa Cool Earth Solar desarrolló en 2008 una tecnología que utiliza una hilera de globos que concentran y capturan la energía solar, sin utilizar infraestructura costosa o grandes cantidades de silicio. La tecnología de este globo solar cuenta con muchos beneficios, tanto en costos, como instalación y en generación de trato amigable con el medio ambiente. El globo es lo suficientemente fuerte para soportar el peso de una persona, es aerodinámicamente estable, y puede soportar vientos de 200 km/h.

Los globos están hechos de una película delgada de plástico, el tipo de plástico utilizado para las bolsas de patatas fritas, y miden dos metros de diámetro. Están equipados con un hemisferio superior transparente y un hemisferio inferior reflectante. Cuando se infla con aire, el concentrador que le da forma concentra la luz solar sobre una célula PV colocada en el punto focal. Se necesitan menos células para producir mucha más electricidad y, de hecho, una sola célula con un concentrador de Cool Earth genera alrededor de 300 a 400 veces la energía eléctrica de una célula sin un concentrador. Los captadores inflables captan luz y la concentran en celdas fotovoltaicas, incrementando muchas veces la energía que impacta sobre las celdas. Una serie de concentradores están suspendidos en un soporte y controlan los cables que se extienden entre los polos.

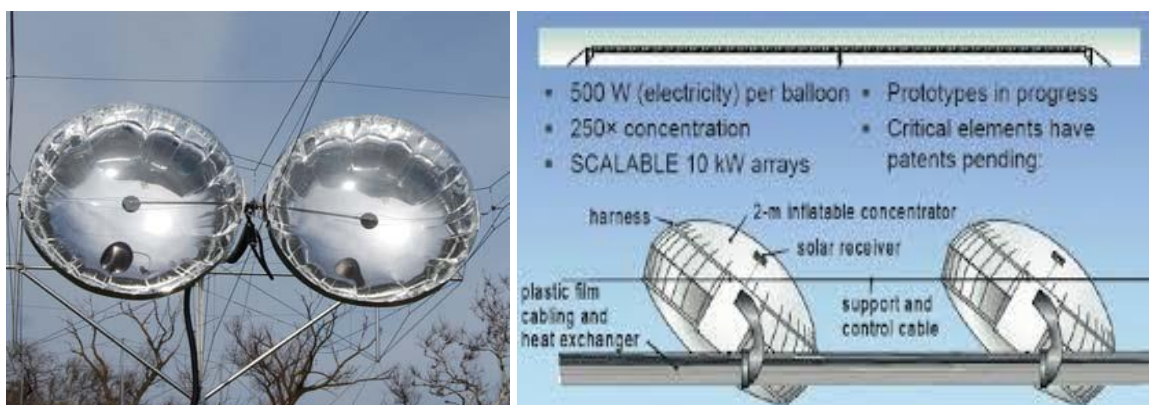


Figura 17. Imagen ilustrativa del sistema concentrador Fotovoltaico.

Discusión

Tras las reuniones de análisis de tecnologías que podrían mejorar la propuesta se descartó algunas que no presentaban una real oportunidad para mejorar la eficiencia de las celdas o paneles solares. Se determinó que estas dos tecnologías pueden presentar una real oportunidad para mejorar la eficiencia de paneles fotovoltaicos en circunstancia que podrían ser útiles para crear un mecanismo de difracción de la luz que permita absorber energía cuando el ángulo de exposición del panel hacia el Sol no sea el óptimo. Se planteó un par de propuestas que mezcla las dos miradas de estas tecnologías y se propone que se pueda realizar un prototipo de mínima escala para evaluar su viabilidad.

CONCLUSIONES

De acuerdo a lo estipulado en el plan de trabajo y las métricas asignadas al estudio, se concluye que:

1.- De acuerdo a la revisión internacional de patentes realizada Búsqueda, se concluye que la propuesta no vulnera ninguna de las solicitudes planteadas publicadas a la fecha y que además tiene la novedad suficiente para poder obtener privilegios de patentes de invención. Por lo anterior se concluye que se satisface la meta del indicador.

2.- De acuerdo a la reunión sostenida con la Superintendencia de electricidad y combustibles, la propuesta no tiene restricciones que la hagan inviable. Se debe velar que el diseño final siga el espíritu de las normativas y regulaciones correspondientes para lograr las certificaciones que permitan la utilización de los equipos que se desarrollen; dado que la normativa no consideró que a nivel nacional se creara tecnología de este tipo. Por lo anterior se concluye que se satisface la meta del indicador.

3.- La superficie total de todos los 2.676 tranques del sector agrícola que se encontró suman 6.789.855 metros cuadrado. La gran mayoría de éstos se encuentran en la región de Valparaíso y de Coquimbo. Se catastró las regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso; satisfaciendo la meta del indicador.

4.- La superficie total de todos tranques mineros detectados suman 1.607.105 metros cuadrados de superficie expuesta. Se catastró las 2 regiones, satisfaciendo la meta del indicador.

5.- Se encontró satisfactoriamente más de 3 fuentes de financiamientos, satisfaciendo la meta del indicador. Entre las herramientas, están:

- Programa Energías Renovables en Riego de la Comisión Nacional de Riego (CNR).
- Modelo ESCO de la empresa Solcorchile.
- Modelo ESCO de la empresa Ciudadluz.

Se satisface la meta del indicador.

6.- La relación de producción de energía de la propuesta de panel flexible en relación con la planta convencional es de 0,908. En tanto la relación entre la propuesta conformado por 9 celdas en relación con la planta convencional es de 1,06. Ambas propuestas satisfacen la meta del indicador del estudio.

7.- El real potencial de disminución de evaporación, para el caso real estudiado, de la propuesta de Isifloating es de 49,64%, mientras que la propuesta objeto del estudio es de 85%. La relación entre ambas es de 1,71 satisfaciendo la meta del indicador.

8.- Los ingresos esperados por generación de energía y ahorro de agua en la panta flotante de la propuesta y que cubre 1.000 m² es mayor que la de la planta convencional; por lo que se satisface la meta del indicador.

9.- Los costos estimados por operación e inversión en la panta flotante de la propuesta y que cubre 1.000 m² es menor que el de la planta convencional; por lo que se satisface la meta del indicador.

10.- La rentabilidad de la panta flotante de la propuesta y que cubre 1.000 m² tiene indicadores VAN, TIR superiores que la planta convencional y a su vez el PRI igual o menor; por lo que se satisface la meta del indicador.

BIBLIOGRAFIA

Awarecon 2021. ¿Cuánto cuesta el envío de un contenedor de China a Chile? Consultado en abril 2021 en: <https://www.awarecon.com/cuanto-cuesta-el-envio-de-un-contenedor-de-china-a-chile/>

BBC NEWS, 2021. Hidrógeno verde: 6 países que lideran la producción de una de las "energías del futuro" (y cuál es el único latinoamericano). BBC News, consultado en abril 2021 en : <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56531777>

Benninso G., Von Igel, W., Haque N., Román E., y Claro E., 2016. Eficiencia Hídrica en la región de Atacama: Evaluación de brechas identificadas a la luz de la experiencia internacional. Santiago, CSIRO Chile Lan & Water.

CNR – CIREN 1997. Cálculo y cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile. Informe final. Comisión Nacional de Riego. Centro de información de recursos naturales CORFO.

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO, 2017. Estudio básico “diagnóstico del estado actual de los tranques CORA, región metropolitana” código bip 30407873-0, informe final. Consultorías profesionales Agraria.

CONAF, 2016. Estrategia nacional de cambio climático y recursos vegetacionales 2017-2025

COOPERATIVA. “Trasladan más de 1.000 cabras y caballos desde Coquimbo a Ñuble para escapar de la sequía”, portal informativo de Cooperativa. Consultado el 20 de enero 2020. <https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-coquimbo/trasladan-mas-de-1-000-cabras-y-caballos-desde-coquimbo-a-nuble-para/2020-01-10/160532.html>

DSV 2021. Contenedor Dry. Encuentra las medidas y capacidad del Contenedor Dry de 20 y 40 pies. Consultado en abril 2021 en: <https://www.dsv.com/es-es/nuestras-soluciones/modos-de-transporte/transporte-maritimo/tipos-contenedor-maritimo/contenedor-dry>

FUNDACIÓN CHILE, 2021. Hidrógeno Verde, una oportunidad estratégica para Chile. Consultado en Abril 2021 en https://fch.cl/iniciativa/hidrogeno-verde/?gclid=CjwKCAjwy42FBhB2EiwAJY0yQu7xl-PN470kQKfaxmqPlyCPZYNWxCxFZUGxrKZI_hO477Hmf6bRKwBoCr98QAvD_BwE

Gallego B., 2011. Análisis de la evaporación en embalses de riego y de su reducción con coberturas de sombreo. Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cartagena, España. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=50170>.

INE 2020. Ingreso laboral promedio mensual en Chile fue de \$620.528 en 2019. Consultado en abril 2021 en: [https://www.ine.cl/prensa/2020/10/26/ingreso-laboral-promedio-mensual-en-chile-fue-de-\\$620.528-en-2019](https://www.ine.cl/prensa/2020/10/26/ingreso-laboral-promedio-mensual-en-chile-fue-de-$620.528-en-2019)

Molina J., Martínez A. y Baille, A. Coeficientes de tanque para proyectos de embalses de regulación de riego. Universidad politécnica de Carta. Revisado en abril 2021 en: https://www.aepro.com/files/congresos/2005malaga/ciip05_0154_0166.186.pdf

Mundoagro 2020. Protocolo de manejo de uva de mesa para condiciones de escasez hídrica. Fruticultura. Portal Mundoagro, consultado en abril 2021 en: <https://www.mundoagro.cl/protocolo-de-manejo-de-uva-de-mesa-para-condiciones-de-escasez-hidrica/>

ODEPA, 2010. Análisis del mercado del agua de riego en Chile: una revisión crítica a través del caso de la Región de Valparaíso, Informe Final.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Consultado el 20 de enero 2020. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>

Redagricola 2019. Evitar la evaporación resulta fundamental. Tecnologías que permiten mitigar las mermas de agua. Diciembre 2019. Consultado en abril 2021. Disponible en: <https://www.redagricola.com/cl/tecnologias-que-permiten-mitigar-las-mermas-de-agua/>

SISS,. Manual para el Hogar. Serie del consumo responsable. Superintendencia de Servicios Sanitarios. Consultado en abril 2021 en: https://www.mop.cl/Documents/manual_para_el_hogar_siss.pdf

Yara 2021. Gestión del agua y salinidad. Nutrición vegetal Uva de mesa. Yara Knowledge grwos. Consultado em abril 2021 en: <https://www.yara.cl/nutricion-vegetal/uva-de-mesa/gestion-del-agua-y-salinidad/>