



Fraunhofer
CHILE

FRAUNHOFER CHILE RESEARCH

CONCEPTO AGRO PV Y SU APLICACIÓN EN EL SECTOR HORTALIZAS EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO



3	PALABRAS SR. INTENDENTE DE LA REGIÓN METROPOLITANA
4	CONTEXTO
11	ENERGÍA SOLAR: POTENCIAL EN LA REGIÓN METROPOLITANA
14	PRESENTACIÓN DEL PROYECTO
17	ACTIVIDADES REALIZADAS
22	RESULTADOS PRELIMINARES
35	MODELO DE NEGOCIO CONCEPTO AGRO PV
42	RECOMENDACIONES Y PRÓXIMOS PASOS



**Chile
mejor**



AgroPV: Desarrollo y comprobación de la viabilidad técnico-económica del concepto agro foto voltaico en la producción hortofrutícola de la RM, como vehículo para agregar valor y aumentar competitividad en el sector agrícola regional.

PROYECTO FIC-R 2015
CODIGO BIP 30449383-0

Durante los últimos años el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC-R) del Gobierno Regional Metropolitano de Santiago ha experimentado un proceso de consolidación, manifestado en la ejecución de diversos proyectos que han permitido impulsar la innovación en PYMES, a través del apoyo de la investigación aplicada que realizan las universidades y centros especializados. Ello ha implicado un gran avance sin duda, pero también nos obliga a emprender nuevos desafíos, para aumentar su eficiencia y tender a contribuir a los logros que permitan desarrollar una región más autónoma y resiliente.

El desarrollo de las PYMES constituye un gran reto. El mercado les exige un nivel de competitividad que en muchas ocasiones les resulta complejo abordar y que exige del Estado un fuerte apoyo en la generación de valor, para aumentar sus niveles de competitividad. Para ello resulta fundamental entender la innovación no solo desde el desarrollo de la tecnología y de la optimización de la gestión, sino también, desde la identidad social, donde cada persona constituye, si es correctamente guiada, un agente de cambio.

Es así como la iniciativa "AgroPV: Desarrollo y comprobación de la viabilidad técnico económica del concepto agro foto voltaico en la producción hortofrutícola de la RM, como vehículo para agregar valor y aumentar competitividad en el sector agrícola regional", ejecutada por

Fundacion Fraunhofer Chile Research, está dirigida a instaurar espacios y dinámicas de encuentro en diversos ámbitos de la producción agrícola, mediante una combinación eficiente de sistemas fotovoltaicos con el uso de la tierra para cultivos, lo que permite una solución al "conflicto" del uso del suelo, sea éste para agricultura o para la obtención de energía fotovoltaica. A su vez permite potenciar a los pequeños agricultores dándoles valor agregado a su productividad.

Esto concuerda con la carta de navegación que estableció la Presidenta Michelle Bachelet para el desarrollo de PYMES en la "Agenda de Productividad Innovación y Crecimiento" del Ministerio de Economía, cuyo sustento es fomentar la diversificación productiva y el impulso a sectores con alto potencial de crecimiento, pero también con el cuarto Eje Estratégico de desarrollo en nuestra región, que es ser "Una región innovadora y competitiva", cuyo desafío fundamental es profundizar y diversificar el fomento productivo en la región, resguardando su identidad y relevando sus territorios.

Hoy se cierra un ciclo y culmina esta iniciativa, que constituye un gran aporte a sus beneficiados. Pero que es solo un grano de arena para el inmenso desafío, que este sector tiene, y que nosotros como Gobierno Regional, hemos asumido como tarea preponderante.



Sr. Claudio Orrego Larraín

Intendente de la
Región Metropolitana

CONTEXTO

SITUACIÓN SECTOR HORTÍCOLA EN CHILE

El sector hortícola tiene gran importancia para el país: se encuentra en todas regiones con cerca de 34.000 explotaciones, de las cuales casi el 65% son superficies agrícolas menores a 5 hectáreas (ha). Lo anterior indica que este sector está compuesto por una gran cantidad de pequeños productores, que proveen hortalizas principalmente para el consumo nacional (Censo agropecuario 2007).

De acuerdo a las estimaciones del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la superficie hortícola nacional alcanzó casi 70 mil hectáreas el año 2014, con un aumento de 9,5% respecto al 2015. El 84% se encuentra entre las regiones de Coquimbo y del Maule. Las hortalizas con mayor superficie cultivada son el choclo, la lechuga y el tomate para consumo fresco, con participaciones de 14%, 10% y 7%, respectivamente.

Estimación de la superficie hortícola nacional y regional

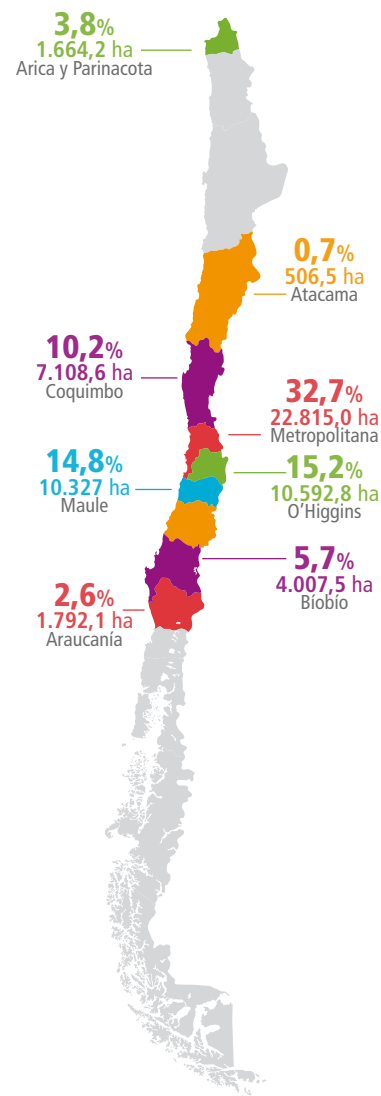
Según las últimas estadísticas entregadas por INE, se estima que la superficie con hortalizas el año 2016 fue de 69.845 hectáreas, lo que indica un aumento de 6.070 ha (9,5%) en relación a lo estimado el año 2015 (63.776 ha).

La Región Metropolitana es la que tiene una mayor superficie de cultivos de hortalizas, con 22.815 ha durante el año 2016, aumentando un 18% (3.423 ha) en relación a las 19.392 ha estimadas el año 2015.

A continuación, le sigue la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, con 10.593 ha durante el 2016 y un aumento de 9%. Luego está la Región del Maule con 10.327 ha y un incremento de 14%; la Región de Valparaíso con 8.180 ha y aumento de 5,2% y, Coquimbo con 7.109 ha y una disminución de 7,4%.

A nivel nacional, los cultivos con más superficie el año 2016, fueron el choclo con 10.009 ha (9.727 ha el año 2015), la lechuga con 6.237 ha (6.674 ha el año 2015), y el tomate para consumo fresco con 4.936 hectáreas (5.038 ha el año 2015). Entre las hortalizas que más aumentaron, cabe destacar el choclo con un incremento de 800 ha (8,7%); arveja verde con 653 ha (48,3%); cebolla de guarda con 555 ha (13,4%); poroto granado con 413 ha (13,2%); zapallo (349 ha); melón (331 ha); y pimiento (309 ha). (ODEPA 2017).

Distribución Regional de la Superficie (Ha) de Hortalizas, año 2016

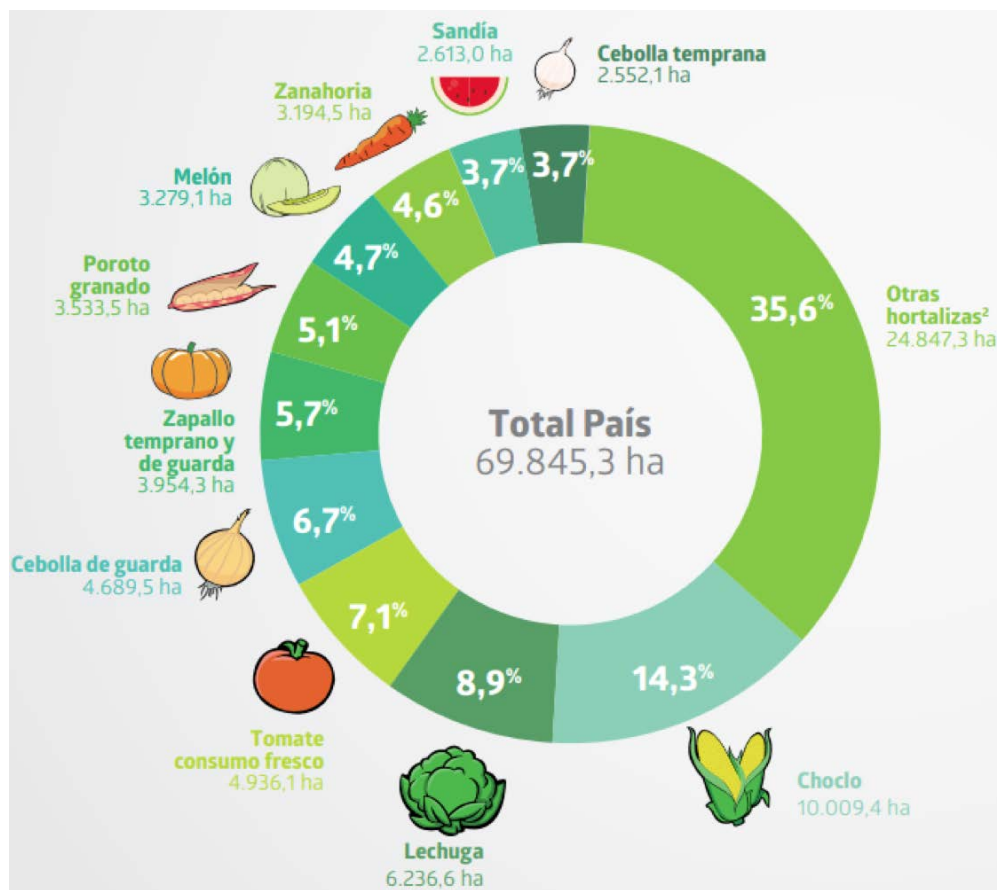


Fuente: INE

(1) Corresponde a la estimación de la superficie de las regiones que no formaron parte del estudio, en base a las cifras obtenidas en el VII Censo Agropecuario y Silvícola.

(2) Otras hortalizas corresponden a poroto verde, arveja verde, espárrago, haba, repollo, alcachofa, betarraga, ajo, coliflor, zapallo italiano, brócoli, pimiento, acelga, espinaca, apio, ají, orégano y pepino de ensalada, además de otras hortalizas.

Distribución Nacional de la Superficie (Ha) por especies de hortalizas, año 2016



Fuente: INE

(1) Corresponde a la estimación de la superficie de las regiones que no formaron parte del estudio, en base a las cifras obtenidas en el VII Censo Agropecuario y Silvícola.

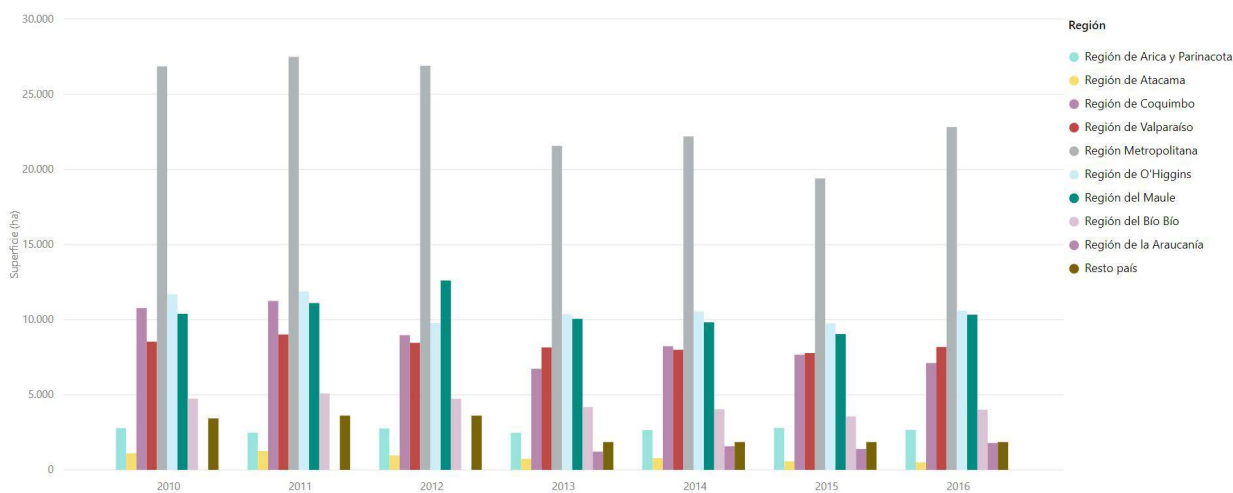
(2) Otras hortalizas corresponden a poroto verde, arveja verde, espárrago, haba, repollo, alcachofa, betarraga, ajo, coliflor, zapallo italiano, brócoli, pimiento, acelga, espinaca, apio, ají, orégano y pepino de ensalada, además de otras hortalizas.

Principales especies hortícolas en la Región Metropolitana

La Región Metropolitana de Santiago representa el 32,7% de la superficie nacional dedicada cultivo de hortalizas, según el INE (2016).

Considerando estos antecedentes, que reflejan el aumento en la demanda de cultivos hortícolas, se torna indispensable reconocer los importantes vínculos entre la energía, la agricultura y el desarrollo rural y la necesidad de incorporar a las actividades agrícolas sistemas ecoeficientes, que permitan optimizar las producciones de manera sustentable.

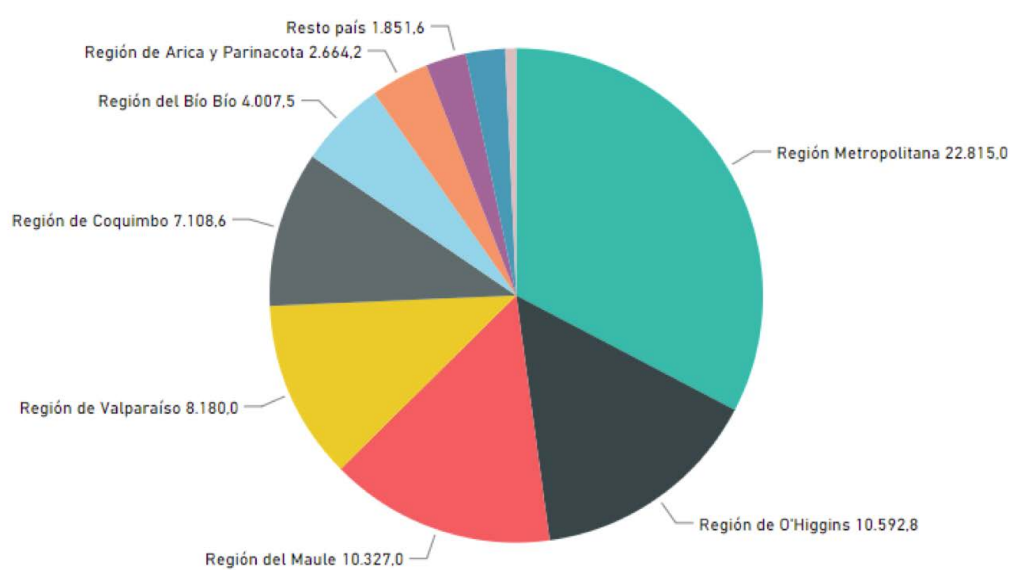
Superficie Total de Hortalizas a Nivel Nacional



Fuente: Elaborado por Odepa con información del INE

Nota: (i) Los datos de superficie consideran tanto las hortalizas para consumo fresco como para la agroindustria, excepto para tomate que sólo considera la superficie para consumo fresco. (ii) Resto del país corresponde al VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007.

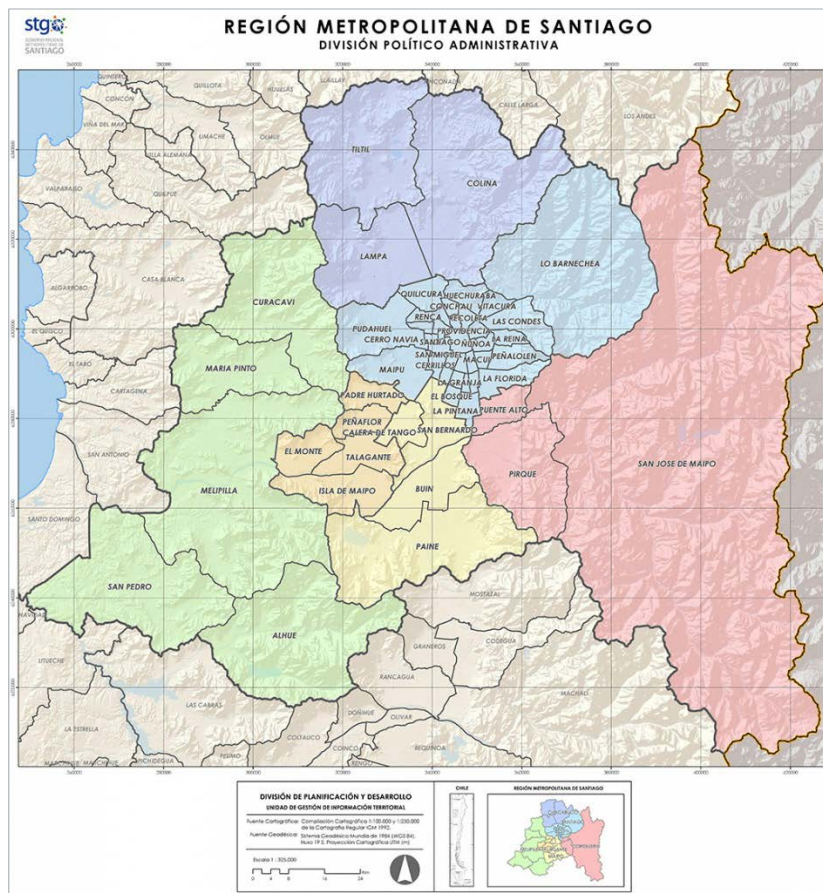
Superficie (ha) Hortalizas a Nivel Nacional año 2016



Fuente: Elaborado por Odepa con información del INE

Nota: (i) Los datos de superficie consideran tanto las hortalizas para consumo fresco como para la agroindustria, excepto para tomate que sólo considera la superficie para consumo fresco. (ii) Resto del país corresponde al VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007.

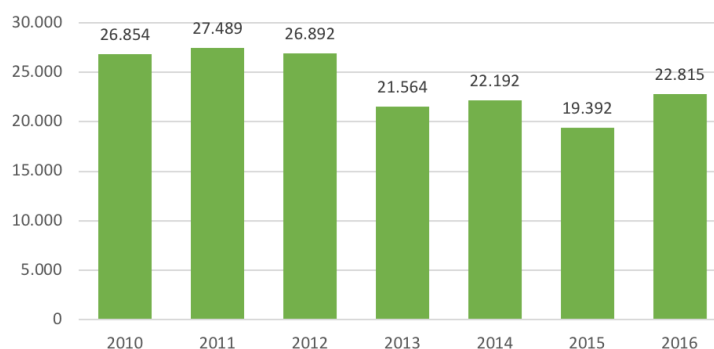
Mapa de la Región Metropolitana



Superficies cultivadas en la Región Metropolitana

Con la siguiente información, se busca dimensionar la evolución de la superficie total involucrada en el cultivo de hortalizas en la Región Metropolitana y los cultivos asociados a ella:

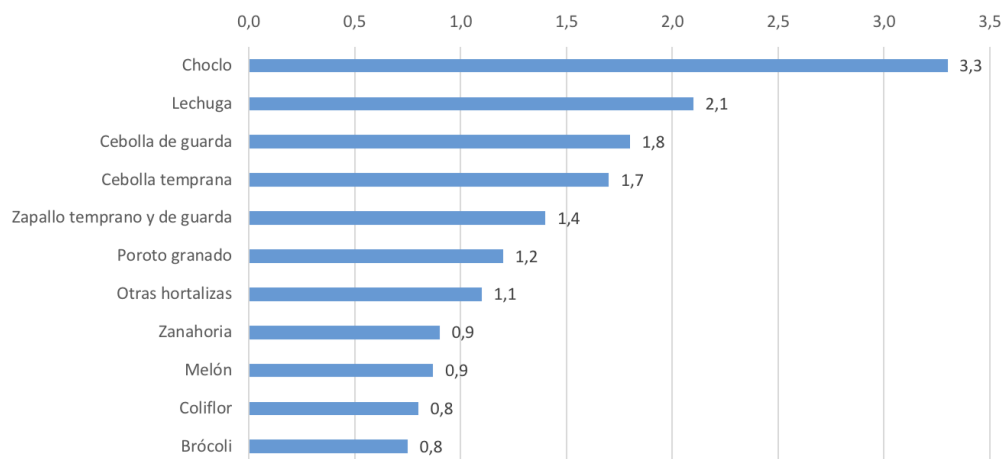
Superficie (ha) Hortalizas en la Región Metropolitana



Fuente: Elaborado por Odepa con información del INE

Nota: Los datos de superficie consideran tanto las hortalizas para consumo fresco como para la agroindustria, excepto para tomate, que sólo considera la superficie para consumo fresco.

Superficie (ha) por Cultivo de Hortalizas RM año 2016



Fuente: Elaborado por Odepa con información del INE

Nota: (i) Los datos de superficie consideran tanto las hortalizas para consumo fresco como para la agroindustria, excepto para tomate, que sólo considera la superficie para consumo fresco. (ii) Resto del país corresponde al VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007.

Estimación de Superficie de Hortalizas Región Metropolitana, por especie para el año 2016

Especies	Superficie (Hectáreas)	
	Total Nacional	Total Metropolitana
TOTAL	69.845,3	22.815,0
Acelga	822,8	473,1
Ají	521,6	32,7
Ajo	1.291,9	363,4
Alcachofa	1.497,8	261,8
Apio	532,1	21,1
Arveja Verde	2.002,9	214,3
Betarraga	1.377,7	775,5
Brócoli	1.110,9	814,1
Cebolla de Guarda	4.689,5	1.805,6
Cebolla temprana	2.552,1	1.733,5
Choclo	10.009,4	3.250,7
Coliflor	1.251,7	831,4
Espárrago	1.957,1	62,0
Espinaca	643,0	500,0
Haba	1.738,0	742,9
Lechuga	6.236,6	2.133,6
Melón	3.279,1	899,5
Orégano	520,4	481,0
Pepino de ensalada	364,1	102,1
Pimiento	962,1	88,9
Poroto granado	3.533,5	1.164,2
Poroto Verde	2.475,3	811,5
Repollo	1.718,8	538,0
Sandía	2.613,0	181,6
Tomate consumo fresco	4.936,1	766,9
Zanahoria	3.194,5	916,8
Zapallo Italiano	1.139,4	410,7
Zapallo temprano y de guarda	3.954,3	1.357,4
Otras Hortalizas	2.919,9	1.080,7

FUENTE: INE

Las estimaciones de superficie hortícola no incluyen semilleros.

El período de levantamiento fue entre el 03 de octubre y el 02 de diciembre de 2016, siendo el período de referencia el año calendario 2016.

Como reflexión final, lo más relevante es considerar que en los alrededores de Santiago, al igual que las ciudades más grandes de Latinoamérica, existe un área rural considerable, que provee parte importante de la producción de hortalizas del consumo nacional (en el caso de Santiago, un 32,7% de la producción del país).

El aumento en la demanda de hortalizas, junto al aumento de la demanda de energía, hace necesario el desarrollo de sistemas que permitan compatibilizar, de manera sustentable ambiental y económicamente, la actividad agrícola con otros usos de la tierra, como la producción de energía. Esto, sin reemplazar su principal uso agrícola, que permite abastecer a las ciudades de alimentos.

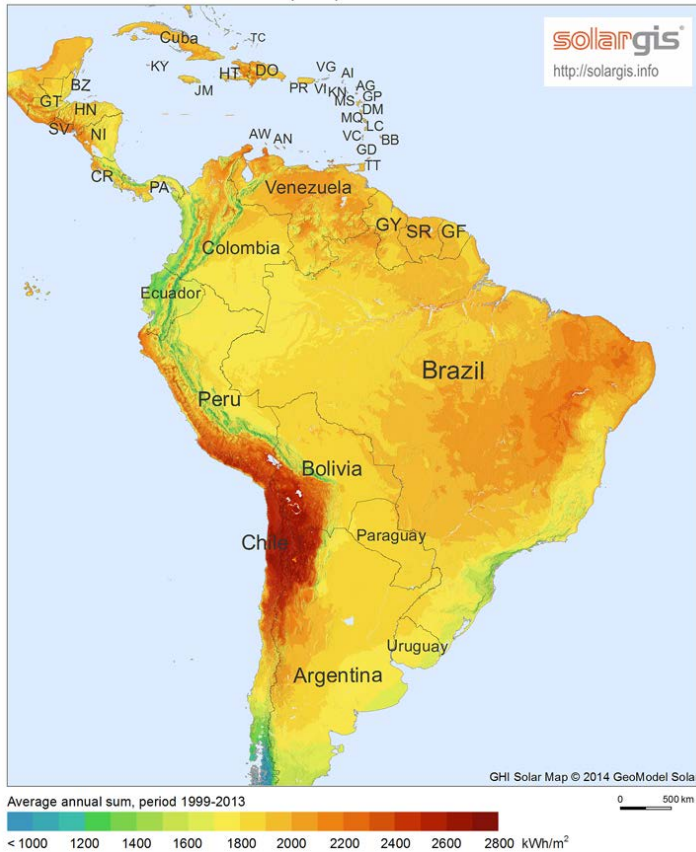
ENERGÍA SOLAR: POTENCIAL EN LA REGIÓN METROPOLITANA

CARACTERÍSTICAS SOLARES DE LA REGIÓN METROPOLITANA

Chile es el país con mayor nivel de radiación solar a nivel mundial. Las características climatológicas de la zona centro norte del país, definidas por niveles muy bajos, de humedad atmosférica, muy baja pluviosidad y baja presencia de nubes, inciden en sus elevados niveles de radiación. Se han registrado valores en la zona altiplánica de hasta 3400 kWh/m² de radiación global horizontal. El siguiente mapa muestra en una escala en colores, los niveles de radiación a lo largo del país:

Radiación solar horizontal en América Latina y el Caribe:

Global Horizontal Irradiation (GHI) Latin America and the Caribbean



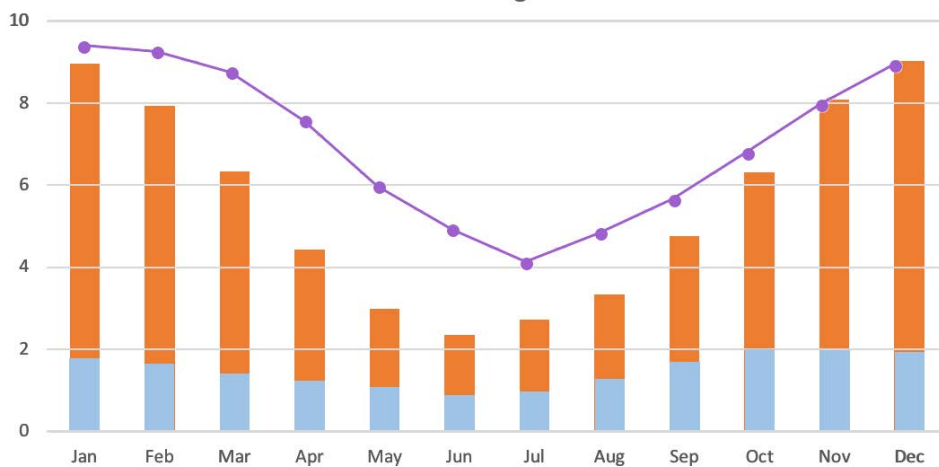
Global Horizontal Irradiation (GHI) Chile Mainlands



Glosario DNI y terminos técnicos

Los más altos niveles de radiación se encuentran preferentemente en las zonas desérticas y a mayor altura en el Norte Grande. Sin embargo, como se aprecia en el mapa gráfico, en la zona central del país también se observan niveles de radiación muy elevados. Países con gran desarrollo solar como Alemania, España e Italia, tienen niveles similares o menores. Alemania tiene el nivel de radiación que en Chile se encuentra en Puerto Montt, mientras que las zonas sur de España e Italia, se aproximan a los niveles que es posible medir en la Región Metropolitana.

Data y gráfica de resultados de mediciones de radiación en la Región Metropolitana



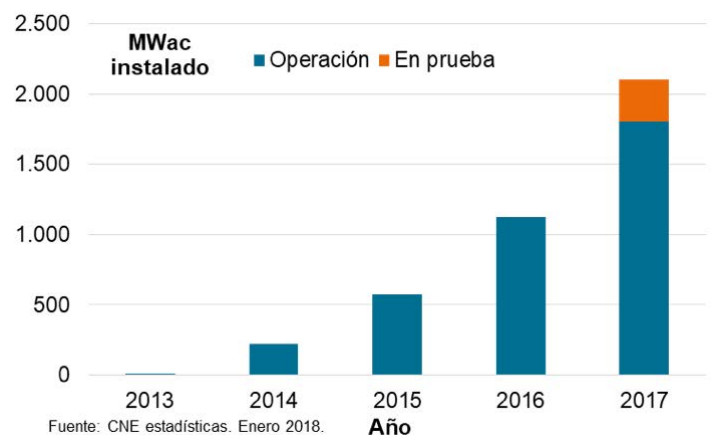
En el cuadro y gráfico anteriores, se presenta un caso concreto de medición de radiación global horizontal en Santiago Norte, (zona de Lampa). En éste, el nivel anual de radiación global horizontal (GHI) supera los 2.000 kWh/m². Además se observa una curva de radiación anual, en la que, si bien el nivel de radiación disminuye en invierno, un sistema solar sería capaz de generar importantes cantidades de energía.

El concepto Agro PV busca aprovechar el potencial de energía solar de una manera eficiente y armoniosa con otras actividades productivas como la agricultura. Hay cultivos que se ven beneficiados al regular la cantidad de luz que reciben. Por lo tanto, un sistema fotovoltaico diseñado considerando una adecuada regulación de los niveles de sombra/luz que recibe un cultivo ubicado debajo de ellos, tendría incidencia en mejorar las condiciones y desempeño de dicho cultivo. Adicionalmente, este sistema generaría -al mismo tiempo y sobre el mismo terreno- energía limpia que puede ser utilizada por el productor. Los excedentes de energía pueden ser inyectados a las redes de distribución existentes, para su uso por las comunidades vecinas e, incluso ser comercializados en el mercado eléctrico formal, (a nivel del Sistema Interconectado Central, a través de distribuidoras eléctricas, por medio de lo establecido en las leyes de incentivo a las ERNC (Energías Renovables No Convencionales), PMGD (Pequeños Medios de Generación Distribuida) o Ley de Net Billing, que entró en vigencia el año 2014.

Cabe destacar que la energía solar fotovoltaica ha experimentado un importante desarrollo en el país. A enero 2018, se registran en Chile 2.100 MW en operación, que inyectan energía al sistema interconectado (los antiguos sistemas Central y Norte Grande, SIC y SING, se encuentran interconectados desde noviembre del año 2017). Considerando que a diciembre 2013 existían sólo 6,7 MW en operación, se aprecia que este crecimiento ha sido explosivo, y centrado fundamentalmente en el desarrollo y construcción de plantas fotovoltaicas de gran escala.

Si bien el desarrollo solar se ha materializado principalmente en la zona norte de Chile, se observa en forma creciente la aparición de plantas de gran escala en la zona central. También se aprecia en mayor medida el desarrollo de proyectos en la categoría PMGD (Pequeño Medio de Generación Distribuida), que considera plantas de generación cuyas capacidades van desde algunos cientos de kW de potencia, hasta 9 MW. En el caso de plantas de gran escala, se destacan los proyectos Quilapilún y Santiago Solar, ambos con capacidades superiores a 100 MW y ubicados en las comunas de Colina y Tiltil, respectivamente. Si bien la zona central cuenta con menores niveles de radiación en comparación a la zona norte del país, éstos siguen siendo elevados.

Evolución de Capacidad Instalada en Energía Solar en Chile



Se observa un creciente aumento del atractivo de desarrollar proyectos solares de gran escala cercanos a Santiago. Esto considerando la baja en los costos de inversión y la condición de cercanía a los grandes centros de demanda de energía, pues en la zona metropolitana se concentra más del 60% de la demanda energética eléctrica nacional.

Esta situación genera un nuevo actor relevante en la competencia por uso de suelo en la Región Metropolitana de Santiago. En esta zona se encuentran las mejores tierras agrícolas del país, las cuales están sujetas a gran presión por parte de desarrolladores inmobiliarios, debido a la creciente demanda por terrenos para desarrollo de viviendas y servicios. A ello se agrega la presión por el desarrollo de proyectos solares, los que ocupan importantes extensiones de tierra.

Como se detallará más adelante, el concepto Agro PV permite la coexistencia armónica del desarrollo de proyectos de energía solar con la actividad agrícola, permitiendo un doble uso de la tierra.

PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

CONCEPTO AGRO PV

El concepto AgroPV propone el desarrollo de sistemas de producción de energía en base a tecnología solar fotovoltaica, en combinación armónica y optimizada con la producción agrícola. En términos simples, considera el montaje de los paneles fotovoltaicos mediante una disposición que permita el desarrollo de actividades agrícolas normales para una amplia variedad de cultivos.

Al mismo tiempo, considera una distribución espacial de los paneles para que se genere un sombreado uniforme sobre el cultivo intervenido. La intensidad de sombreado puede ser definida según la geometría (orientación e inclinación) del sistema a instalar.



1. Consumo propio incluyendo almacenamiento de energía

2. Acuerdo de compra de energía con residentes locales e industrias

3. Energía suministrada a la red y a operadores de sistemas de distribución

El uso del concepto Agro PV presenta los siguientes impactos positivos:

- Evita competencia por el uso de suelos para agricultura y energía, permitiendo el desarrollo armónico y conjunto de ambas actividades.
- Genera una nueva fuente de ingresos para los agricultores, tanto por el ahorro de costos debido a la autogeneración energética en el mismo predio, como por la venta de la energía excedente a las redes de distribución, mediante la aplicación de lo establecido en la Ley de Generación Distribuida (Ley 20.571).
- Abre la posibilidad para que los agricultores desarrollen nuevas líneas de productos agrícolas de tipo 'premium', con menor huella de carbono.
- Contribuye a mejorar la calidad del servicio y estabilizar las redes, al disponer en las zonas rurales de fuentes de generación energética a nivel distribuido. Esto ya que si bien en Chile la cobertura del servicio eléctrico es prácticamente de 100%, la calidad del servicio en redes eléctricas rurales no tiene el mismo estándar que en zonas urbanas. En las zonas rurales son más frecuentes y más extensos los cortes, mayores los tiempos requeridos para reconexión del servicio y variaciones de frecuencia y/o voltaje más intensas. Es importante además destacar que los costos decrecientes de los sistemas de energía fotovoltaica, acercan cada vez más las soluciones de este tipo a la oferta estable eléctrica. Agro PV puede convertirse en un importante aporte para el desarrollo de sistemas de generación solar a nivel distribuido, en base a la implementación de plantas de pequeña, mediana e incluso mayor escala, a nivel de las zonas rurales.

El concepto Agro PV es relativamente nuevo, existiendo iniciativas piloto y algunas aplicaciones de tipo comercial en Europa y Asia. Éste ha presentado gran desarrollo en Japón, con particular énfasis luego del desastre de la central nuclear de Fukushima. También se observan diversas iniciativas en Francia, Alemania e Italia.



Japón. Solar Sharing, Ministry of Agriculture, Forest and Fishery, Akira Nagashima, 2013.



Japón.



Francia, Universidad de Montpellier, 50 kWp, 2010.



Italia. R.E.M Spa, 3x3 MWp each, 2011.



Alemania.



Italia, sobre vides.

Antecedentes Técnicos Básicos del Concepto Agro PV

El concepto básico de diseño de las plantas Agro PV que se instalaron en la zona Metropolitana de Santiago, como fruto del presente proyecto, se desarrolló en nuestra casa matriz en Alemania, Fraunhofer ISE. De manera inicial, la base del diseño consiste en el desarrollo de simulaciones de radiación solar a nivel de suelo, debajo de las plantas Agro PV.

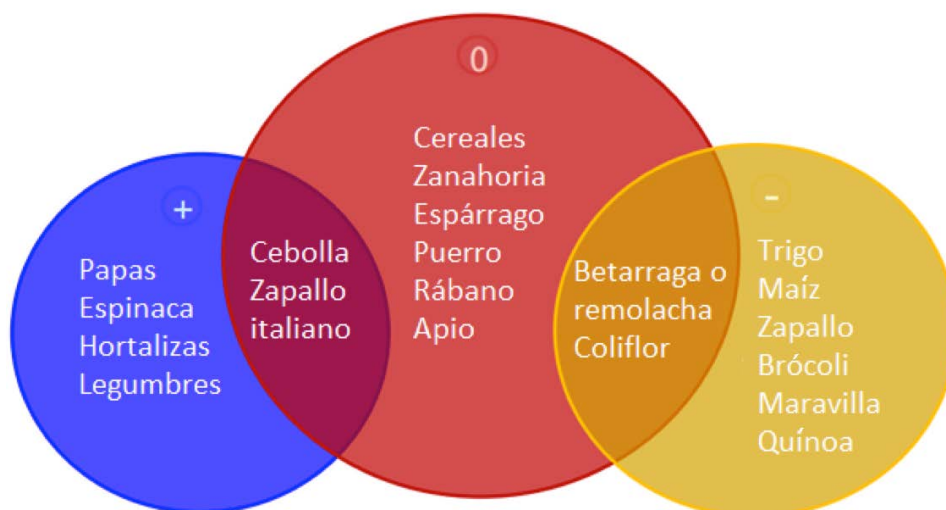
Desde el punto de vista estrictamente basado en el rendimiento máximo de una planta solar fotovoltaica, sin considerar su desarrollo sobre un cultivo un sistema fotovoltaico en estructura fija (sin mecanismo de seguimiento solar) ubicada en el Hemisferio Sur, ésta debería estar orientada hacia el Norte, inclinando los paneles en un ángulo de aproximadamente 28° sobre el plano horizontal en la Región Metropolitana.

Debido a lo novedoso del concepto a nivel mundial, aún no se cuenta con información estadística decisiva respecto al impacto directo de la menor cantidad de radiación solar en los cultivos. Actualmente están en curso diversos

estudios a nivel internacional, a los cuales se agrega nuestro proyecto piloto en Santiago.

Cabe recordar que los ciclos de cosechas son largos, por lo cual las mediciones de impacto toman tiempo. Sin embargo, mediante el análisis de requerimientos de cantidad de luz de diversos tipos de cultivos, se han hecho estimaciones teóricas para el caso de Europa Central. En el gráfico que se expone a continuación, se indican los grupos de cultivos que podrían verse beneficiados con la reducción de radiación en un 30% (signo +, color azul), aquellos que no tendrían variación en su rendimiento (signo 0, color rojo), y aquellos que podrían tener una reducción en su rendimiento, (signo -, color amarillo).

Luego de un plan de seguimiento de al menos tres años, en que se probarán diversos ciclos y tipos de cultivo en las tres plantas pilotos instaladas en Santiago, se comprobará un gráfico similar para la Región Metropolitana, el que servirá de guía para la extensión del proyecto en la zona central de Chile.



ACTIVIDADES REALIZADAS

El proyecto se inició durante el primer semestre de 2016, teniendo como primera actividad la conformación del equipo de trabajo y la recolección de toda la información de base necesaria para establecer el punto de partida.

Como actividades principales, se coordinó la visita de la experta de Fraunhofer ISE Alemania, la ingeniero Dipl. Tabea Oberfell, que se materializó durante el mes de julio de 2016. El trabajo conjunto de la Ing. Oberfell con el equipo local de Fraunhofer Chile, permitió desarrollar la transferencia tecnológica inicial del concepto Agro PV, y sobre todo, apoyar el proceso de selección de los tres lugares en los cuales se instalaron las tres plantas piloto del proyecto.

Para la selección de los lugares, el equipo de trabajo contó con el apoyo del coejecutor Fedefruta y, además por intermedio del Gobierno Regional, se contó con la valiosa colaboración de INDAP Región Metropolitana.



Visita a terreno en Curacaví – revisión de maquinaria utilizada.

En una primera etapa, se seleccionó un listado de siete posibles lugares, en las comunas de Colina, Lampa, Curacaví, María Pinto, El Monte y Paine (dos lugares en esta última comuna). Los productores identificados en estos lugares cumplían con los lineamientos técnicos exigidos por el proyecto y con el alcance económico-social acordado con el Gobierno Regional, en cuanto a abordar como beneficiarios a pequeños y medianos productores de hortalizas en la Región Metropolitana.

Los siete lugares fueron visitados y se desarrolló una metodología de selección evaluando los siguientes aspectos:

1. Cantidad de productores.
2. Nivel organizativo.
3. Condición social.
4. Cultivos aptos y flexibilidad para desarrollo de nuevos cultivos de prueba.
5. Distancia a consumos eléctricos.
6. Tipos de consumos eléctricos.
7. Tipo de maquinaria agrícola utilizada.
8. Nivel de seguridad en el predio.
9. Necesidad de sistemas adicionales (que impliquen costos adicionales).

Del análisis y evaluación realizados en base al estudio de las variables indicadas, se concluyó que los tres lugares elegidos serían los siguientes:

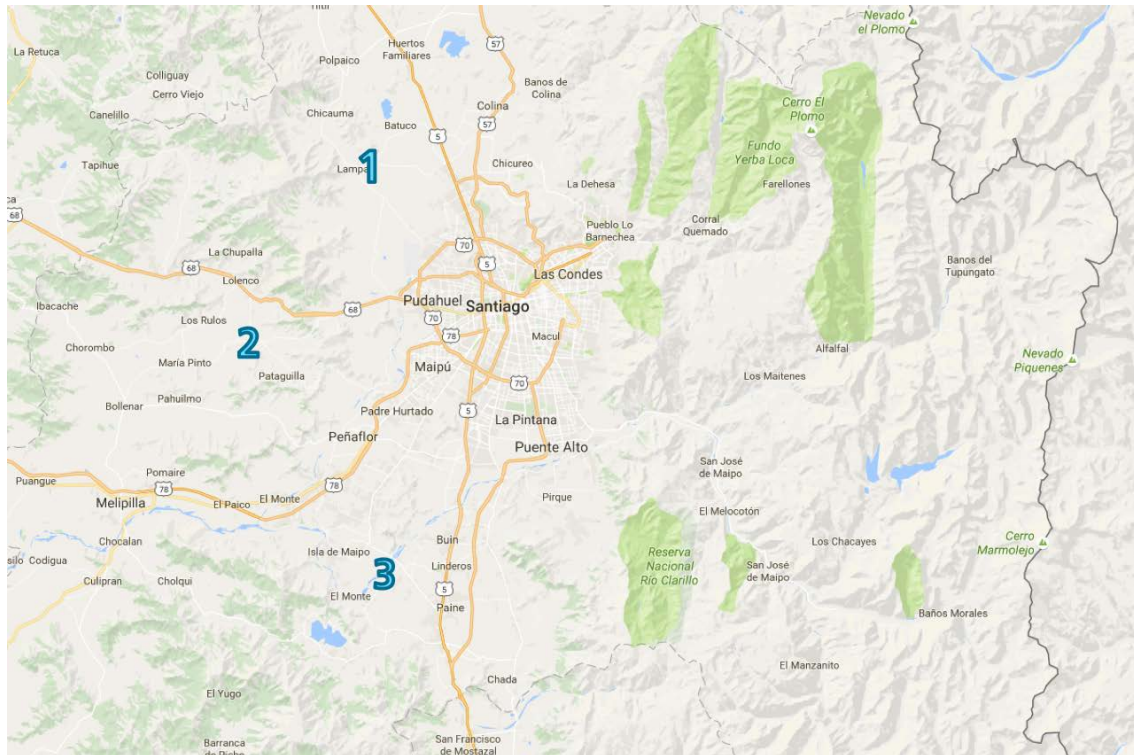
Comuna de Lampa – Agrícola Sobreterra Ltda. (Familia Aguilar, representada por Marcos Aguilar)

Comuna de Curacaví – Agrocesar Ltda. – (4 familias y oficina de Agrocesar Ltda., representados por César Veliz)

Comuna de El Monte – 5 familias, representadas por Rosa Mallea, con apoyo y coordinación de oficina Prodesal El Monte e INDAP

Las tres localidades cumplen con los requisitos expuestos para el proyecto, tanto de tipo técnico como social, incluyendo además otras ventajas de logística, tales como disponibilidad de conexión eléctrica adecuada, distancias razonables entre ubicación de la planta fotovoltaica a instalar y los puntos de consumo, flexibilidad en la gestión de cultivos, y un adecuado tamaño y variedad de la maquinaria agrícola a probar. Además algo muy relevante es que estos lugares representan tres condiciones climáticas relevantes en la Región Metropolitana, desde clima con mayor influencia de la costa (Curacaví), hasta zonas de mayor radiación solar y menor nivel de humedad atmosférica (Lampa), pasando por una zona de condiciones intermedias (El Monte).

El siguiente plano indica la localización de los proyectos elegidos:



1. Planta Piloto Agro PV Lampa.
2. Planta Piloto Agro PV Curacaví.
3. Planta Piloto Agro PV El Monte.

El siguiente paso consistió en iniciar el diseño, suministro, construcción e instalación de las tres plantas piloto.

En primer lugar, se definió el diseño de la estructura. Esta debía seguir los parámetros requeridos por el concepto Agro PV, en términos de la distancia entre las filas de paneles, para mantener el sombramiento uniforme requerido, y la altura de la instalación, para permitir el adecuado funcionamiento de maquinaria agrícola en la zona cubierta por la estructura de soporte.

El diseño definido se expone en la siguiente figura, y la construcción e instalación en terreno de las tres estructuras fue encargada a la empresa CINTAC:



Planta en construcción en dependencias CINTAC.

Plantas instaladas en terreno

Las plantas quedaron instaladas en las tres localidades, incluyendo todos los sistemas fotovoltaicos correspondientes (paneles, inversores y cableado DC). El siguiente paso consistió en el desarrollo de la conexión eléctrica desde las tres plantas hasta los puntos de consumo de los beneficiarios, lo que implicó el desarrollo de varios cientos de metros de cableado AC, postación, adaptación de tableros y conexiones internas. Esto para poder contar con la aprobación de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), y la autorización para su conexión a la distribuidoras eléctricas correspondientes, de acuerdo a lo establecido en la Ley de Generación Distribuida (Ley 20571).

Las tres plantas obtuvieron su aprobación final por parte de la SEC en el mes de diciembre 2017. Actualmente están completamente habilitadas para su conexión eléctrica definitiva e inicio de su producción eléctrica, tanto para el autoconsumo de los beneficiarios, como para la inyección de excedentes a las propias distribuidoras eléctricas, (CGE para el caso de Curacaví y El Monte, Enel Distribución para el caso de Lampa).

Las tres instalaciones fotovoltaicas cuentan con 10 puntos de conexión, para cumplir con el compromiso llegar al menos a cinco beneficiarios en cada una de ellas.



Planta Curacaví.



Planta Lampa.



Planta El Monte.

Ficha Técnica de las Tres Plantas Fotovoltaicas Instaladas

Paneles fotovoltaicos (captación de radiación solar y generación de energía eléctrica de tipo continuo – DC).

Sistema de inversores (equipo que convierte energía continua DC en energía alterna AC, compatible con redes eléctricas domiciliarias).

Cada planta cuenta con 48 paneles de 260 Wp. En total en los tres pilotos, de Lampa, Curacaví y El Monte, se instalaron 146 paneles con una potencia nominal acumulada de 37.44 kWp.

Se instalaron 10 equipos inversores marca SMA, en las tres plantas. De estos, nueve son inversores monofásicos y uno de tipo trifásico.

Sistema de Monitoreo en Línea

Con el objeto de tener información en línea y evaluar tanto variables de producción eléctrica como datos relevantes para el análisis de elementos relativos a los cultivos, en cada una de las plantas se instaló un Sistema de Medición y Monitoreo.

Dicho sistema mide radiación solar, viento, humedad (a nivel ambiente, suelo y a varias profundidades), temperatura y producción de energía eléctrica.

Los datos son almacenados y procesados para realizar análisis de seguimiento, y además se podrán desplegar y consultar en línea, permitiendo el monitoreo y control de gestión remoto en las plantas.

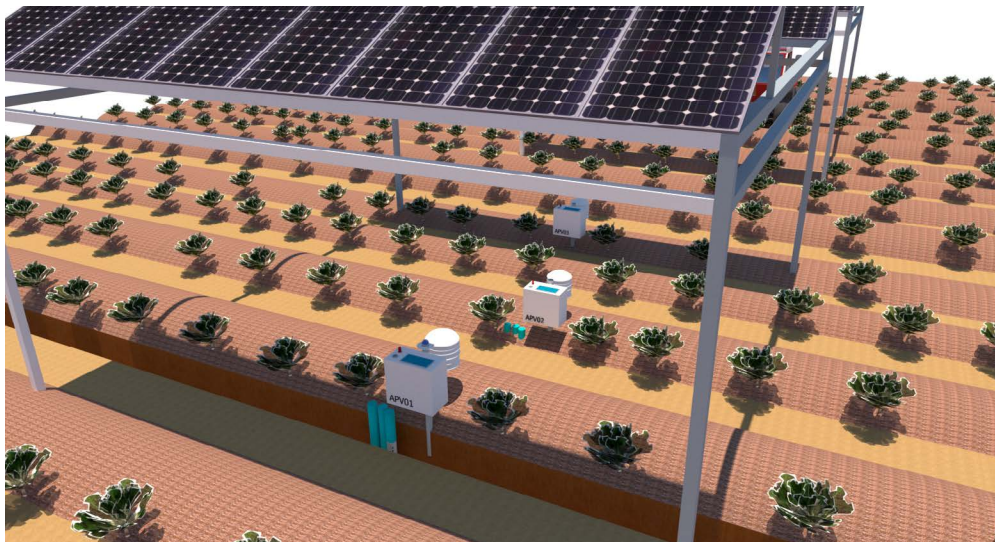
El sistema de medición utilizado se basa en el uso de procesadores Raspberry Pi (RPi) y/o Arduino, debido a que se soportan en plataformas de código abierto, permiten fácil expansión a nivel de sensores para medir variables adicionales, y utilizan un sistema de programación amigable.

El sistema de monitoreo instalado incluye sensores, unidades de acondicionamiento de señales, y dispositivos para adquisición, procesamiento, almacenamiento y transmisión de datos.

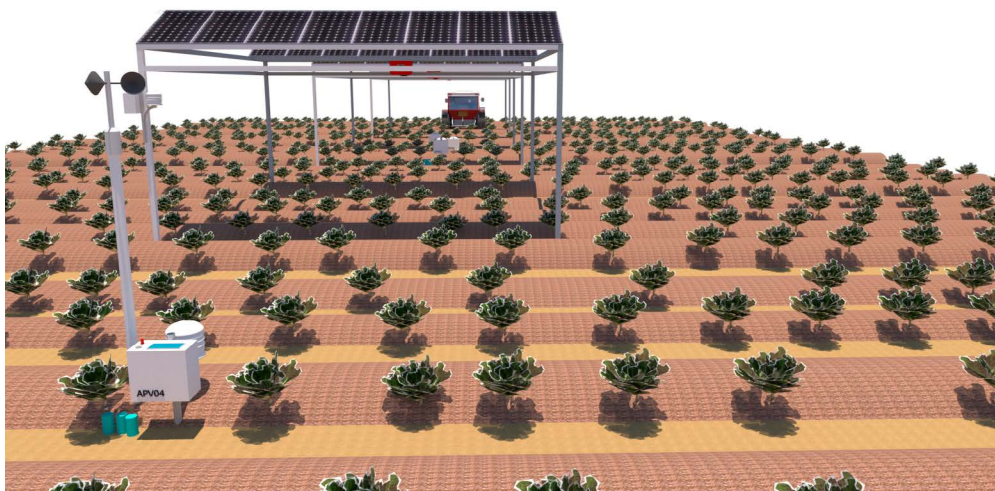
Bajo los paneles fotovoltaicos, se instalaron los siguientes sensores: sensor de irradiación global horizontal, sensores de temperatura y humedad ambiente y sensores de humedad de suelo a diferentes profundidades (10, 30 y 50 cm). Adicionalmente, de forma tal de obtener una comparación que permita evaluar el impacto del sombreado de los paneles en el cultivo, se instaló una unidad de monitoreo de referencia en el suelo, ubicada en una zona alejada de los paneles

fotovoltaicos. Esta unidad cuenta con los siguientes componentes: sensor de velocidad del viento (anemómetro), sensores de temperatura y humedad ambiente, sensores de humedad de suelo a diferentes profundidades (10, 30 y 50 cm).

Las siguientes figuras muestran un esquema con la disposición de los sensores en cada planta:



Monitoreo bajo paneles fotovoltaicos.



Monitoreo en zona de referencia de suelo.



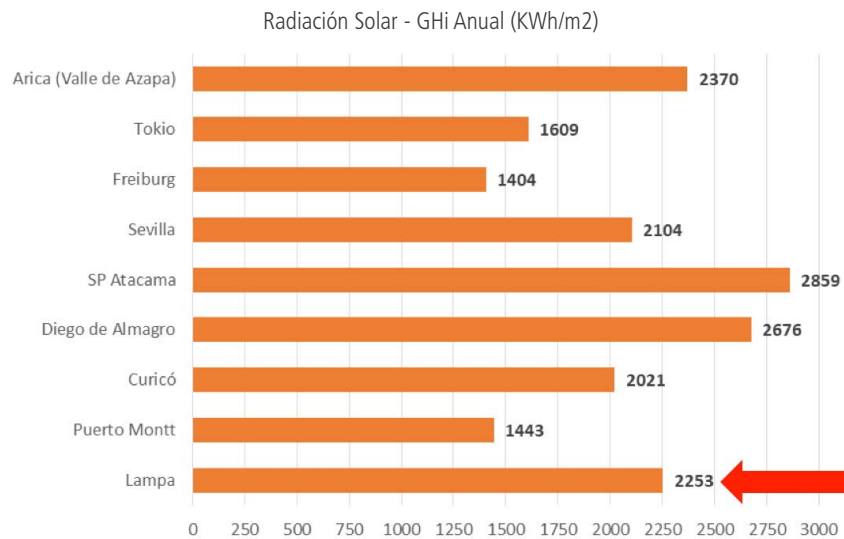
Imágenes de sistema de monitoreo instalado en terreno (Planta Lampa).



RESULTADOS PRELIMINARES

Mediciones de Recurso Solar y Estimaciones de Producción de Energía

En cuanto a recurso solar, resulta interesante comparar los niveles de radiación existentes en la Región Metropolitana con otros lugares, tanto dentro como fuera de Chile, en los cuales existe importante desarrollo de sistemas fotovoltaicos. En el siguiente gráfico se presenta esta comparación:

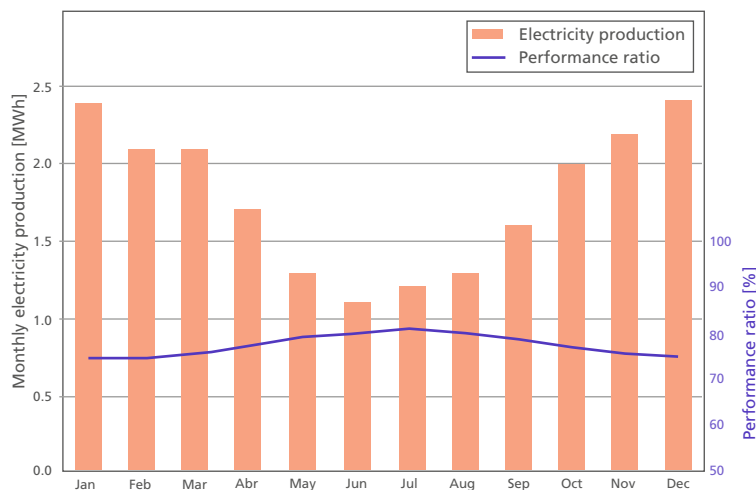


Se aprecia que la radiación solar existente en Lampa, a nivel de kWh/m² anuales, es bastante superior a varias ciudades europeas, e incluso comparable con algunas localidades del Norte de Chile. Esto permite soportar inicialmente el gran potencial existente en la zona central para el desarrollo de la energía fotovoltaica.

En cuanto a proyección de energía a producir, en kWh, tomando como ejemplo el mismo caso de Lampa, se tiene lo siguiente:

Month	E_{t_m}	E_{s_m}	E_{s_d}	E_{share}	PR
Jan	2443.6	195.8	6.32	11.4	74.4
Feb	2115.4	169.5	6.05	9.9	74.4
Mar	2131.6	170.8	5.51	9.9	75.5
Apr	1667.3	133.6	4.45	7.8	77.1
May	1289.2	103.3	3.33	6.0	79.2
Jun	1052.1	84.3	2.81	4.9	79.9
Jul	1213.1	97.2	3.14	5.7	80.9
Aug	1329.1	106.5	3.44	6.2	79.8
Sep	1591.2	127.5	4.25	7.4	78.3
Oct	1971.8	158.0	5.10	9.2	76.7
Nov	2214.0	177.4	5.91	10.3	75.4
Dec	2418.6	193.8	6.25	11.3	74.8
Year	21436.9	1717.7	4.71	100.0	76.6

En este cuadro se aprecia que la producción total anual será de 21.437 kWh, que estimativamente corresponde al consumo total de al menos seis casas promedio a nivel nacional. En términos monetarios, dado que se trata de conexiones en baja tensión (tarifa BT1), esta cantidad de energía a producir correspondería a un monto de \$2.140.000, aproximadamente.



Distribución de Producción Anual de Energía (MWh/mes).

La energía total anual producida indicada precedentemente, tendría la siguiente distribución anual, como se indica en el gráfico de la página anterior.

Cabe destacar que el impacto económico estimado, sería captado por los beneficiarios solamente si fuese posible destinar toda la producción energética de la planta a autoconsumo, sin generar excedentes hacia la red eléctrica.

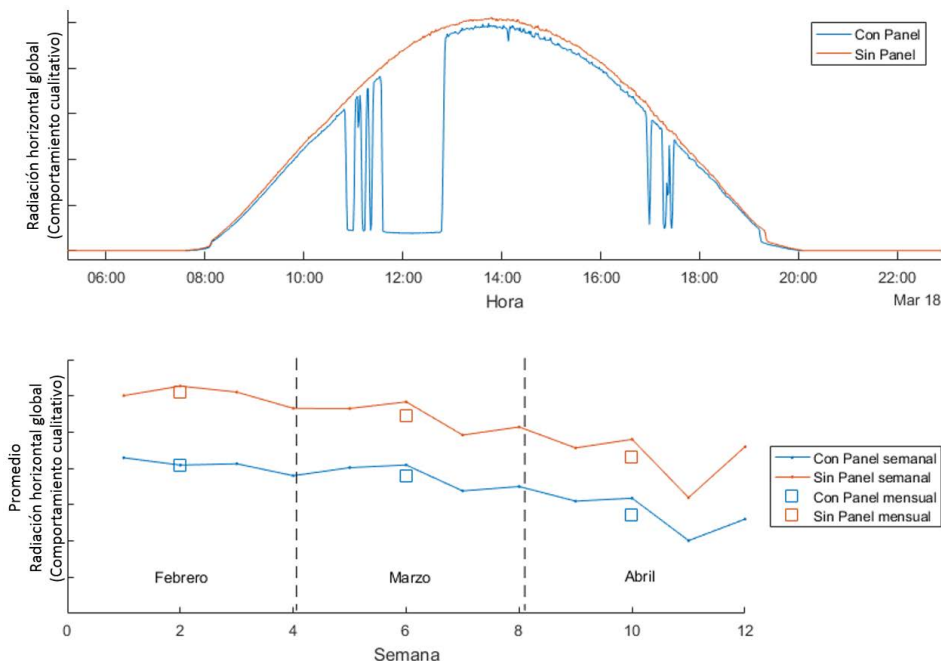
Esto es difícil que ocurra, pues normalmente los periodos de alta producción solar no van alineados necesariamente con los consumos. Dado que en Chile la Ley 20.571, denominada Net Metering, remunera solo el costo de la energía al inyectar excedentes a la red, en este caso cada kWh generado y no consumido solo reporta un 60% de la tarifa BT1.

En todo caso, este dato será corroborado durante el monitoreo que se realizará de cada planta, durante los siguientes 3 años.

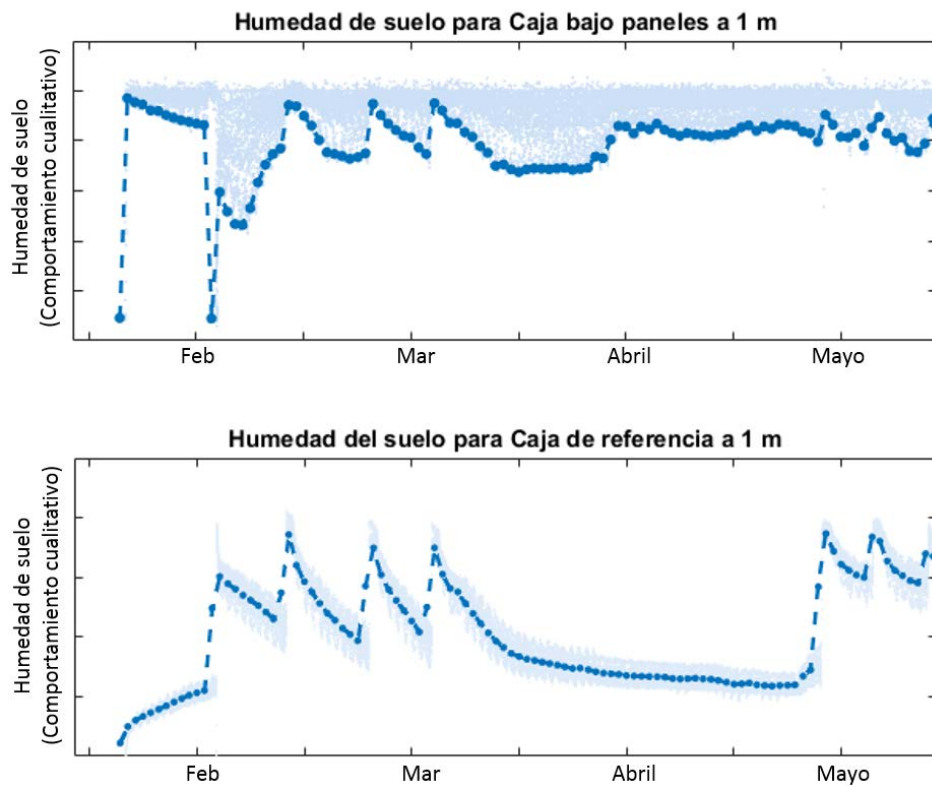
Mediciones del Sistema de Monitoreo

Como un ejemplo del tipo de mediciones obtenidas, se presenta en el siguiente gráfico el sombreado recibido en el cultivo que se encuentra debajo de la planta fotovoltaica. La línea continua azul muestra la radiación solar medida a nivel de los paneles fotovoltaicos (no afectada por la sombra), mientras que la línea roja muestra la medición de radiación a nivel de suelo, en uno de los sensores. Las caídas son sombras, que se desplazan a lo largo del día, según el movimiento del sol y producen de esta manera la reducción uniforme de 30% en la radiación total recibida en el cultivo.

En el segundo gráfico, se muestra la radiación solar medida durante un periodo de tiempo, comprendido entre febrero y abril de 2016, de igual forma comparando con y sin panel. En este caso se indica el dato acumulativo (radiación solar semanal/mensual). Se aprecia la menor radiación recibida debajo del panel.



También se realizaron mediciones de humedad, mediante sensores instalados, según se indicó precedentemente. Estas mediciones son de carácter preliminar, pues el sistema de medición de humedad es de alta complejidad y aún no se cuenta con una solución técnica de alta estabilidad. Sus resultados se grafican a continuación:



Preliminarmente es posible indicar que debajo de los paneles fotovoltaicos se capta un mayor nivel de humedad. Sin embargo, en las etapas de seguimiento y monitoreo que se inician a continuación, se corroborarán estos datos con más exactitud, mediante el desarrollo de un sistema de medición de mayor precisión y confiabilidad.

Operación de Actividad Agrícola bajo las Plantas Fotovoltaicas

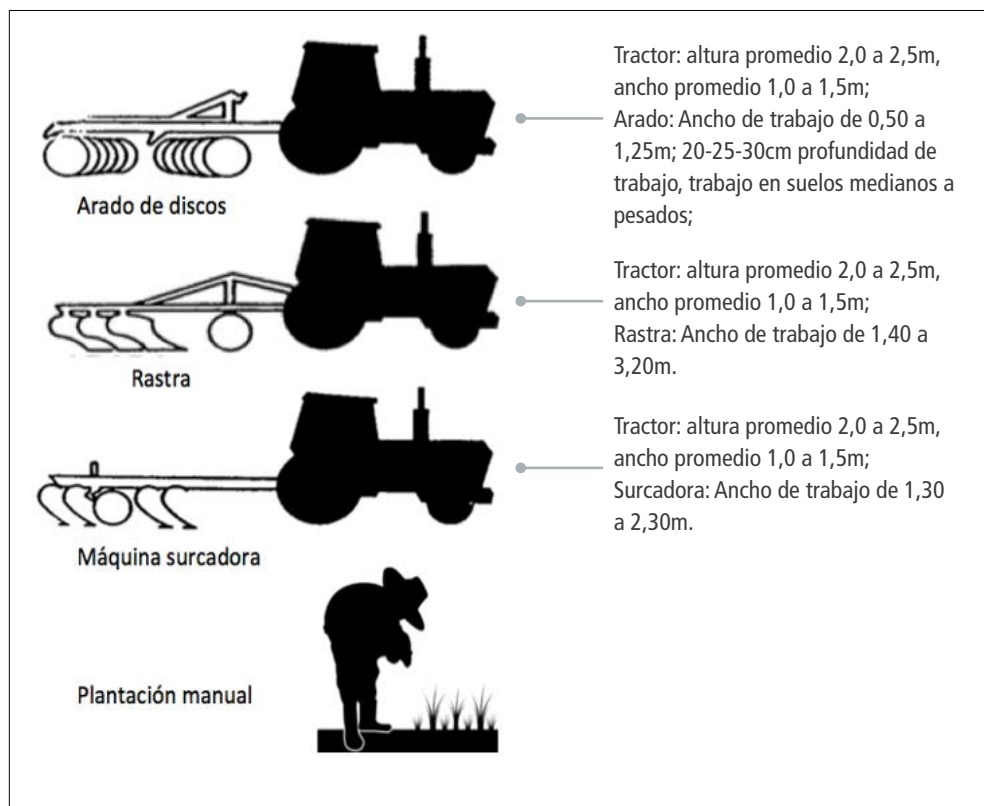
Se ha podido comprobar la factibilidad de manejo y desarrollo de actividades de cultivos en cada sitio, operando maquinaria de gran tamaño, como se apreciará en fotos incluidas más adelante.

En cada campo (Lampa, Curacaví y El Monte) se monitoreó el manejo en preparación de suelo bajo los sistemas Agro PV. La maquinaria presente en los tres campos fue de arado de discos para romper y voltear el perfil del suelo, rastra para mullir los terrones dejados por el arado de disco y nivelar el suelo,


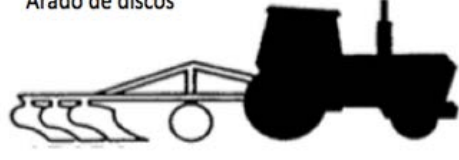


máquina surcadora para conseguir la abertura de surcos en el suelo y para el caso de El Monte, máquina sembradora.

El diseño de los paneles fue pensado para facilitar las maniobras de las maquinarias utilizadas en los campos, tomando en cuenta sus dimensiones para no interferir en los procesos habituales de los agricultores para desarrollar sus cultivos.

En las localidades de Lampa y El Monte, las dimensiones de la maquinaria utilizada en la labranza son:



Mientras que en la localidad de Curacaví, las dimensiones de la maquinaria utilizada en la labranza son:

 <p>Arado de discos</p>	<p>Tractor: altura promedio 2,0 a 2,5m, ancho promedio 1,0 a 1,5m; Arado: Ancho de trabajo de 0,50 a 1,25m; 20-25-30cm profundidad de trabajo, trabajo en suelos medianos a pesados;</p>
 <p>Rastra</p>	<p>Tractor: altura promedio 2,0 a 2,5m, ancho promedio 1,0 a 1,5m; Rastra: Ancho de trabajo de 1,40 a 3,20m.</p>
 <p>Máquina surcadora</p>	<p>Tractor: altura promedio 2,0 a 2,5m, ancho promedio 1,0 a 1,5m; Surcadora: Ancho de trabajo de 1,30 a 2,30m.</p>
 <p>Máquina sembradora</p>	<p>Tractor: altura promedio 2,0 a 2,5m, ancho promedio 1,0 a 1,5m; Sembradora: Ancho de trabajo de 1,5 a 3,0m, de 4 a 12 hileras.</p>

Fotos de Maquinaria Operando en las Plantas:



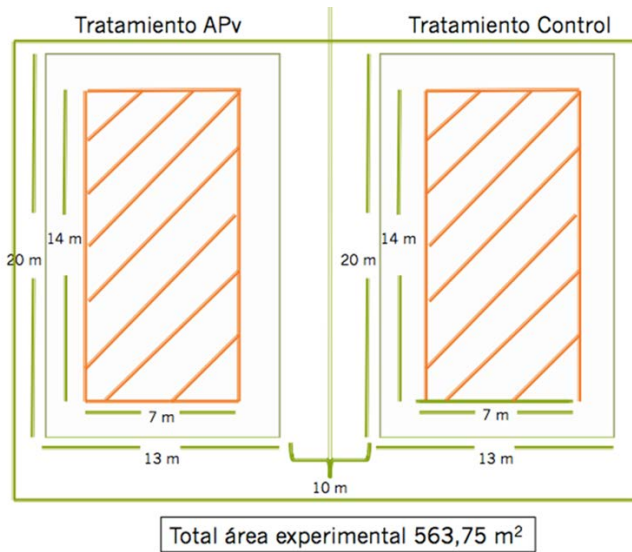
Arado en Planta Curacaví.



Máquina de Plantar, en Curacaví.

Metodología de Evaluación de Impacto en la Producción Agrícola

Para estudiar el impacto del sistema Agro PV en los cultivos desarrollados debajo de las plantas fotovoltaicas, se implementó una metodología basada en el "grupo de control". Para ello, junto con la zona de cultivo donde se ubicó el piloto fotovoltaico, se destinó la implementación de un tratamiento de control con iguales características de manejo, disposición espacial y de iguales dimensiones que el sistema de paneles, dispuesto a una distancia mínima de 10 metros respecto del tratamiento Agro PV, con el fin de evitar sombreado en el control. El sistema completo se ilustra en la siguiente figura:



Este sistema sirve como una unidad comparativa, en la cual se realizó el seguimiento y estudio de ciertas variables (mediante el empleo de sensores de medición, según se ha expuesto previamente). Se compararon las características de los cultivos en la zona del piloto con los del grupo de control, permitiendo medir el impacto (positivo o negativo) del sistema sobre ellos. Para ello se implementó un sistema de medición en cada piloto, basado en un controlador digital que gestiona los diversos sensores, almacena la información y envía los datos a un control central, para su procesamiento y análisis. Las variables medidas son las siguientes:

- Irradiación en el plano de los paneles, horizontal y a nivel del cultivo.
- Temperatura ambiente y humedad relativa.
- Humedad del suelo.
- Potencia producida por el sistema fotovoltaico.
- Velocidad del viento.

Asimismo, se realizó una evaluación física de la producción agrícola, tomando muestras de cultivos debajo de la planta y comparándolos con los de la zona de control. Esto con el propósito de identificar diferencias en rendimientos por unidad de superficie, tallas, tamaño y peso de los vegetales cosechados, entre otros aspectos.



Planta Lampa / Estudio de cosecha de variedades de lechugas.

Actividades de Transferencia a la Comunidad: Herramienta On-Line / Página Web

Como parte de los elementos entregables del proyecto, se desarrolló una plataforma web para presentar los resultados y poner a disposición de la comunidad una herramienta básica para análisis preliminar de proyectos Agro PV.

Cabe destacar que la estructura de la plataforma web ya ha sido probada con éxito en los servidores para uso interno, y dicha herramienta estará disponible para uso público, en la dirección www.smart-agropv.cl o www.smart-agropv.com

En general, la plataforma consta de una sección principal con todos los proyectos públicos en los que participará Fraunhofer. Luego de seleccionar uno de los proyectos se abre una ventana con la información de esa iniciativa específica, en este caso FIC AgroPV.

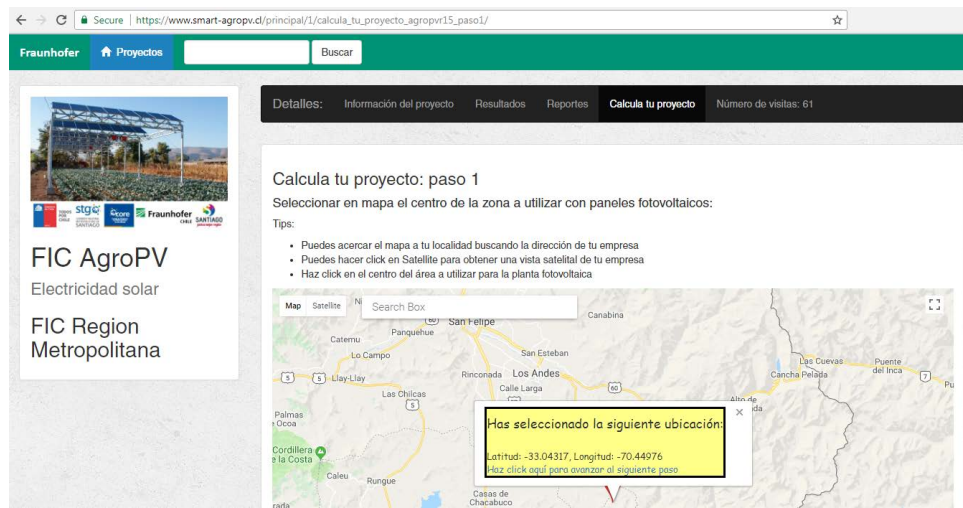
La estructura para el proyecto FIC AgroPV cuenta con 4 pestañas. La primera, "Información del proyecto" incluye información detallada de la formulación del proyecto, las instituciones que participan en él, la entidad financiadora, el plan de trabajo y los resultados esperados. La sección de "Resultados" incluye los resultados de cada una de las etapas del proyecto, las principales conclusiones y pasos futuros. En la sección de "Reportes" se puede descargar cada uno de los reportes públicos del proyecto.

Además, se agregó una sección denominada "Calcula tu Proyecto", en la cual el usuario podrá acceder a "google maps", para buscar la dirección de su planta agrícola o del terreno donde desee instalar un sistema AgroPV y podrá determinar tanto el recurso solar de la zona en cuestión, como la generación eléctrica anual esperada de la planta, en función de la localización del terreno.

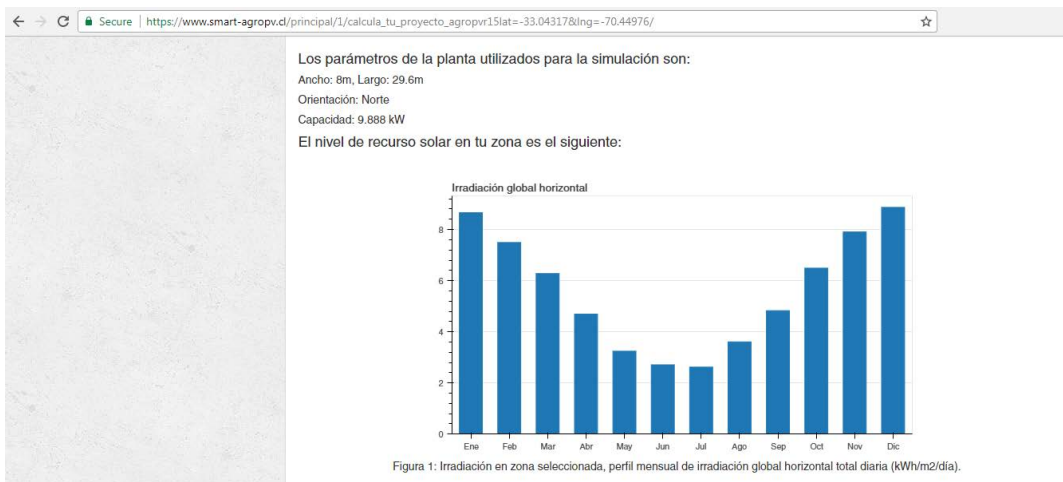
Como pasos futuros, se espera incorporar recomendaciones de cultivos que se puedan adaptar mejor a las condiciones de recurso solar que presenta cada localidad.



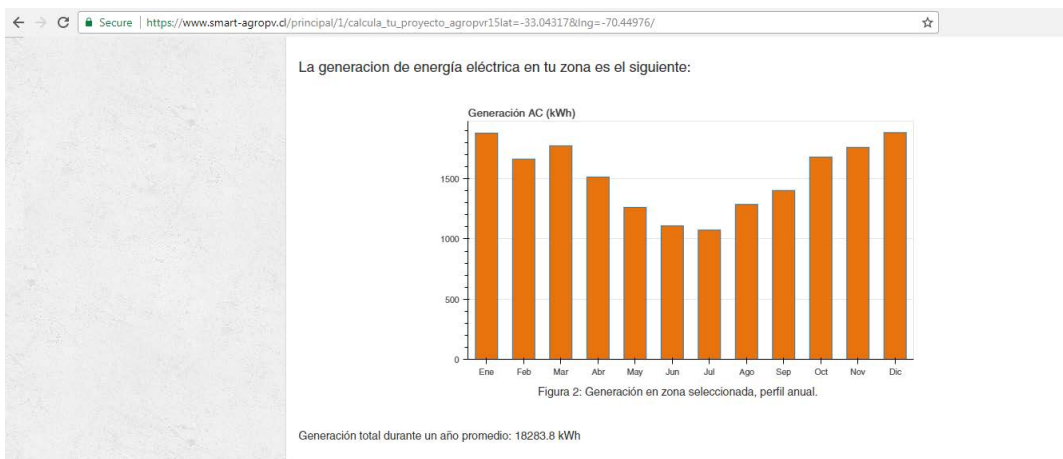
Web principal del proyecto FIC AgroPV (pestaña Resultados: Inicio).



Web principal del proyecto FIC AgroPV (pestaña Calcula tu proyecto: inicio).



Web principal del proyecto FIC AgroPV (pestaña *Calcula tu proyecto*: resultados en función de localidad, área disponible y orientación; se muestra recurso solar).



Web principal del proyecto FIC AgroPV (pestaña *Calcula tu proyecto*: resultados en función de localidad, área disponible y orientación; se muestra perfil de generación eléctrica mensual + generación eléctrica anual).

Actividades de Transferencia a la Comunidad: Seminarios y Talleres

El proyecto contempló diversas instancias de transferencia a la comunidad, buscando difundir y dar a conocer, tanto a público general como especializado, entre la comunidad agrícola, el sector de energía, y agentes públicos y privados.

La primera actividad consistió en un taller inicial de presentación del concepto Agro PV, que se realizó en agosto de 2016, a pocos meses de iniciado el proyecto, con motivo de la visita de la especialista de Alemania, Ing. Tabea Obergfell.

La segunda instancia de transferencia consistió en la realización del Seminario de Lanzamiento, para presentar formalmente el proyecto a la comunidad, que se llevó a cabo el 29 de noviembre de 2016. Este evento se realizó en el "Centro de Eventos El Molino" de la comuna de Curacaví y contó con la presencia del equipo de trabajo del proyecto, representantes del Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, SEREMI de Energía, Indap, representantes de la industria, productores y los beneficiarios de cada uno de los sitios. La convocatoria estuvo a cargo de Fraunhofer y Fedefruta (socio estratégico en este proyecto) y las presentaciones se enfocaron en mostrar el proyecto (su historia, alcance y beneficios) y la entrega de información por parte del Gobierno e Indap.



La tercera instancia consistió en el seminario de cierre del proyecto AgroPV, realizado el día 23 de noviembre de 2017, que tuvo por objetivo difundir sus resultados y próximos pasos. El encuentro contó con la presencia de destacadas autoridades regionales, entre ellas, el Intendente de la Región Metropolitana, Claudio Orrego; Miguel Ángel Garrido, Presidente Comisión de Fomento Productivo, Consejo Regional Metropolitano de Santiago (CORE); Sergio Versalovic, Seremi Metropolitano de Energía, entre otras autoridades.

Este seminario contó con una asistencia superior a las 100 personas, con participación de entidades tales como Intendencia Regional, GORE, CORE, CORFO, ACESOL, Fedefruta, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Energía, diversos representantes de empresas y organismos privados y públicos. El evento contó además con importante difusión en medios impresos (revistas especializadas) y digitales.

Además, se contó con la exposición de Stephan Schindele, asesor del proyecto de Fraunhofer ISE, quien presentó en conjunto con Georg Bopp, también de Fraunhofer ISE. Por parte de FCR, los diversos expertos del equipo local mostraron el potencial del concepto Agro PV, aspectos técnicos, aspectos claves en el modelo de producción conjunta de agricultura y energía por paneles PV, aspectos concernientes a la estructura física que soporta los paneles, instrumentación, posibilidad de utilizar maquinaria para siembra, cosecha, preparación de los suelos, riego y resultados preliminares. También se mostró un video con la plataforma web que se está desarrollando e implementando. Cabe destacar que durante la realización del seminario se presentó la cápsula de video del Proyecto, en la que se resumen aspectos técnicos, potencial de la propuesta, opiniones de los beneficiarios directos, entre otros temas.



Finalmente durante el mes de diciembre de 2017, siguiendo el programa de trabajo establecido para el proyecto, se desarrollaron instancias de capacitación y transferencia directamente con los beneficiados en terreno. Esto con el objeto de explicar presencialmente aspectos relevantes de operación y mantención de

los sistemas fotovoltaicos instalados y difundir de manera directa los resultados y aspectos del proyecto. En estas instancias en terreno, también participaron otros productores de cada localidad.



MODELO DE NEGOCIO CONCEPTO AGRO PV

Modelo Económico - Social

Según los objetivos de proyecto establecidos por el Gobierno Regional, se definió que cada planta fotovoltaica debería impactar positivamente al menos a 5 beneficiarios. De acuerdo a esto, durante el proceso de búsqueda y selección de lugares, se estableció como objetivo que la ubicación de cada una de las plantas debería permitir factibilidad técnica para cumplir con este objetivo.

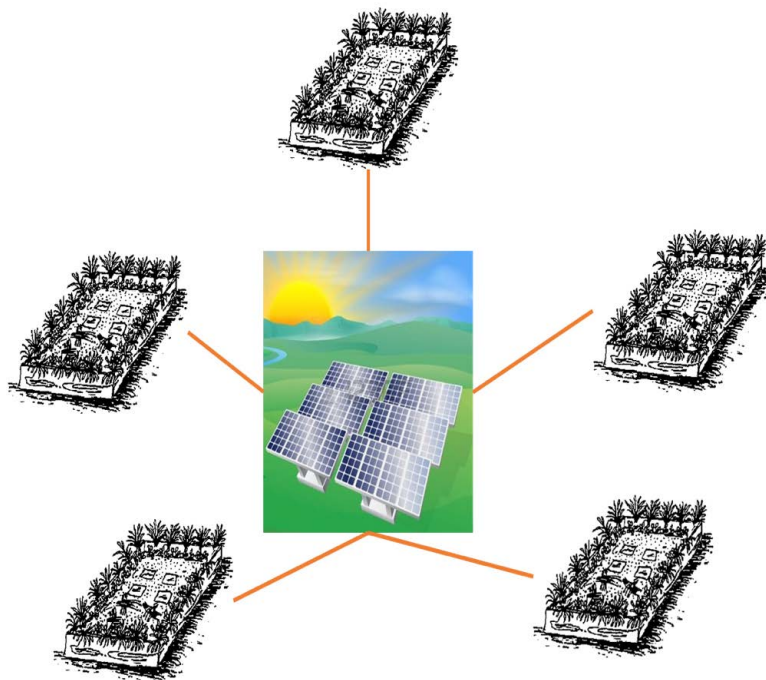
Lo anterior se logró, pues en efecto cada planta logra impactar positivamente a 5 o más beneficiarios, de la siguiente forma:

Curacaví: se instalaron 4 puntos de conexión; uno de ellos es una oficina de una empresa PYME que comercializa las hortalizas producidas en el predio y 3

son hogares de trabajadores o colaboradores de dicha empresa. Uno de ellos abastece a dos hogares.

Lampa: se instalaron 2 puntos de conexión; uno de ellos es el hogar de uno de los propietarios del predio y otro corresponde a un pequeño packing y unidad de frío, de propiedad de una comunidad de agricultores que producen en el predio en el cual está instalada la planta.

El Monte: 4 puntos de conexión, correspondientes a 4 familias (en uno de ellos se comparte la conexión con otra familia), que cohabitan y desarrollan actividad agrícola en el predio en el cual se instala la planta. Además, en uno de los puntos de conexión se encuentra una pequeña unidad de producción de huevos.



Esquema básico del modelo de impacto a beneficiarios.

En cuanto al modelo de operación de las plantas fotovoltaicas, éstas quedan entregadas a los beneficiarios mediante acuerdos de transferencia formales, firmados por un representante de cada comunidad. Cada grupo de beneficiarios asume el compromiso de realizar tareas de mantención básicas de las plantas y el representante es definido como la contraparte de Fraunhofer que mantendrá el contacto permanente para soporte, consultas y actividades a realizar en cada planta.

La energía producida por cada planta se canaliza directamente a cada beneficiario, según lo establecido en la Ley de Generación Distribuida, a la cual se acogen los sistemas construidos (Ley 20.571). Esta ley establece que cada beneficiario recibe la producción energética de la planta, lo que genera un ahorro en términos de energía no consumida desde la red. A su vez, si en algún momento del día se generan excedentes energéticos, -es decir la planta genera mayor nivel de energía que el consumo propio- éstos son inyectados a la red eléctrica y en la cuenta del mes siguiente, se genera una compensación en el consumo correspondiente, descontando el monto equivalente al excedente. Esto opera de manera automática para cada beneficiario, viéndose reflejado en las cuentas de consumo eléctrico.

Las tareas de mantención a realizar directamente por parte de los beneficiarios son bastante simples. Los sistemas fotovoltaicos instalados tienen vidas útiles de hasta 25 años y no cuentan con partes mecánicas ni componentes que deben ser intervenidos regularmente. La principal actividad a realizar para su correcto funcionamiento, es limpiar periódicamente los paneles, para evitar la acumulación de polvo, que reduce su potencial de producción energética.

Es muy relevante destacar que Fraunhofer ha definido un Plan de Seguimiento y Apoyo a las tres comunidades, durante un periodo mínimo de 3 años. Se

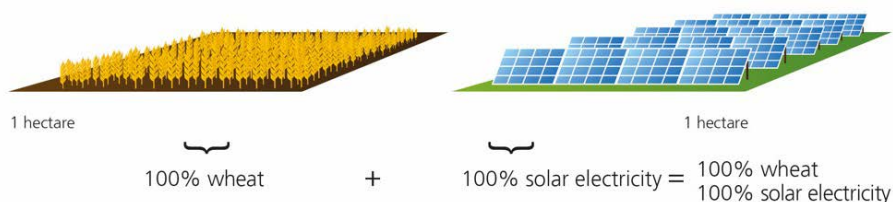
mantendrá permanente contacto y colaboración con los beneficiarios, y las plantas en las tres localidades servirán como excelentes sitios experimentales en terreno. Los sistemas de monitoreo instalados en las plantas se mantendrán completamente activos, lo que permitirá conocer de manera remota todas las variables operativas en línea, detectar problemas de funcionamiento y, sobre todo, generar valiosa información de análisis y seguimiento para mejorar a futuro el concepto y extender su aplicación a toda la zona central del país.

También se mantendrá contacto y colaboración en las actividades agrícolas desarrolladas en cada comunidad. Dado que los ciclos agrícolas son largos, para definir con mayor certeza el impacto del concepto Agro PV en los cultivos se coordinará con los agricultores un plan conjunto a tres años. Durante este periodo se estudiará el impacto en diversas especies, lo que permitirá contar con información confiable, certera y representativa para una amplia gama de productos agrícolas.

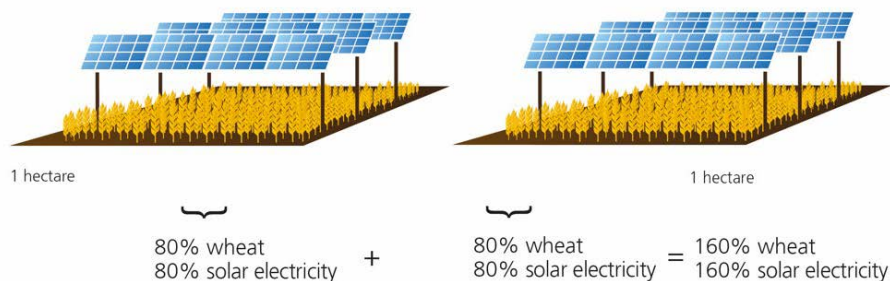
Modelo de Negocio Genérico Concepto Agro PV

La posibilidad de doble uso de un espacio agrícola genera una nueva fuente de ingresos para el propietario de un predio. Bajo el esquema tradicional, un propietario agrícola solo puede desarrollar cultivos, y si le interesa incursionar en producción de energía, debe dedicar 100% de la superficie en cuestión a la instalación de paneles solares (o algún punto intermedio de redistribución de terreno). Para efectos de ejemplo referencial, si un agricultor tiene dos hectáreas, puede dedicar una a cultivos, con 100% de rendimiento, y otra a energía solar, con 100% igualmente de rendimiento, asumiendo en cada caso sistemas optimizados. El resultado final es 100% producción agrícola más 100% producción energética.

Separate Land Use on 2 Hectare Cropland



Combined Land Use on 2 Hectare Cropland: Efficiency increases over 60%



Si alternativamente el agricultor decide desarrollar en sus dos hectáreas el concepto Agro PV, incluso asumiendo que hay una reducción en el rendimiento en cada hectárea por la doble actividad, se genera en total una mayor productividad o rendimiento, pues tanto en producción de energía como de alimento, se pasa de 100% a 160%, (80% en cada predio, por cada actividad). Este sencillo ejemplo indica como el concepto Agro PV permite aumentar la productividad de la tierra, en directo beneficio de los agricultores, sin sacrificar superficies dedicadas a la producción de alimento.

Para soportar el desarrollo de la inversión requerida para el sistema fotovoltaico, los agricultores cuentan con diversas alternativas:

- Acceso a fondos públicos de innovación, programas de la Comisión Nacional de Riego, programas del Ministerio de Energía (FAE: fondo de acceso a la energía).
- En el portal <http://www.minenergia.cl/pfinanciamiento/>, el Ministerio de Energía pone a disposición diversas opciones de financiamiento existente para proyectos basados en energías renovables.
- Los productores que cuentan con mayor capacidad financiera, pueden evaluar

directamente modelos de inversión privada. Sobre la base de la constante reducción en los costos de los sistemas fotovoltaicos, sumado a proyectos a mayor escala, es posible obtener valores de inversión bastante accesibles.

- Existen modelos de asociación de tipo ESCO (Energy Service Company), en el cual un tercero realiza la inversión y acuerda un pago por royalty o renta al propietario de la tierra, o bien se acuerda un precio de suministro de energía en el cual se comparte el ahorro generado.

El sistema Agro PV permite a los agricultores optar a diversas ventajas o beneficios, que se resumen a continuación:

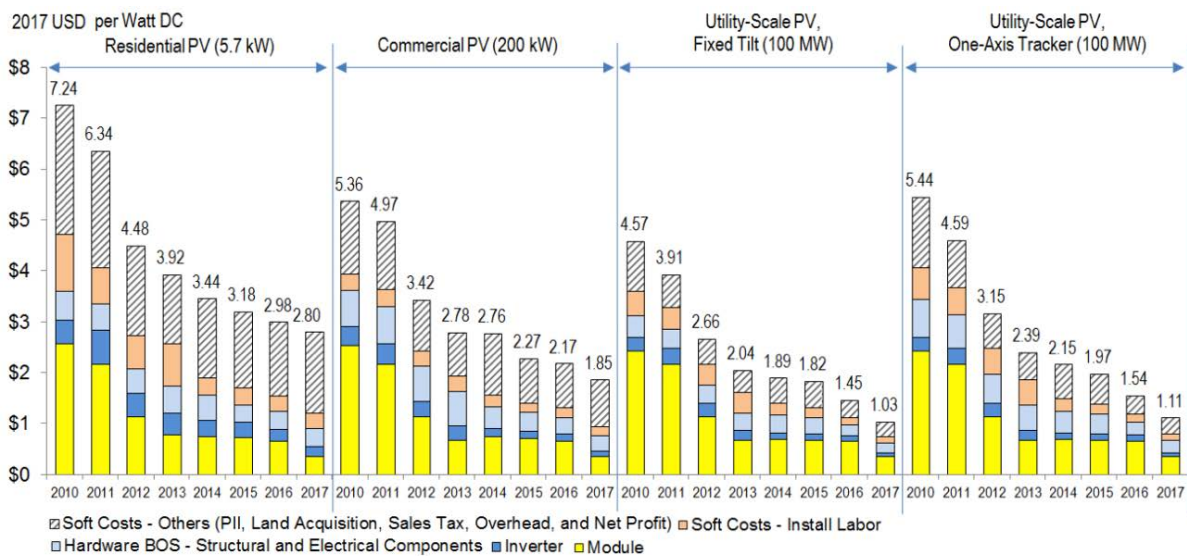
- Aumento de la eficiencia en el uso de la tierra;
- Acceso a energía eléctrica a precio económico, estabilizado y predecible;
- Ingresos adicionales, tanto por ahorro energético como por venta de excedentes de energía a la red de distribución (aplicación de Ley 20.571);
- Sinergia positiva con diversos tipos de cultivos;
- Aumento en el valor de sus tierras y activos, al desarrollar doble actividad en ellas.

Agro PV en Chile, tendencias y oportunidades

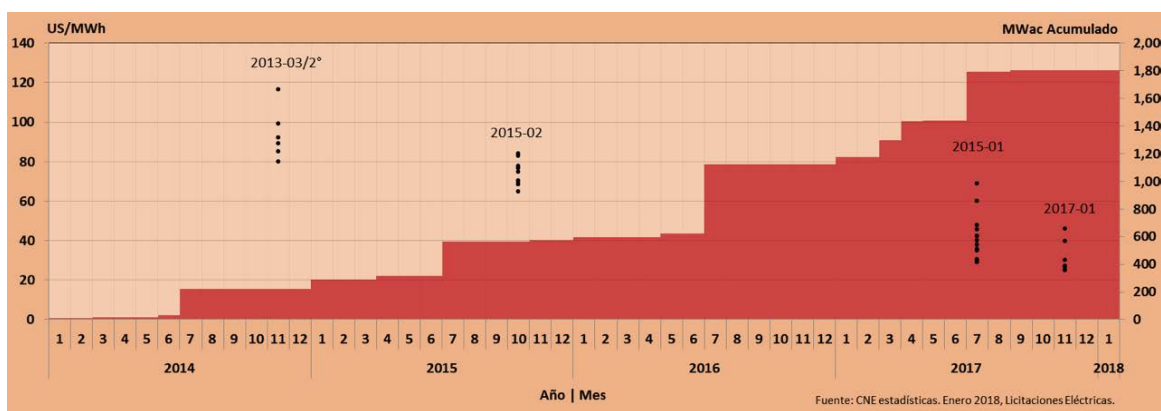
Para comprender las oportunidades y el potencial que existen a nivel nacional para desarrollar el concepto de Agro PV es necesario, en primera instancia, presentar las tendencias mundiales en cuanto a sistemas solares fotovoltaicos. Luego se identificarán los segmentos comerciales en los cuales se puede comercializar la energía eléctrica generada, y se entregarán conclusiones generales de competitividad y definición de zonas idóneas de desarrollo de sistemas Agro PV.

Tendencias

El precio de los sistemas solares fotovoltaicos está disminuyendo a nivel internacional en todos los segmentos existentes (residencial, comercial y de gran escala, ver Figura 1). Esto ha sido impulsado, principalmente, por la disminución en los precios de las tecnologías de módulos fotovoltaicos, los cuales en el año 2010 costaban cerca de 1,8 dólares por watt, mientras que hoy están cercanos a los 0,3 dólares por watt. Se espera que esta tendencia a la baja siga, pero cada vez más lento, sustentada en cambios tecnológicos y mayor madurez del mercado.



A nivel nacional, la presión a la baja de estos sistemas se ha sentido, irrumpiendo en el año 2012 las primeras plantas solares en el mercado (ver Figura 2). A la fecha totalizan más de 2,000 MWac de capacidad instalada de gran escala.



Un fenómeno importante para el concepto de AgroPV es que la disminución de los precios de los sistemas fotovoltaicos ha permitido instalar plantas cada vez más al sur, ya que la economía es atractiva y el riesgo de comercialización es menor (ver Figura 3 y Figura 4). Este fenómeno comenzará a presionar la elección de uso de los terrenos existentes en la zona central, en donde las opciones evidentes son cultivar, producir energía eléctrica u otro proyecto de construcción.

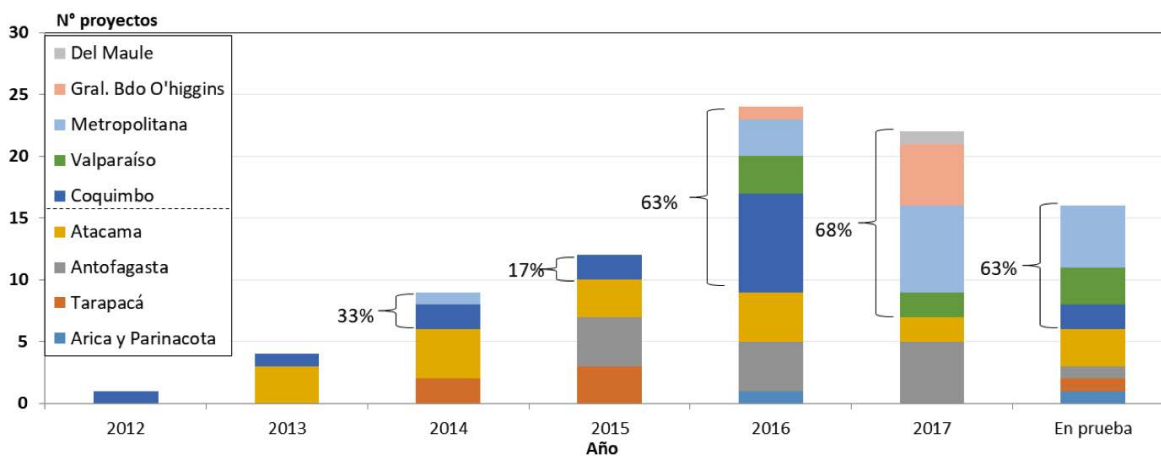


Figura 3: Distribución espacial (por región) de proyectos (número) solares fotovoltaicos de gran escala. Elaboración propia.

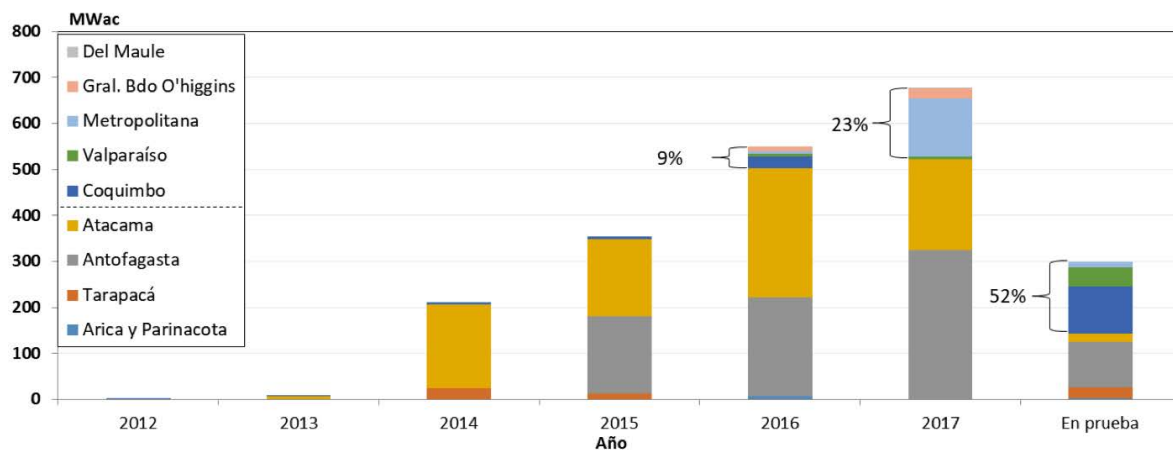


Figura 4: Distribución espacial (por región) de la capacidad instalada de proyectos solares fotovoltaicos de gran escala. Elaboración propia.

Segmentos y oportunidades

Se pueden definir tres segmentos de desarrollo de proyectos AgroPV en los cuales comercializar la producción eléctrica. La segmentación radica, principalmente, en el tamaño del proyecto y si su finalidad es para autoconsumo de energía o comercialización:

- Net Billing (Ley 20.571): Planta conectada a nivel de distribución eléctrica, detrás del medidor de un consumo sujeto a regulación de precio (capacidad instalada entre 0 y 2000 kW) de capacidad instalada menor a 100 kW .
- PMGD (con/sin inyecciones): Planta conectada a nivel de distribución eléctrica, con capacidad para inyectar excedentes de energía no superiores a 9 MWac. Bajo el umbral de 3 MWac no es necesario realizar estudios de impacto ambiental. Su esquema de comercialización de energía puede ser bajo venta al mercado mayorista spot o precio estabilizado.
Para clientes industriales de gran escala, es posible instalar una planta detrás del medidor y que no genere inyecciones. Esta puede ser superior al umbral de Net Billing.
- Gran escala: Plantas conectadas a nivel de transmisión eléctrica con capacidad instalada superior a 9 MWac y que comercializan su energía en el mercado mayorista spot.

Conclusiones y competitividad

El concepto de AgroPV encarece el proyecto particular fotovoltaico, al tener que elevar los paneles para poder obtener el doble uso de suelo (mayor precio por mayor cantidad de estructura y horas hombre asociadas al montaje). Este fenómeno debe ser analizado en las diferentes escalas y estructuras de costo que se manejan a nivel nacional. Estas son:

- Net Billing
- Techos comerciales (Netbiling o PMGD)
- PMGD
- Gran escala

A nivel de Net Billing (superior a 50 kWp), el programa de Techos Solares Públicos ha despejado precios de instalación competitivos a nivel internacional (ver Figura 5). En este programa se han adjudicado construcciones de techos solares fotovoltaicos por valores medios de 0,91 US/Wp. Considerando que los precios esperados de compra de módulos fotovoltaicos, para el periodo 2018-2019 rondan los 0,35 y 0,4 US/Wp, para inversores 0,1 y 0,2 US/Wp, estructuras 0,1 y 0,2 US/Wp y otros 0,1 US/Wp (que despeja un precio de instalación medio de 0,95 US/Wp), en el presente sería posible desarrollar sistemas AgroPV por un valor entre 1,3 y 1,5 US/Wp ..

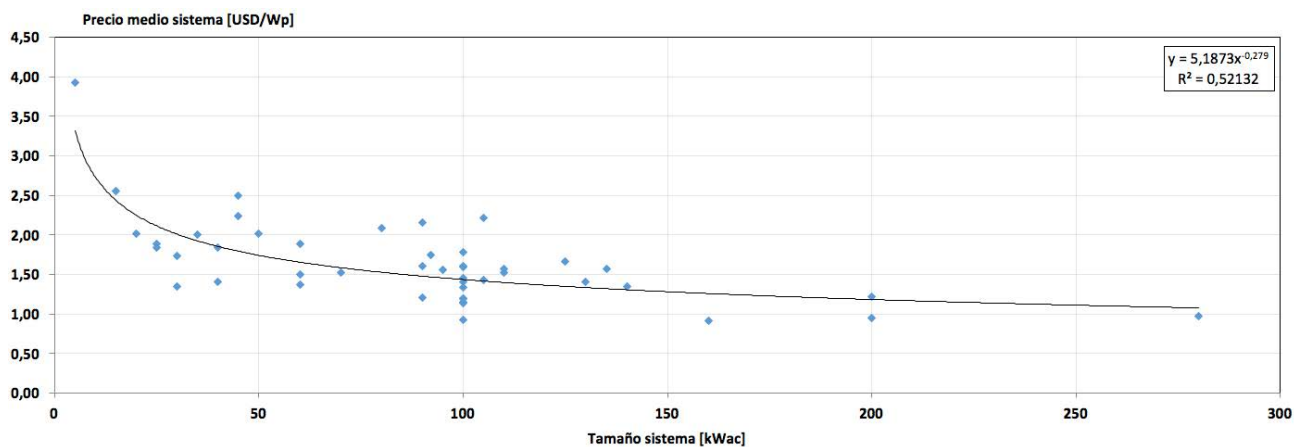


Figura 5: Dispersión de precios medios por Wdc instalado en licitaciones de Techos Solares Públicos. Elaboración propia en base a datos de Ministerio de Energía, 2017.

Con este rango de valores de inversión (1,5 US/Wp) es posible obtener un valor de electricidad que está en paridad con el de la red eléctrica a nivel de clientes regulados con tarifa AT4.3 (ver Figura 6). Durante el período 2017/2018 es esperable que los desarrolladores de sistemas comerciales fotovoltaicos tengan acceso a precios de módulos más cercanos a los 0,3 US/Wp, mejorando la economía del concepto AgroPV.

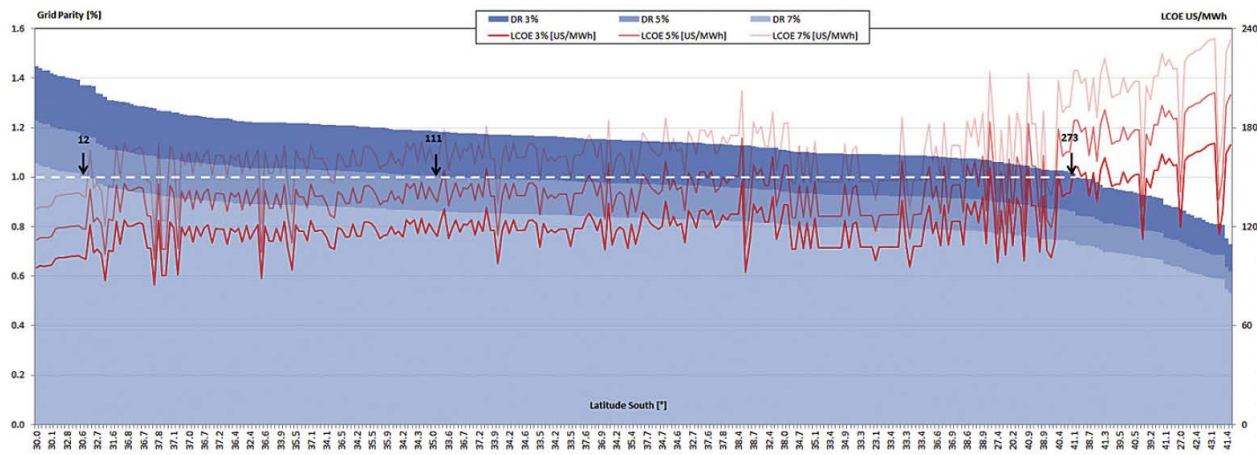


Figura 6: Índice de paridad de precio de electricidad proveniente de la red vs precio de electricidad de sistema para 300 comunas de Chile (curvas azules) para diferentes tasas de descuento. Precio de electricidad nivelado, en US/MWh para los sistemas en cada comuna analizada (rojo). Fuente Ramírez-Sagner et. al. "Economic feasibility of residential and comercial PV technology: The Chilean case", 2017. DOI: 10.1016/j.renene.2017.04.011.

Otro esquema de comercialización y desarrollo de AgroPV sería el de Pequeño Medio de Generación Distribuido, a nivel de mercado mayorista. Con este sistema se podrían vender los excedentes de producción bajo el esquema comercial de precio nivelado, el que ha sido atractivo para desarrolladores nacionales e inversionistas internacionales, alcanzando 10% de la capacidad instalada fotovoltaica nacional (PMGD).

Un proyecto PMGD-AgroPV podría beneficiarse por un menor valor de arriendo de terreno y una menor oposición social de las comunidades, ya que la única área no cultivable sería la que es utilizada por la estructura cuando llega al suelo. Un caso similar es el de los proyectos eólicos, que en principio solo utilizan el área de la base de la torre. Esta disminución de precios de arriendo y oposición social, podría activar zonas de alto valor para el desarrollo solar.

RECOMENDACIONES Y PRÓXIMOS PASOS

Plan de Seguimiento y Acompañamiento a tres Años

Fraunhofer Chile mantendrá el acompañamiento y trabajo en terreno en las tres plantas, durante un periodo de al menos 3 años a contar de la fecha de término del proyecto financiado por FIC-R. Ello implica la continuación del monitoreo de datos de producción eléctrica y variables de radiación solar, humedad y temperatura. Además, en el mismo periodo se coordinará con los tres grupos de beneficiarios, un plan de cultivos con el propósito de contar con una muestra representativa del impacto del concepto Agro PV en diversas hortalizas.

Las tres plantas piloto constituirán valiosos laboratorios en terreno, que permitirán probar diversas aplicaciones de valor agregado sobre los sistemas fotovoltaicos. Asimismo será posible desarrollar pruebas de nuevas tecnologías, tales como paneles bifaciales.

Se presentan los siguientes ejemplos, obtenidos mediante el sobrevuelo de un dron especializado en análisis de plantas fotovoltaicas, en la planta de Lampa:



Foto de sobrevuelo con dron, Planta Lampa.



Foto de prueba de análisis termográfico Planta Lampa (en tonos grises) – Tecnología de detección anticipada de fallas en paneles fotovoltaicos.

También se ha implementado un plan de monitoreo en línea de la producción eléctrica de las tres plantas, lo que permitirá contrastar la producción real de las plantas con los procesos de facturación de energía consumida e inyectada a la red, por parte de las respectivas empresas distribuidoras.

En cada planta se implementará un sistema de monitoreo de datos mejorado y de mayor robustez, que se está desarrollando a partir de la experiencia del sistema implementado durante el proyecto, lo que permitirá contar con más autonomía e información de mayor calidad.



Equipo Data Logger de tipo Industrial (administración y consolidación de datos medidos).

Comparaciones con proyecto Agro PV Alemania

En forma paralela al desarrollo del proyecto Agro PV en Santiago, Fraunhofer ISE, lidera un consorcio que desarrolla un proyecto similar en la localidad de Heggelbach, Alemania. Se trata de una planta de 194 kWp, con un diseño similar a las plantas instaladas en Santiago, lo que permitirá llevar a cabo interesantes comparaciones de metodología y resultados.



Planta Piloto Agro PV, Heggelbach, Alemania.

Aplicaciones de Valor Agregado sobre Concepto Agro PV

La generación de energía fotovoltaica mediante la aplicación del concepto Agro PV, permite proyectar diversas extensiones a desarrollos de valor agregado, que pueden introducir en la actividad agrícola mayor sustentabilidad, reducción de huella de carbono y mayores niveles de tecnología y eficiencia. Siguiendo la tendencia observada en otros sectores, tales como minería y transporte, existe un interesante potencial en reemplazar el uso de diésel en maquinaria agrícola, mediante el uso de tractores eléctricos. Diversas compañías fabricantes de maquinaria agrícola ya están lanzando al mercado modelos impulsados por baterías eléctricas, que pueden ser recargados mediante plantas fotovoltaicas de tipo Agro PV. Asimismo, Agro PV puede impulsar sistemas de riego y bombeo a gran escala.



Visión de futuro: equipo agrícola eléctrico y autónomo.

Fuente: empresa CASE – USA.

Otros Aspectos de Interés

Un desafío relevante para masificar el uso de sistemas Agro PV en la agricultura nacional, consiste en definir diseños que reduzcan el costo de las estructuras de soporte. El aprovechamiento de estructuras existentes y el desarrollo de proyectos a mayor escala en base a módulos estandarizados, son opciones que deben ser analizadas. Por otro lado, los equipos fotovoltaicos (paneles, inversores) han reducido bastante sus valores.

En cuanto a las estructuras, es interesante destacar la posibilidad de fabricar componentes, partes y piezas a nivel local. Esta es una oportunidad para maestranzas, empresas metalmecánicas o afines, que ya presten servicios a la agricultura. Además, las empresas de instalación de sistemas fotovoltaicos pueden abrir un nuevo mercado y entregar también otros servicios de mantención, (limpieza de paneles, reparaciones y revisiones menores, entre otros).

Otro aspecto de interés que surge a partir del desarrollo del concepto Agro PV es su potencial contribución a mejorar los niveles de estabilización en el servicio eléctrico rural. En zonas rurales las redes son muy extensas y su mantención es de alto costo. A su vez, los alimentadores muy extensos impactan negativamente en la estabilidad del servicio en algunas zonas. La instalación de unidades de generación fotovoltaicas distribuidas a lo largo de las redes rurales, puede contribuir a mejorar dicha estabilidad, mediante la incorporación de inversores especializados y otros componentes tecnológicos. Este aspecto será trabajado durante los próximos 3 años, en conjunto con las empresas distribuidoras de electricidad.





Fraunhofer

CHILE

FRAUNHOFER CHILE RESEARCH

Agradecemos la colaboración en este proyecto de las siguientes instituciones:

- Fraunhofer ISE
- GORE Metropolitano
- CORE Metropolitano
- Intendencia Metropolitana
- Municipalidad de Lampa
- Municipalidad de Curacaví
- Municipalidad de El Monte
- Indap
- Prodesal
- Red Genera
- CINTAC

Fraunhofer Chile Research

Avenida del Cóndor 844, Piso 3
Ciudad Empresarial, Huechuraba, Santiago
Teléfono +56 2 2378-1650

www.fraunhofer.cl