

RESOLUCIÓN EXENTA CORE N° 13 /

**SESIÓN ORDINARIA N° 006 DEL  
20.03.2012 APRUEBA PROGRAMA  
ESTIMULACION ARTIFICIAL DE  
PRECIPITACIONES PROVINCIA HUASCO  
REGION ATACAMA.**

COPIAPÓ, 23 MAR 2012

**VISTOS:** Lo dispuesto en los artículos 23, 24 letra e), 36 y 71 de la Ley N° 19.175, Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional, en la Ley 20.557 sobre Presupuestos del Sector Público para el año 2012; en la Resolución N° 1.600 de 2008, de la Contraloría General de la República;

**CONSIDERANDO :**

1.- Que, conforme consta en el Acta de los Acuerdos adoptados en la Sesión Ordinaria N° 006, de fecha 20 de marzo de 2012, el Consejo Regional de Atacama, aprobó el Programa Estimulación Artificial de Precipitaciones Provincia de Huasco Región de Atacama.

**RESUELVO :**

1.- **TÉNGASE POR APROBADO** por el Consejo Regional de Atacama, el acuerdo N° 05 de la Sesión Ordinaria N° 006 de fecha 20 de marzo de 2012, en el que se aprueba el **Programa Estimulación Artificial de Precipitaciones Provincia de Huasco Región de Atacama** por un monto de M\$ 300.000 con las siguientes condicionantes:

- Que el año próximo el financiamiento para este programa debe ser de cargo del sector privado en forma íntegra. En caso que se incorporen aportes de los privados durante el presente año, la diferencia quedaría sujeta al año venidero.
- La SEREMI de Agricultura, deberá entregar en carácter de obligatorio, un informe trimestral sobre las gestiones realizadas con el sector privado de la provincia de Huasco, hasta lograr el 50 por ciento que se precisa para el financiamiento del programa.

**ANÓTESE, COMUNÍQUESE Y ARCHIVASE**



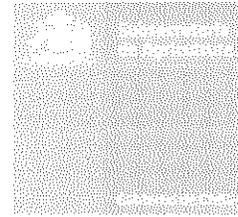
**XIMENA MATAS QUILODRAN  
INTENDENTA REGIONAL  
GOBIERNO REGIONAL DE ATACAMA**

**DISTRIBUCIÓN**

- Contraloría Regional de Atacama (c.i.)
- Jefe División Administración y Finanzas
- Jefe División Análisis y Control de Gestión
- Jefe División Planificación
- Jefe Departamento Presupuesto
- Asesoría Jurídica Programa 02
- SEREMI de Agricultura
- U.R.S. Región de Atacama
- Oficina de Partes
- Consejo Regional
- XMQ/LMOT/CZB/mbb



Gobierno Regional de Atacama



**PROGRAMA ESTIMULACION ARTIFICIAL DE  
PRECIPITACIONES  
PROVINCIA DE HUASCO  
REGION DE ATACAMA**

**Código BIP: 30122265**

**MARCELINA NÚÑEZ LEYTON**  
Secretaría Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

## I.- INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica del río Huasco está ubicada en la III Región de Atacama y se extiende aproximadamente entre los paralelos 28°30' y los 29°40' de latitud sur, con una extensión de 9.850 km<sup>2</sup>.

El río Huasco se forma en Junta del Carmen, a 90 km de su desembocadura en el mar, por la confluencia de los ríos del Tránsito que viene del NE y del Carmen del SE.

La hoya del río del Carmen o de Españoles tiene una superficie de 2.860 km<sup>2</sup>. En su límite norte se encuentra la sierra del Medio o Tatul, que disminuye paulatinamente de altura desde la frontera hasta la Junta del Carmen. Dos ríos principales y de escurrimiento permanente contribuyen a la formación del río del Carmen. Desde la cordillera baja el río Potrerillo, que confluye con el río Matancilla en la localidad de Potrerillo, para formar el río del Carmen propiamente tal. El desarrollo total del río del Carmen, desde el nacimiento del tributario más largo hasta Junta del Carmen, es de 145 km.

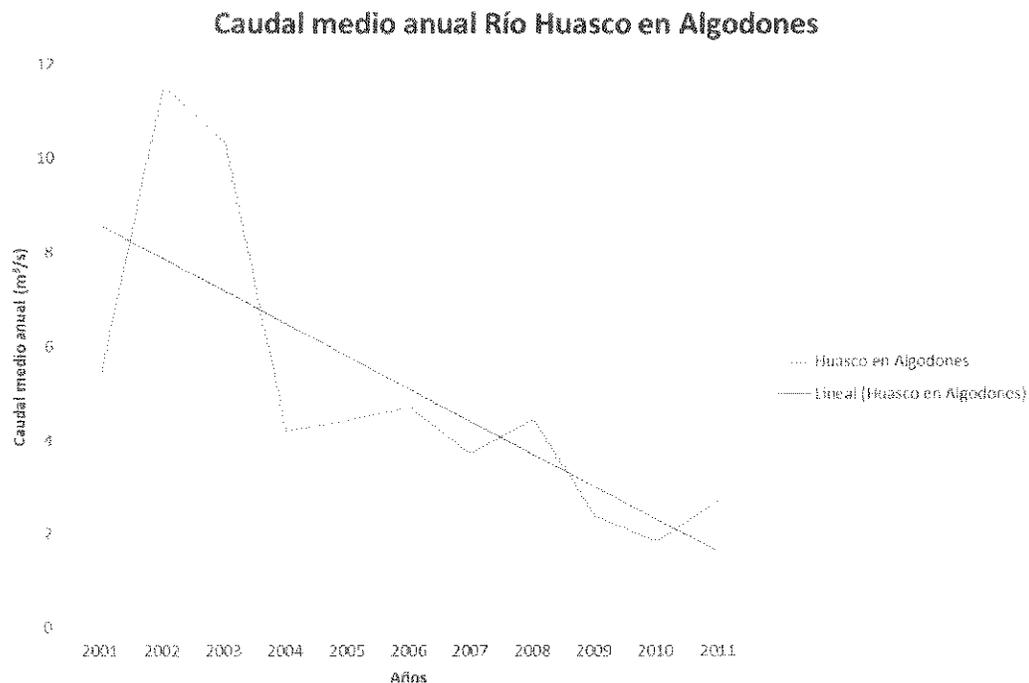
La hoya del río del Tránsito o de Naturales se desarrolla al NE y comprende una superficie de 4.135 km<sup>2</sup>. La longitud de este río tomada desde el nacimiento de su subtributario principal es de 108 km hasta la Junta del Carmen. Se forma de la confluencia de los ríos Conay y Chollay, en la Junta de Chollay, 45 km aguas arriba de la Junta del Carmen. A su vez el Conay provienen de la confluencia en plena cordillera andina, de los ríos Laguna Grande y Laguna Chica, que se generan en sendas lagunas homónimas.

Un rasgo interesante de destacar y que se repite en la mayoría de los ríos chilenos, es que la red hidrográfica del río Huasco se encuentra orientada en un sentido general sur-este a nor-oeste, de tal manera que el Huasco desemboca al mar a la misma altura que el nacimiento del río septentrional de los dos cordilleranos que lo forman. Este rasgo se atribuye a la dirección del viento que provoca lluvias, que hace que las vertientes expuestas a él reciban mayor cantidad de aguas que las protegidas, imprimiendo, en consecuencia, las primeras, su dirección a las redes hidrográficas.

Las condiciones geográficas y climáticas que marcan el desarrollo de las actividades en la cuenca del Río Huasco, han generado que la disponibilidad de los recursos hídricos

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

sea considerada una prioridad para asegurar el desarrollo regional, el bienestar de la población y la mantención de los ecosistemas relevantes.



**Gráfico 1.** Caudales medios anuales del Río Huasco en Algodones (Fuente: DGA)

En el gráfico 1, se pueden los caudales medios anuales del Río Huasco en Algodones (Estación DGA), la gráfica indica un alto nivel de variabilidad.

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

## II. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

### Hidrología Provincia del Huasco

La Cuenca del Río Huasco, cuenta con recursos superficiales y subterráneos de los cuales por su importancia se considera las aguas superficiales. En términos administrativos, la cuenca se divide en cuatro Tramos de riego, los cuales se describen a continuación:

**Primer Tramo:** Abarca todo el valle del río El Carmen, desde los nacientes hasta la confluencia con el río El Tránsito.

**Segundo Tramo:** Comprende todo el valle del río El Tránsito, incluyendo sus tributarios, desde las lagunas hasta la confluencia con el río El Carmen.

**Tercer Tramo:** Abarca la parte del río Huasco comprendida entre la Junta del Carmen hasta el puente de la Carretera Panamericana.

**Cuarto Tramo:** Comprende desde el término del Tercer tramo hasta la desembocadura del río. Cada tramo del río Huasco y sus afluentes, presenta particularidades y requerimientos específicos, que deben tenerse a la vista para planificar el desarrollo agrícola y las obras de riego, en orden a lograr un mayor impacto sobre el desarrollo de éste, la expansión y competitividad de la base productiva agropecuaria.

La distribución del agua y el suelo, dentro del Valle del Huasco, según la división Administrativa (Secciones / Tramo), se indican en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1.** Distribución del agua y el suelo.

División Administrativa			Derechos de Acciones		Superficie Agrícola	
Tramo	Sector	Comuna	Nº	%	Has	%
Primera	Río El Carmen	Alto del Carmen	976	8,28	3.565,9	27,31
Segunda	Río El Tránsito	Alto del Carmen	1.570	13,31	-	-
Tercera	Río Huasco	Vallenar	7.628	64,68	6.116,2	46,83
Cuarta	Río Huasco	Freirina - Huasco	1.619	13,73	3.377,0	25,86
<b>Total</b>			<b>11.793</b>	<b>100</b>	<b>13.059,1</b>	<b>100</b>

De los resultados mostrados en el Cuadro 1, se concluye:

- Los Tramos I y II en conjunto, disponen de poco más del 2% de los derechos accionarios y el 27% del suelo agrícola (0,71 acc/ha)
- El Tramo III posee casi el 65% de los derechos accionarios y el 47% del suelo agrícola (1,25 acc/ha)
- El Tramo IV dispone casi el 14% de los derechos accionarios y 26% del suelo agrícola (0,48 acc/ha)

En relación a los derechos de aprovechamiento, en la cuenca del Huasco se tiene:

- Derechos superficiales permanentes y consuntivos 11.793 de los cuales el 20% corresponden a Agriculturas Pequeños y Medianos.
- Derechos eventuales superficiales y consuntivos: 300 millones de m<sup>3</sup>
- Derechos superficiales no consuntivos: 150 millones de m<sup>3</sup>

MARCELINA NUÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

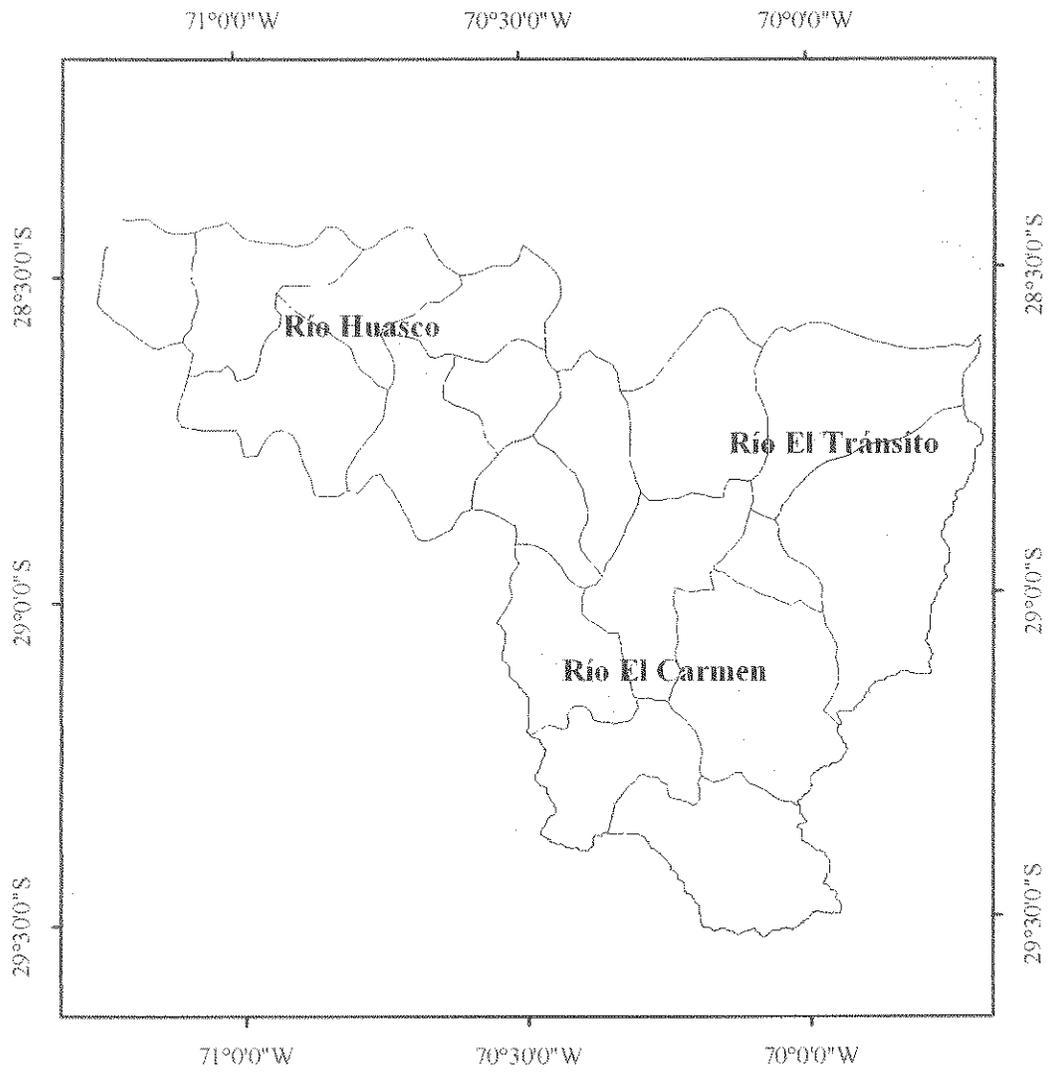
La distribución de los derechos permanentes por sección de la cuenca del río Huasco se presenta en el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 8.** Distribución de derechos permanentes y canales por tramo

TRAMO	DERECHOS	PORCENTAJE	CANALES
PRIMERA	976	8.28 %	98
SEGUNDA	1.570	13.31 %	149
TERCERA	7.628	64.68 %	45
CUARTA	1.619	13.73 %	23
<b>TOTAL</b>	<b>11.793</b>	<b>100.00 %</b>	<b>315</b>



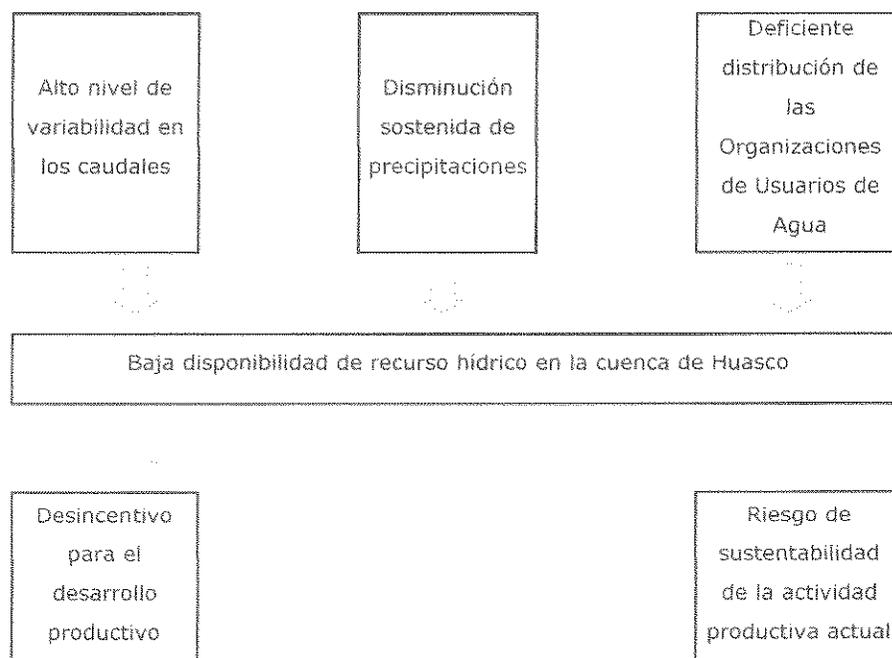
MARCELINA NUÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama



**Figura N° 2.1.** Mapa Cuenca del Río Huasco y sus afluentes.

**MARCELINA NUÑEZ LEYTON**  
Secretaría Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

## Árbol de problema



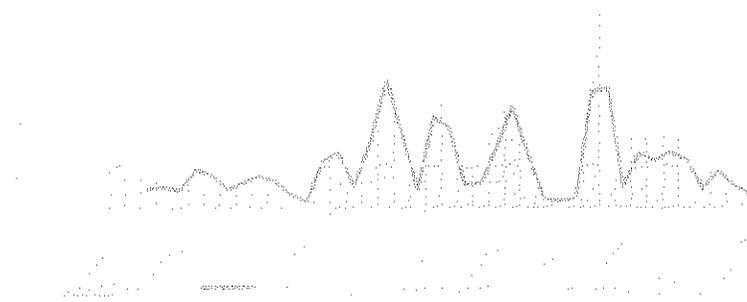
Con los antecedentes antes descritos, se deja en evidencia que el problema principal que afecta a la cuenca del río Huasco es la baja disponibilidad del recurso hídrico. Esto se debe a los siguientes factores:

Alto nivel de variabilidad en los caudales: Como se pudo ver en gráfico 1, queda de manifiesto que los caudales medios anuales, si bien tienden en general a un descenso, manifiestan un comportamiento altamente variable, lo que puede generar condiciones de inestabilidad que pondrían en riesgo las actividades productivas.

Disminución sostenida de precipitaciones: La cuenca del Río Huasco ha experimentado descensos sostenidos de precipitaciones (nivo-pluviales), que constituyen el mayor aporte al escurrimiento de este río.

Deficiente distribución de las Organizaciones de Usuarios de Agua: Si bien en los últimos años se han realizado grandes, medianas y pequeñas obras de riego, mejorando significativamente la infraestructura de riego de la Provincia, existe una operación deficiente del sistema de riego, tanto en lo que corresponde a distribución dentro de las comunidades de agua, como en la aplicación de sistemas de riego poco eficientes.

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama



Lo anteriormente descrito, genera como efecto lo siguiente:

Desincentivo para el desarrollo productivo: el escenario de disminución paulatino de los caudales del río y sus vertientes, genera un alto nivel de incertidumbre en las empresas agrícolas establecidas en la cuenca, lo que ha significado que las últimas tres temporadas la superficie agrícola se ha estancado y podría incluso verse reducida si el escenario de déficit hídrico se mantiene.

Riesgo de sustentabilidad de la actividad productiva actual: el escenario de disminución paulatino de los caudales fuente principal de agua de riego, se traduce en una disminución de la seguridad de riego, situación que afecta a todas las empresas y productores. A su vez, en ciertos sectores los caudales no son capaces de sustentar el riego, lo cual pone en riesgo su mantenimiento en el tiempo, debiendo obligadamente reducir la superficie de riego.

#### Relación con Políticas y/o Planes de Gobierno

El actual plan de Gobierno Regional de Atacama 2011-2014 contiene 7 ejes de acción dentro de los cuales el prioritario y que sustenta el desarrollo regional es el relativo a recurso hídrico. Este eje considera en particular la incorporación de nuevas fuentes de agua.

#### Identificación de Población Objetivo /Área de Influencia

La población objetivo del programa de estimulación de precipitaciones son los pequeños y medianos agricultores de la provincia de Huasco los cuales se distribuyen desde cordillera a desembocadura, concertándose a lo largo del Valle del Huasco cuya dedicación productiva corresponden en su mayoría a: uva de mesa de exportación, uva

MARCELINA NUÑEZ LEYTON  
Secretaría Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

pisquera, olivos, cultivos anuales y hortalizas. Se identifican como agricultores de menos de 20 ha de cultivo los cuales representan a 1.873 agricultores.

REGIÓN, PROVINCIA Y COMUNA	Explotaciones agropecuarias con tierra		Menores de 20		Mayores a 20 has	
	Número	Superficie (ha)	Informantes	Superficie (ha)	Informantes	Superficie (ha)
III de Atacama	2.690	3.770.278,27	2.327	7.056,23	363	3.763.222,04
Copiapó	580	1.770.077,96	435	1.568,26	145	1.768.509,70
Chañaral	24	288.946,98	19	61,95	5	288.885,03
Huasco	2.086	1.711.253,33	1.873	5.426,02	213	1.705.827,31

REGIÓN, PROVINCIA Y COMUNA	Total explotaciones		Explotaciones		Total	Sistemas de Riego			
	con tierra		informantes		superficie regada (ha)	Riego Gravitacional		Riego Tecnificado	
	Número	Superficie (ha)	Número	Superficie (ha)		Informantes	Superficie (ha)	Informantes	Superficie (ha)
III de Atacama	2.561	3.769.753,47	2.346	1.520.755,34	19.544,93	2.010	7.414,34	538	12.130,59
Copiapó	567	1.769.977,36	505	482.785,26	10.980,69	328	1.264,94	228	9.715,75
Chañaral	24	288.946,98	15	559,15	238,30	13	217,20	3	21,10
Huasco	1.970	1.710.829,13	1.826	1.037.410,93	8.325,94	1.669	5.932,20	307	2.393,74

Como señala el cuadro siguiente los principales cultivos establecidos en la región de Atacama son los frutales (incluye uva de mesa) con un 78,08% en la región concertándose en el valle de Copiapó y el valle del Huasco con 89,19% y 61,97% respectivamente. El segundo rubro de importancia son las hortalizas, que en la Provincia del Huasco representa el 15,47% de la superficie total, y en la provincia de Copiapó representa 6,17% del total de superficie de este cultivo destacan tanto los producidos al aire libre como por medio de cultivos forzados.

  
**MARCELINA NÚÑEZ LEYTON**  
 Secretaria Ejecutiva  
 Consejo Regional de Atacama

REGIÓN Y PROVINCIA	Total Superficie (ha)	Cereales %	Leguminosas y tubérculos %	Cultivos Industriales %	Hortalizas %	Flores %	Forrajes %	Frutales %	Viñas y Parronales %	Vivero %	Semillero %	Forestal %
Atacama	17.417,47	1,49	1,65	1,82	9,48	0,16	0,16	78,08	4,15	0,01	0,35	2,65
Copiapó	10.839,39	0,04	0,21	0,26	6,17	0,01	0,01	89,19	2,54	0,01	0,01	1,55
Chañaral	240,42	0,00	0,00	91,51	1,00	0,83	0,83	1,79	0,30	0,12	0,00	3,62
Huasco	8.325,94	4,04	4,17	1,07	15,47	0,38	0,38	61,97	7,05	0,01	0,95	4,50

De acuerdo al censo 2007, las hortalizas producidas al aire libre son principalmente la arveja verde (21,6%), Tomate para consumo fresco (11,7%), Ají (10,4%), Poroto verde (9,0%), Alcachofa (8,7%) y Sandía (2,9%). Todas estas Hortalizas concentran más del 77% del total de hortalizas producidas en el sector EL análisis para los cultivos forzados señala que los principales cultivos son: tomate para consumo fresco (37,9%), Ají (25,4%), Poroto verde (9,7%), Berenjena (7,2%) y el Pimiento (4,5%). Estos cultivos alcanzan aproximadamente 84,6% de todas las hortalizas cultivadas en invernadero.

Del censo 2007, se desprende que los principales frutales en formación presentes en la región con respecto a la superficie cultivada son la uva de mesa (64,4%), Olivo (21,5%), Palto (3,3%), Limonero (1,3%), Naranja (0,7%), Nogal (0,2%), Duraznero consumo fresco, Damasco, Frutilla, Mango y Peral estos últimos cinco con 0,1% cada uno. Todos estos cultivos alcanzan alrededor del 95% de toda la superficie en formación informada por el Censo equivalente a 2.343,4 has. En este caso los cultivos en formación informada como huertos caseros alcanzan una representatividad del 2,2 % y de otros frutales en formación 5,2%.

#### Resultados de experiencias anteriores.

Investigaciones y trabajos realizados durante los últimos 30 años, en cerca de 24 países demuestran que programas convenientemente diseñados y operados por profesionales competentes, pueden aumentar las lluvias en proporciones que van desde un 10 a un 15%, con la estimulación de lluvias e incluso disminuir el daño causado por el granizo en cifras que van desde un 30% a un 70%. (Referencias: 1.- Weather and Climate Modification, National Academy of Sciences Wash. Dc 1973; 2.- Hail Suppression Impact and Issues, Report to National Science Foundation, Illinois State Water Survey and Urbana, 1977).

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

Las inquietudes relacionadas con tratar de modificar el tiempo atmosférico en nuestro país se remontan a los años de la década del 60, en que el Ministerio de Agricultura realizó las primeras experimentaciones, dándole preferencia a la I región, con el Programa META (Modificación Experimental del Tiempo Atmosférico). Posteriormente se trabaja en las regiones III y IV.

Este Programa se basa en la aplicación de yoduro de plata, aplicado desde una aeronave, aprovechando las condiciones climáticas que se presentan en época de "verano altiplánico" durante los meses de Febrero – Marzo de cada año. Es así como las inducciones se mantuvieron entre los años 1968 y 1972.

En la década del 70 nuevamente y asesorados por norteamericanos, se vuelve a reiniciar el programa, con la participación de profesionales ingenieros agrónomos y meteorólogos, por un periodo de 4 años, financiados por el Ministerio de Agricultura.

En la última década del siglo recién pasado La Comisión Asesora del Presidente de la República, para la Sequía, y la Unidad de Emergencias Agrícolas del MINAGRI, secundada por particulares y FNDR, comparten responsabilidades y financiamiento de Programas de Inducción de lluvias por medio de aeronaves y también por quemadores terrestres.

### **III. ESTRATEGIAS DE INTERVENCION Y DETERMINACION DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA**

De acuerdo a los estudios bibliográficos y de expertos en el tema, se han determinado que existen tres alternativas para poder aumentar la disponibilidad de recursos hídricos en una Cuenca.

1. Recargar artificialmente los acuíferos
2. Aumentar la disponibilidad de oferta de agua mediante la desalinización de agua de mar
3. Estimular artificialmente para que aumenten las precipitaciones en el sector hídricamente con problemas.

De acuerdo a los análisis y evaluaciones anteriores realizadas bajo el contexto de la Comisión Regional de Riego y el Comité Regional de Emergencia Agrícola, se ha establecido que de estas tres alternativas, la única que presenta un mediano nivel de

factibilidad corresponde a la estimulación de precipitaciones. El detalle de cada una se indica a continuación:

### **1. RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS:**

La recarga artificial de un acuífero, es un método de gestión hídrica que permite introducir agua en los acuíferos subterráneos (en general, agua de buena calidad y pre tratada, aunque ha habido varias experiencias de recarga con aguas residuales). Una vez almacenada en estos, puede ser extraída para distintos usos (abastecimiento, riego, etc.) frenar la intrusión marina, contaminación y otros usos.

El agua puede proceder de ríos, depuradoras, escorrentía urbana, desaladoras o humedales entre otros orígenes, es introducida al acuífero mediante zanjas, balsas, pozos, sondeos de inyección, etc., generalmente en invierno. Esta agua es almacenada en el acuífero en cantidad superior a lo normal, y sigue su circuito natural subterráneo, depurándose durante un periodo de tiempo variable. Más tarde es extraída y empleada para diferentes usos como abastecimiento y regadío, generalmente con una calidad adecuada.

Esta técnica es considerada una actividad capacitada para provocar un impacto ambiental (positivo o negativo) sobre la cantidad y la calidad de las masas de agua.

En el caso del Valle de Huasco, esta alternativa no presenta justificación dado el bajo nivel de desarrollo que existe en la explotación de aguas subterráneas.

### **2. DESALINIZACION (DE AGUA DE MAR):**

La desalación consiste en separar la sal del agua. Por ejemplo el agua del mar que antes no se podía explotar se puede hacer potable mediante técnicas de desalación y utilizarse para el abastecimiento humano, agrícola o industrial. Las plantas desalinizadoras o desaladoras son instalaciones industriales destinadas a la desalinización

Las plantas desalinizadoras de agua de mar han producido agua potable desde hace muchos años, pero el proceso es algo costoso y hasta hace relativamente poco sólo se han utilizado en condiciones extremas. Actualmente existe una producción de más de 24 millones de metros cúbicos diarios de agua desalada en todo el mundo, lo que supone el abastecimiento de más de 100 millones de personas.

  
**MARCELINA NÚÑEZ LEYTON** 12  
Secretaría Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

Las plantas desalinizadoras también presentan inconvenientes. En el proceso de extracción de la sal se producen residuos salinos y sustancias contaminantes que pueden perjudicar a la flora y la fauna. Además, suponen un gasto elevado de consumo eléctrico. Con el fin de evitarlo, actualmente se están realizando estudios para construir plantas desalinizadoras más competitivas, menos contaminantes y que utilicen fuentes de energía renovables.

En la actualidad, en la Región de Atacama, existen 6 proyectos de desaladoras (2 aprobadas), las cuales en su conjunto pudieran aportar más de 3.000 litros/segundo.

Sin embargo, los costos de esta agua desalada son demasiado altos para el sector agrícola, dado que los márgenes por ventas que obtiene este sector no les darían para poder ocupar en su producción (intensiva en uso de agua) agua desalada.

### **3. ESTIMULACION ARTIFICIAL DE PRECIPITACIONES**

La siembra de nubes (o estimulación artificial de precipitaciones) es quizás la única tecnología, fuera de la desalinización del agua de mar o la importación de agua desde otras cuencas, que tiene el potencial de aumentar la cantidad de agua disponible en la Cuenca del Río Huasco.

Con esta última técnica se ha demostrado la posibilidad de influir en la microestructura de las nubes, creando artificialmente algunos sistemas naturales tales como niebla, capas de nubes y cúmulos, utilizando además simulaciones de modelos numéricos para su posterior verificación mediante mediciones físicas.

En la actualidad se llevan a cabo más de cien proyectos de modificación artificial del tiempo en decenas de países, en particular en regiones áridas y semiáridas, donde la falta de suficientes recursos hídricos limita la capacidad de estas regiones para satisfacer la demanda de alimentación y energía.

Sin embargo, cabe señalar que para que estos experimentos funcionen y se tenga una siembra efectiva de nubes mediante cualquier proceso, es necesario contar con las características meteorológicas apropiadas (nubes, temperatura, agua sobre enfriada, etc.). Si no se tienen estas condiciones, no tiene sentido realizar la estimulación, ya que no se conseguirán los resultados esperados.

  
**MARCELINA NUÑEZ LEYTON** 13  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

Un experimento bien planificado, permanente en el tiempo y rigurosamente efectuado, debería arrojar resultados favorables, consiguiendo incrementos del orden de un 5% a un 25% sobre lo que hubiese caído en forma natural. En países de avanzado desarrollo tecnológico, se ha calculado que el porcentaje promedio de ganancia obtenido con estos programas es de un 10%, que la precipitación que se obtendría sin sembrar (comprobada mediante métodos estadísticos o midiendo directamente la cantidad de yoduro de plata en la precipitación).

#### **DETERMINACION DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA:**

Al realizar un análisis de estas tres alternativas (recarga artificial, desalinización y estimulación de precipitaciones), para efectos de esta iniciativa, y dado que las alternativas N° 1 y N° 2 se encuentran abordadas por diferentes actores, nos inclinaremos por presentar la N° 3 (Estimulación Artificial de Precipitaciones) como la óptima.

En los últimos 60 años, se llevaron a cabo y continúan en distintos lugares del mundo, numerosos programas operativos de siembra de nubes, con el objeto de aumentar la cantidad de precipitaciones para proveer agua adicional a empresas hidroeléctricas, municipios, recarga de acuíferos subterráneos para posterior uso agrícola, o también para obtener mayor acumulación de nieve en centros de esquí. Usualmente una red de generadores terrestres ó aéreos liberan partículas de yoduro de plata o propano líquido las que son arrastradas por los vientos predominantes para incrementar el crecimiento de gotas y/o cristales de hielo en las nubes a sembrar. Simultánea o alternadamente, según las condiciones climáticas, aviones equipados con generadores aéreos de Ioduro de plata, bengalas y cartuchos eyectables de yoduro de plata siembran las nubes con el mismo objetivo. Todos estos procedimientos deben ir acompañados de un componente científico para asegurar la mayor eficiencia de las operaciones y para dar sustento creíble a las operaciones.

La tecnología actualmente disponible referida a los avances en el conocimiento de los procesos físicos de la formación de la lluvia, ha permitido modificar la tradicional idea que las variables atmosféricas eran inmanejables y solamente debían soportarse de la mejor forma posible. Afortunadamente, han surgido tecnologías que han puesto en la mano del hombre la posibilidad de aumentar el recurso hídrico, interviniendo el ciclo hidrológico en la fase de la precipitación.

MARCELINA NUÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

Las nubes están formadas por gotitas microscópicas de agua y cristales de hielo, los que por su escaso peso, no pueden vencer la atracción que existe entre ellos y caer a tierra. Para la formación de sólo una gota de lluvia, hace falta que miles de estas gotitas se unan para adquirir el peso suficiente y caer a tierra por gravedad.

Las gotitas microscópicas no logran unirse unas con otras por sí solas. Es necesaria la presencia de una partícula sólida, alrededor de la cual las gotitas comienzan a adherirse formando una gota de lluvia. Estas partículas están presentes naturalmente en la atmósfera, en forma de sales, polvo, humo, etc. Son conocidas como "núcleos de condensación".

La estimulación de precipitaciones interviene en este punto del ciclo del agua, aumentando artificialmente la cantidad de "núcleos de condensación" al interior de la nubosidad. Con ello se logra aumentar la cantidad de gotas de lluvia y, por consiguiente, incrementar la cantidad de precipitación que llega a tierra, como se muestra en la figura de arriba

El núcleo de condensación o "nucleante" más utilizado es el Yoduro de Plata, (Ag.) el que, además de servir para multiplicar el proceso de coalescencia, cumple con otra importante función como es la de congelar las partículas de agua "sobreenfriadas", es decir, partículas que se mantienen en estado líquido a pesar de estar a temperaturas bajo los 0°C. Este cambio de estado (líquido a sólido), libera el calor latente de condensación a la atmósfera, produciendo un calentamiento en la nube y aumentando su inestabilidad, haciendo que las corrientes ascendentes de aire dentro de ellas la haga crecer, principalmente en la vertical. Ello conduce a una intensificación general de la actividad tormentosa en la nubosidad, y a un aumento de la precipitación que cae de ella.

Una característica fundamental de los eventos de mal tiempo es que están asociados a una extensa área de baja presión. Las bajas presiones se caracterizan por tener intensas corrientes ascendentes de aire. Esta característica es aprovechada por la técnica de siembra de nubes mediante generadores terrestres, ya que son estas corrientes ascendentes las que se encargan de transportar el nucleante (Ag.) desde la superficie terrestre al interior de la nubosidad en pocos minutos, alcanzando los niveles propicios de temperatura para desarrollar el máximo de potencialidad del sistema.

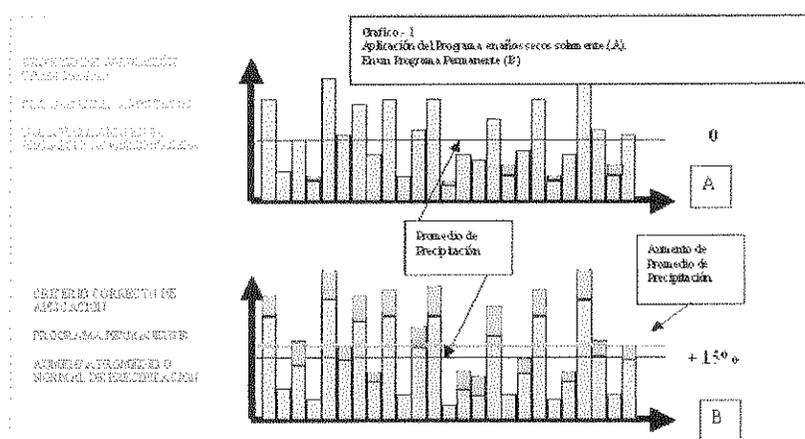
Cada gramo de Yoduro de Plata, aporta 10 elevado a 13 núcleos de condensación. Con la introducción en la nubosidad de esta enorme cantidad de núcleos extras, se obtiene

  
MARCELINA NÚÑEZ LEYTON<sup>5</sup>  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

un incremento promedio de precipitación del orden de **10 a 15%**, dependiendo de muchos factores, como lo son la oportunidad de la siembra, el grado de actividad de los sistemas nubosos, la intensidad de las corrientes ascendentes, la cantidad de agua sobreenfriada presente en la nubosidad, etc.

El éxito de esta técnica radica en su continuidad y permanencia en el tiempo. Si se considera que la estimulación de lluvias consiste en generar un porcentaje extra de precipitación a la que caerá en forma natural, lógicamente esta cantidad extra de agua será proporcional al agua que naturalmente caería.

Dentro de la gran variabilidad que presenta el parámetro de la precipitación, la aplicación permanente y continua de un programa de estimulación, dará como resultado que los años secos no lo sean tanto, y que los porcentajes extras de lluvia que se obtengan en los años lluviosos sirvan de respaldo para futuros años secos, ya sea en como nieve en las altas cumbres, incremento de las aguas subterráneas o en forma artificial cooperará al llenado de embalses, tranques o represas.



Tal como se muestra en el gráfico anterior, es un error utilizar la siembra de nubes como un programa esporádico, a ser empleado solamente en años secos, pues la cantidad de agua extra obtenida será un reflejo de la que naturalmente cayó, y si ésta es escasa, también lo será el agua adicional lograda.

Un programa de estimulación de precipitaciones con fines operativos, es decir orientado a obtener la mayor cantidad posible de agua extra, dejando de lado los innumerables sistemas y métodos de comprobación de resultados del mismo, todos los cuales necesariamente implican mayor gasto por una parte y dejar de estimular algunas áreas o algunos eventos por otra, debiera aplicarse en forma permanente y continua, para efectivamente elevar entre un 10 a 15% la normal pluviométrica del lugar. (Las

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
 Secretaria Ejecutiva  
 Consejo Regional de Atacama

normales pluviométricas se calculan en base a 30 años de mediciones, período lo suficientemente largo como para absorber la marcada variabilidad natural de la precipitación).

El presente proyecto trabaja bajo la hipótesis de que la metodología de siembra de nubes en la Región de Atacama, Provincia de Huasco, con el objeto de incrementar sus precipitaciones, está lo suficiente comprobada y aceptada por la comunidad científica internacional, para aplicarlo a una zona como experiencia para mitigar los problemas que provoca la falta de agua.

La región de Atacama se caracteriza por un clima semiárido y por la presencia de desiertos.

Vallenar, es la capital de la provincia de Huasco, con una población actual de 43.750 habitantes.

La cuenca del Río Huasco al igual que distintas zonas del mundo están sufriendo sequías prolongadas que se manifiesta en un régimen de precipitaciones decrecientes en los últimos años; en razón de ello, los niveles de agua del citado río han disminuido paulatinamente hasta llegar a niveles críticos últimamente.

En distintos lugares del mundo se aplican desde fines de la década del 40 del siglo pasado tecnologías de modificación de clima para mitigar los efectos de estos fenómenos meteorológicos.

Esta actividad, es muy poco informada y entendida por el público en general y escasamente difundida en institutos de enseñanza. El término en sí mismo se usa equívocamente ya que muchas personas creen que implica alteración de los parámetros meteorológicos en gran escala o aún peor, control del tiempo. Nada de eso es cierto. Lo que en realidad se hace es sembrar nubes individuales, generando un cambio en la estructura microfísica de las nubes, y en algunos casos hasta en la termodinámica de las mismas. Por eso, quizá sea mejor emplear el término "modificación de nubes". La ciencia de la siembra de nubes, trata especialmente de microfísica y termodinámica de las nubes, tema que para ser tratado con la seriedad científica adecuada requiere un entrenamiento específico.

  
MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

El correcto estudio, investigación y aplicación del método a la región en cuestión, podría incrementar en forma eficaz las precipitaciones del lugar, reduciendo los inconvenientes que producen el impacto negativo de carencia de agua.

La siembra de nubes no cambia los lugares de formación de nubes, su desplazamiento o donde se disipan. Los programas de siembra de nubes cuando son realizados correctamente, lo único que hacen es alterar la *cantidad de precipitación*, y algunas veces el lugar *donde* se produce.

#### **IV. IDENTIFICACIÓN DEL PROGRAMA**

**NOMBRE:** PROGRAMA ESTIMULACION ARTIFICIAL DE PRECIPITACIONES

**LOCALIZACIÓN:** PROVINCIA DE HUASCO

**INSTITUCIÓN RESPONSABLE:** SUBSECRETARIA DE AGRICULTURA

**INSTITUCIÓN EJECUTORA:** SEREMI DE AGRICULTURA REGION DE ATACAMA

**OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS/APORTE DE TERCEROS:**

- Junta de Vigilancia del Río Huasco y sus Afluentes
- Asociación de Productores de uva de mesa de Alto del Carmen (APAC)
- AGROSUPER
- Guacolda
- ENDESA
- CAP
- Compañía Minera Nevada
- Minera El Morro
- Transportes Tamarugal

**DURACIÓN:**

El Programa de Estimulación, tendrá como horizonte de vida 3 años, y sus resultados se evaluarán anualmente, con el objetivo de perfeccionar su aplicación y gestionar su continuidad en el tiempo. Para esta etapa sólo se presenta por un año de operación

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama 18

debiendo renovarse el convenio de transferencia una vez realizada la evaluación técnica y de impacto del programa anual para el 2012.

## **OBJETIVOS:**

### **Objetivo General**

Generar un aumento en la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca del valle de Huasco, en beneficio de los diversos sectores productivos mediante la estimulación de precipitaciones.

### **Objetivos Específicos**

- 1) Caracterizar la dinámica atmosférica de la región, microfísica de nubes y procesos de precipitación; mediante investigación atmosférica, realizando mediciones terrestres y aéreas.
- 2) Incrementar las precipitaciones de lluvia en la región de producción del Valle de Huasco, mediante siembra de nubes aérea y terrestre.
- 3) Incrementar las precipitaciones níveas en la cuenca del Río Huasco realizando siembra de nubes en laderas circundantes, cuyos deshielos/derretimientos desembocan en esa cuenca.

## **DESCRIPCION DEL PROGRAMA:**

La forma principal de sembrado para este Programa consistirá en el empleo de un avión equipado con instrumentos de navegación GPS. Se deberán utilizar tanto generadores de acetona-yoduro de plata como portabengalas de yoduro de plata por goteo. Los portabengalas se emplearán con el objeto de lograr una respuesta dinámica en el sembrado de nubes cumulus.

Los portabengalas de yoduro de plata se dejarán caer en nubes cumulus apiladas, alcanzando un nivel de  $-5^{\circ}\text{C}$  (5,5 km, aproximadamente) mediante este procedimiento.

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaría Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

A su vez, los generadores de acetona-yoduro de plata se emplearán en formaciones más estratificadas de nubes, con el objeto de lograr una respuesta de sembrado estática.

También se podrán utilizar en este programa generadores terrestres de yoduro de plata. Las operaciones de sembrado aéreo de nubes se realizarán de día solamente. Como centro de las operaciones del programa tanto para uso del radar meteorológico y el avión deberán operar desde el Aeropuerto Desierto de Atacama.

Para investigar los resultados del programa de sembrado de nubes se deberá utilizar una técnica de evaluación de objetivo/control. Mediante la misma es posible recolectar datos de las precipitaciones en las áreas objetivos y cercanos. Tales datos se obtienen a partir de un período histórico anterior a cualquier sembrado de nubes.

### **SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE RESULTADO:**

Medios de seguimiento e indicadores de impacto:

Se necesitará una serie de equipos, la recopilación de información e instrumentación especializado para efectuar el programa de siembra artificial de nubes. Los distintos tipos de equipos (indicados en detalle en ítem presupuesto) u observaciones incluirán mecanismos de siembra, medios de comunicación, información y observaciones usadas en tiempo real para adoptar decisiones de siembra y observaciones usadas después de los hechos para evaluar la efectividad del programa de siembra.

Existen tres usos principales de o justificaciones para la incorporación de mediciones meteorológicas o instrumentación:

- Nos ayudarán a dirigir mejor el material de siembra,
- Nos permitirán reconocer mejor en tiempo real las oportunidades de siembra,
- Nos entregarán los medios para ayudarnos a evaluar la efectividad de las operaciones de siembra.

Además de una variedad de información y observaciones públicas serán útiles para la toma de decisiones en tiempo real en estos programas. Las observaciones meteorológicas (en la superficie y la atmósfera superior), las previsiones meteorológicas, las advertencias meteorológicas, los gráficos de pronósticos y fotos

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON<sup>20</sup>  
Secretaría Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

satelitales (tanto visibles como de infrarrojo) son todas herramientas útiles. Esa información puede obtenerse fácilmente en internet desde distintos sitios web y, por lo tanto, está a disposición del programa sin costo.

Los radares meteorológicos (incluido dentro de lo solicitado en el Programa) entregan información muy útil en términos de toma de decisiones en tiempo real respecto de programas de siembra de nubes operacionales. Los radares que se instalan específicamente para apoyar los programas de siembra de nubes se usan más comúnmente cuando en un programa se usan aeronaves para sembrar las nubes (como es nuestro caso).

Debería cumplirse con los registros de cada operación de siembra, incluyendo las trayectorias de vuelo de la aeronave y las horas y lugares de siembra, gráficos meteorológicos, informes meteorológicos superficiales, e informes de precipitaciones.

Las evaluaciones de la efectividad del programa de siembra de nubes deberían basarse en técnicas de objetivos históricos y control que utilicen información de caudal de agua.

El operador del programa debería preparar un informe, después de finalizada cada temporada de operaciones. Este informe debería entregar un resumen de las personas y los equipos utilizados en el programa, registros de operaciones de siembra, incluyendo trayectorias de siembra de la aeronave, copias de datos obtenidos durante el periodo de operaciones, una evaluación de los efectos aparentes de la siembra y recomendaciones para cualquier perfeccionamiento del programa.

Para poder medir la efectividad deberá basarse en los flujos anuales de agua promedios del Río Huasco en Algodones (desde el año 1994 al 2011). El flujo medio anual en este lugar es de 6,34 m<sup>3</sup>/seg. El aumento estimado de este promedio debido al programa de siembra de nubes, suponiendo un aumento como mínimo de un 10%, sería de 0,634 m<sup>3</sup>/seg. Este valor resultaría en 19,993,824 m<sup>3</sup> por año hídrico (0,634 m<sup>3</sup>/seg x 60 seg/min x 60 min/hr x 24 hr/día x 365 días/año).

Los cálculos anteriores sólo consideran el potencial aumento del agua superficial. Probablemente, también aumentaría el agua que fluye al acuífero subterráneo, sin embargo, esto sería marginal para el Huasco dado la baja

Se deberá proveer de un software de análisis de información recolectado por el avión de investigación, que será usado para examinar y resumir las características de aerosoles

y estructura de nubes observadas durante el proyecto. El procedimiento para el análisis de información incluye la generación de gráficos para investigar la relación de ciertas propiedades microfísicas claves.

#### Radar Meteorológico

Para que el programa propuesto sea eficiente y actual, es preciso disponer de la infraestructura de investigación y operación apropiada, con radar de moderna tecnología y el diseño de un programa donde la evaluación de los resultados de siembra sea un componente importante del mismo; estos son componentes esenciales para asegurar la rentabilidad de la inversión y el éxito del programa.

Se sugiere instalar un Radar Meteorológico Banda C actualizado en sus componentes de radiofrecuencia y electrónica, con un alcance radial de 200 km. La capacidad de almacenamiento de información y visualización histórica permite analizar en detalle las operaciones post-vuelo.

#### Estimación Preliminar de relación Costo – Beneficio

Según estimaciones, por analogía con otros proyectos de similares características en Texas, Utah, Wyoming, Australia, los caudales estimados representarían una relación aproximada de 1:1,5 hasta 1:28. Las mejores relaciones costo-beneficio, se obtienen cuando se opera siembra aérea y terrestre.

Revisando algunas fuentes como el informe presentado en el proceso de Evaluación Ambiental del Proyecto Minero Caserones (Gestión Ambiental Consultores, 2009) se destaca lo siguiente sobre efectividad de los programas de precipitaciones.

- "Varias sociedades profesionales declaran ahora que la precipitación en invierno en áreas montañosas puede aumentarse del orden de un 10%. Existen evidencias precisas de los efectos positivos de la siembra de nubes para aumentar las reservas de aguas en el oeste" (Griffith y Solak, 2006)
- Los mismos autores, refiriéndose a programas implementados en Estados Unidos manifiestan lo siguiente: "Se han realizado varios programas de siembra de nubes invernales en las Montañas de Sierra Nevada de California, a principios y mediados de los años 1950 en un par de casos y a principios de los años de 1960 en varios otros casos. También, se han llevado a cabo programas de

siembra de nubes invernales durante algunos años en parte de Colorado, Utah, y Wyoming. Por ejemplo, los programas en Utah remontan al año 1974. Las estimaciones de los efectos sobre las precipitaciones indican normalmente aumentos estacionales del orden del 5% al 15%." (Griffith y Solak, 2006)

- Respecto a la efectividad, también existen experiencias en Australia, en donde el programa de estimulación de precipitaciones de Tasmania Occidental corresponde a uno de los que ha sido evaluado en forma más exhaustiva (SGS, 2008).
- En este programa, de acuerdo a lo mencionado por Bigg y Turton, 1988, la variabilidad de las precipitaciones es uno de los factores más complejos para medir la efectividad de este tipo de programas, por lo que es recomendable hacer una evaluación sobre la base de al menos 100 días "sembrados"
- En la situación mencionada, en el caso de este programa se ha logrado determinar un 10% de incremento en las precipitaciones que podría ser dado por la siembra de nubes.
- Es importante mencionar que este programa australiano ha identificado como una de las variables más importantes en la efectividad de la siembra a lo que podríamos denominar "Contenido de Agua Líquida" de una nube, esto no es otra cosa que la determinación que este tipo de programas nos permitiría estimular sistemas de nubes que tienen condiciones favorables para el desarrollo de precipitaciones, aumentando su aporte al balance hídrico de una cuenca.

Por otro lado, una de las variables más sensibles para la efectividad del proceso de denominado "Siembra de Nubes" corresponde a la temperatura a la que se encuentran aquellas formaciones nubosas a estimular, tal como mencionan Gagin y Neumann, 1981; Grant y Elliot; 1974; Cooper y Lawson, 1984 "También hay indicaciones de que existe un límite de temperatura cálida a la efectividad de la siembra". Esto indica, citando a la misma fuente, que existe "ventana de temperatura" alrededor de los  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $-25^{\circ}\text{C}$ , donde las nubes responden favorablemente a la siembra de yoduro de plata (es decir, muestran una capacidad para ser sembradas).

Finalmente, el Desarrollo continuo de un programa de estimulación de precipitaciones debe ser considerado como una opción, ya que esta continuidad permitirá la implementación de un sistema que permita cuantificar efectivamente la efectividad de

este tipo de programas, al menos 5 años permitirían llevar a cabo una evaluación proceso de estimulación de lluvias en el aporte de nuevos recursos hídricos (INIA, 2009).

Debemos dejar claro que estas son *estimaciones a priori*, no constituyen un compromiso de éxito seguro, ya que hace falta un cúmulo importante de información a ser analizada, que no está disponible, pues no tenemos información que se hayan realizado mediciones científicas en la zona, que puedan ser aplicadas a un estudio de factibilidad. Además, el comportamiento de las masas nubosas es imposible de predecir exactamente en laboratorios o modelos.

Tratándose de microfísica de nubes, si bien se pueden hacer pronósticos, nunca se puede determinar exactamente el comportamiento de las masas atmosféricas a nivel sinóptico y meso-escala con anticipación, por ende tampoco el resultado exacto de la siembra de nubes.

Los beneficios que puede aportar el programa son: incremento de actividad y disminución de pérdidas en sectores agrícolas, ganaderos, fruti-hortícola, turismo y recreación, aumento de masa crítica del conocimiento tecnológico, no fueron tomados en cuenta para este cálculo, pero constituyen un factor de peso a considerar.

#### Beneficios adicionales:

La implementación del programa traerá asociado a la región una serie de beneficios adicionales – aunque no son los únicos - que podemos enumerar a continuación:

- Transferencia de conocimientos y tecnologías al SEREMI de Agricultura
- Estudio climatológicos completos y caracterización de las nubes
- Estudios hidrológicos.
- Recursos acuíferos.
- Actualización e incremento de estructuras para toda aplicación meteorológica y de calidad de aire.

Un continuo seguimiento del programa con herramientas tecnológicas de punta, permitirá presentar una relación real, luego del primer año de operación, relación que será actualizada año a año.

  
MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

## Consideraciones Ambientales

Standler y Vonnegut (1972) dieron datos de concentración de Yoduro de plata en precipitación causada por siembra, demostrando que la misma, basados en documentación médica y meteorológica, es extremadamente baja y no significa peligro para la salud humana. Sokol y Klein (1975) investigaron el suelo en los alrededores de un generador de Yoduro de Plata en el Park Range de Colorado, e indicaron que la concentración de Yoduro de plata no debería afectar al ambiente microbiano de la zona. Pese a ello recomendaron monitoreo de las áreas sujetas a siembra con Yoduro de plata por largos períodos, para mayor certeza.

Se pueden citar una cantidad importantes de estudios de factibilidad como: British Columbia Hydro (Boe at al. 2001); Frank (1973) de Colorado; Weaver y Super (1973) y Weaver (1974) al sudoeste de Montana, USA. Weaver (1974); Weaver y Collins (1977); Cooper y Jolly (1969; Knight et al. (1975); Steinhoff e Ives (1976); Harper (1980); Smith y Berg (1979); Howell (1977).

Toda la evidencia disponible demuestra que el impacto ambiental del proyecto es manejable y estará por debajo de cualquier exigencia ambiental existente. Las mediciones indicaron una presencia de 0,1 microgramo de Yoduro de Plata por litro en agua precipitada luego de siembra, siendo que el umbral inferior permitido para consumo humano, según la EPA (Environmental Protection Agency, USA), es de 15 microgramos por litro. Sin embargo es recomendable tomar los recaudos necesarios para monitorear la presencia de agentes residuales de la siembra de nubes en el medio ambiente previo a las operaciones, y luego de las precipitaciones, en la zona de siembra y de precipitación.

## **V. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

El programa deberá ser aplicado en la provincia de Huasco, región de Atacama, a partir del año 2012, el cual consistirá en la estimulación de precipitaciones a través del proceso de siembra de nubes.

El programa deberá ser ejecutado por un operador que demuestre capacidades profesionales, técnicas y de equipamiento necesario para su adecuado funcionamiento. A su vez la Subsecretaria de Agricultura velara por la correcta administración del programa para lo cual se conformara un equipo técnico de a lo menos 3 representantes de las entidades de financian el programa quienes visaran los informes técnicos y

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

financieros para proceder a los pagos respectivos del operador en base a lo contenido en el contrato a suscribir entre el proveedor y la Subsecretaria de Agricultura.

La fecha de inicio de las etapas puede ser modificada con un margen de 15 días, dependiendo del comienzo de la temporada propicia para su ejecución.

A continuación se presenta el cronograma óptimo de actividades:

Items	mes 0	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 0
Formalización de contrato Sub. Agricultura- Proveedor	■					
Anticipo 1		■				
operación del programa			■			
Informe tecnico operación mes 1				■		
operación del programa					■	
Informe tecnico operación mes 2						■
operación del programa						
Informe tecnico operación mes 3						
Informe tecnico del periodo y propuesta de ajuste o mejora						
Mantenición equipos y renovación de permisos						■
operación del programa						
Informe tecnico operación mes 1						
operación del programa						
Informe tecnico operación mes 2						
operación del programa						
Informe tecnico operación mes 3						
Informe periodo anual (Propuesta de ajustes y mejoras)						

## VI. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIAMIENTO

El financiamiento de este programa, considera el cofinanciamiento entre los sectores público y privado durante 3 años para cubrir los costos de operación y administración. No obstante, como ya fue indicado el presupuesto se presenta para un año de operación dado que se realizará evaluación técnica y de impacto una vez finalizado el programa 2012.

El costo anual estimado del Programa es de M\$ 304.000 (trescientos cuatro millones de pesos chilenos), sin embargo, ante posibles incrementos de los presupuestos estos deberán ser asumidos por el sector privado.

SECTOR	2012 MM\$	2013 MM\$	2014 MM\$	TOTAL MM\$	%
<b>GOBIERNO REGIONAL (FNDR)</b>	<b>304</b>	<b>0</b>	<b>152</b>	<b>456</b>	<b>50</b>
SECTOR PRIVADO	0	304	152	456	50
<b>TOTALES</b>	<b>304</b>	<b>304</b>	<b>304</b>	<b>912</b>	<b>100</b>

26

**MARCELINA NÚÑEZ LEYTON**  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

El calendario de pago podrá considerar uno al momento de formalizar el contrato entre la Subsecretaría de Agricultura y el proveedor por un porcentaje de 50% del costo anual de operación.

Los demás pagos deberán ser determinados entre las partes previa entrega de informe técnico y financiero y visación de este por el equipo técnico revisor a conformar o en su defecto por la Subsecretaría de Agricultura.

### **PROPUESTA TÉCNICA DE SIEMBRA AÉREA PARA INCREMENTO DE PRECIPITACIONES:**

1. AREA aproximada a cubrir: 9.850 km<sup>2</sup>
2. HORAS DE VUELO de siembra aérea por año de operación: 200 horas
3. DISPONIBILIDAD PERSONAL Y MATERIAL: de manera ininterrumpida H24, durante los meses que durará la campaña.
4. PERIODOS DE OPERACIÓN Y DURACIÓN DEL PROGRAMA: campaña de 4 meses por año cada una , durante 5 años
5. AERONAVE: UN (1) avión bimotor, registrado en Chile ante DGAC antes de iniciar operaciones, equipado con:
  - 2 (DOS) racks de ala para bengalas BIP, con capacidad para 24 bengalas BIP (Burn In Place) por vuelo
  - 1 (UN) rack de fuselaje, con capacidad para 102 cartuchos eyectables por vuelo
  - Sistema de Telemetría de abordó
  - Estación Terrestre de Telemetría para aviones
  - Sistema de transmisión de datos radar al avión, con visualización por parte del piloto de las imágenes radar de tierra, a partir de la campaña de invierno 2012.
  - PILOTOS: 1 (UNO) calificados con experiencia internacional en siembra de nubes
  - METEÓROLOGO. 1 (UN) meteorólogo con experiencia.
  - MECANICO DE AERONAVE: un mecánico de mantenimiento de aeronave
6. 300 BENGALAS BIP IAg, de 40 gramos, con 64% de contenido de IAg
7. 102 CARTUCHOS EYECTABLES IAg, de 20 gramos, con 64% de contenido de IAg.

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaría Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama

8. RADAR METEOROLÓGICO BANDA C: instalación, mantenimiento, y operación durante campañas de 4 meses por año, durante 5 años. Deberá estar operativo en aeropuerto Desierto de Atacama.
9. Reportes independientes anuales, de Experto en Análisis de Operaciones con TITAN.
10. GERENCIAMIENTO, LOGISTICA, COMUNICACIONES Y ADMINISTRACIÓN
11. REPORTES DE OPERACIÓN: diarios, mensuales, un reporte por campaña anual, basándose en información radar-TITAN, de vuelos, REM (Reportes Meteorológicos) y REP (Reportes Piloto).
12. SITIO WEB exclusivo del programa de incremento de precipitaciones III Región, donde se podrá consultar en tiempo real la situación meteorológica con imagen radar, la situación operativa de los aviones, pronóstico meteorológico, reportes de operaciones y otros datos de interés para público en general.
13. CONTROL de MEDIO AMBIENTE: medición de cantidad de Ioduro de Plata en agua, suelo y nieve, antes y después de cada campaña de siembra.

**Costos estimados:**

En la tabla siguiente se presentan en forma resumida los costos de un año de operación:

<b>Costos</b>	<b>Valor en MM\$</b>
<b>COSTOS DE OPERACIÓN (fijos + variables)</b>	<b>245</b>
<b>IMPUESTOS</b>	<b>54</b>
<b>COSTOS DE ADMINISTRACION</b>	<b>5</b>
<b>COSTOS TOTALES POR AÑO</b>	<b>304</b>

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
 Secretaria Ejecutiva  
 Consejo Regional de Atacama

<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>COSTOS FIJOS</b>
Bengalas IaG	Seguro de Casco Avión
Cartuchos Eyectables IaG	Seguro de Terceros no Transportados, Avión
Combustible Aeronave	Seguro Contra Accidentes y Riesgos de Trabajo de Personal Terrestre y Tripulación
Aditivo al combustible aeronave	Seguro de Salud de Personal
Lubricante de motores	Servicios Varios
Mantenimiento de Aeronave-Sueldo Personal	Licencias de Software
Mantenimiento de Aeronave-Partes	Alojamiento y Racionamiento Personal
Reserva Mantenimiento de Motor	Viajes y Expensas de Viajes
Reserva Mantenimiento de Hélice	Vehículos traslado personal y equipos
Tasas de Aterrizaje y Estacionamiento	Mantenimiento Equipos de Siembra Aérea
Depreciación Equipos Aéreo y Terrestre	Gastos Hangar-Taller
Salarios Tripulantes	Gastos Oficina
Combustible, Lubricantes, Mantenimiento Vehículos traslado personal y equipos	Personal Científico-Reportes Ambientales y de Eficiencia de Operación
Mantenimiento Radar-Sueldo Personal	Sistema Telemetría
Mantenimiento Radar-Partes	Meteorología-Suscripción Imágenes Satélite
Comunicaciones	Administración y Gerenciamiento
Web page	_____

MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
 Secretaria Ejecutiva  
 Consejo Regional de Atacama

## VII. PRODUCTOS ESPERADOS

La ejecución de este proyecto de cofinanciamiento con fondos de traspaso del FNDR contribuirá a generar los siguientes productos:

- Seguridad de riego en el sector medio y bajo del valle del Huasco, donde se desarrollan las iniciativas productivas, con motivo de la mayor disponibilidad de agua de riego a pequeños y medianos agricultores de la provincia del Huasco.
- Regeneración de la pradera natural en sectores cordilleranos, en beneficio directo de las familias de crianceros de ganado menor ubicadas en esa zona.
- Aumento de los depósitos de nieve en el sector cordillerano, del acuífero y la alimentación del embalse Santa Juana. Cabe destacar que estos recursos superficiales son los que en definitiva, sustentan la actividad productiva de los pequeños agricultores, debido a que el acuífero del Huasco es de baja capacidad, la extracción de agua subterránea presenta costos comparativamente mayores y actualmente no es utilizada de manera extensiva como fuente de agua de riego.

  
MARCELINA NÚÑEZ LEYTON  
Secretaria Ejecutiva  
Consejo Regional de Atacama