



ANEXO 5
PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y
PLAN DE ALERTA TEMPRANA





Rockwood
Lithium

ENERO 2014



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

INDICE

1	INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES	1
2	OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	3
2.1	Objetivo general	3
2.2	Objetivos específicos	3
3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDROGEOLÓGICO Y DE LOS POZOS DESDE DONDE SE CAPTARÁ LA SALMUERA	5
3.1	Descripción de las unidades hidrogeológicas	5
3.2	Explotación de la cuenca	8
3.2.1	Extracción de Salmuera	8
3.2.2	Extracción de agua subterránea	15
4	DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETOS A PROTEGER	22
5	PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HÍDRICO	24
5.1	Introducción y objetivos	24
5.2	Variables de medición	24
5.3	Programa de monitoreo	26
5.3.1	Monitoreo de Nivel Piezométrico	30
5.3.2	Monitoreo Químico	37
5.3.3	Monitoreo Interfaz salina	38
5.3.4	Monitoreo del nivel de las lagunas	41
5.3.5	Monitoreo superficie lagunar	44
5.3.6	Monitoreo de las variables meteorológicas	46
5.3.7	Monitoreo Volumen extraído	47
5.4	Entrega de informes	47
6	PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AMBIENTAL BIÓTICO	49
6.1	Objetivo del Plan de Seguimiento Ambiental	49
6.2	Descripción del Plan de Seguimiento	49
6.2.1	Área de Monitoreo Ambiental Variables Bióticas	49
6.2.2	Variables Ambientales Propuestas	50
6.2.3	Monitoreo de Flora y Vegetación	50



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

6.2.4	Monitoreo de Vegetación	55
6.2.5	Monitoreo de Flora.....	61
6.3	Monitoreo de Fauna	62
6.3.1	Composición, Riqueza y Abundancia de aves	67
6.3.2	Composición, Riqueza y Abundancia de Flamencos	67
6.3.3	Reptiles	68
6.3.4	Mamíferos.....	68
6.4	Monitoreo de Biota Acuática.....	70
6.4.1	Composición, Riqueza y Abundancia de especies Planctónicas (Fitoplancton y Zooplancton).....	74
6.4.2	Composición, Riqueza y Abundancia de especies bentónicas (Fitobentos y Zoobentos)	75
7	PLAN DE ALERTA TEMPRANA	80
7.1	Introducción y Objetivos	80
7.2	Indicadores de estado	82
7.2.1	Indicadores de variables Hídricas	82
7.2.2	Indicadores variables Bióticas.....	83
7.3	Puntos de activación	85
7.3.1	Ubicación geográfica de Indicadores Hídricos	85
7.3.2	Ubicación geográfica de Indicadores Bióticos.....	89
7.4	Umbrales de activación	91
7.4.1	Umbrales de Activación Hídricos	91
7.4.2	Umbrales de Activación Bióticos.....	93
7.5	Plan de contingencia.....	95
7.5.1	Fase I. Activación de medidas preventivas del Plan de Contingencia	95
7.5.2	Fase II. Activación de medidas correctivas del Plan de Contingencia	96
7.6	Flujograma de decisiones	101
7.7	Valoración de la efectividad de la acción de mitigación	103
7.8	Actualización del PAT cada dos años	104
8	BIBLIOGRAFÍA.....	106

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

INDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Pozos y caudales de Extracción de salmuera de Rockwood (año 2013)	9
Tabla 3-2. Regla extracción solicitada	10
Tabla 3-3. Caudales de Bombeo Máximos promedio anual de SQM.....	12
Tabla 3-4. Pozos de Agua de SQM	20
Tabla 5-1. Puntos Plan seguimiento Hidrogeológico	28
Tabla 5-2. Puntos de monitoreo Núcleo del salar	31
Tabla 5-3. Puntos de monitoreo Sistema La Punta-La Brava	32
Tabla 5-4. Puntos monitoreo sistema Peine	33
Tabla 5-5. Puntos Monitoreo Sistema Norte	35
Tabla 5-6. Ubicación Puntos de Muestreo	37
Tabla 5-7. Parámetros a Analizar	38
Tabla 5-8. Puntos Monitoreo Interfaz salina	39
Tabla 5-9. Reglillas de Medición.....	41
Tabla 5-10. Estaciones meteorológicas DGA	47
Tabla 6-1. Componentes bióticos y Parámetros del Plan de Seguimiento	50
Tabla 6-2. Puntos de Monitoreo Flora y vegetación.....	52
Tabla 6-3. Uso actual del suelo en el área sensible.....	55
Tabla 6-4. Coordenadas de las ubicaciones de los transectos	58
Tabla 6-5. Coordenadas puntos de monitoreo fauna terrestre y ambiente asociado	63
Tabla 6-6. Puntos de monitoreo de biota acuática.....	70
Tabla 6-7. Variables Ambientales a monitorear incluidos en el Plan de Seguimiento Ambiental	77
Tabla 7-1. Resumen Indicadores Bióticos Propuestos	84
Tabla 7-2. Puntos Activación Plan Contingencia núcleo	86
Tabla 7-3. Puntos Activación Plan Contingencia Acuífero	86
Tabla 7-4. Puntos de monitoreo de Indicadores de Vegetación.....	90
Tabla 7-5. Resumen Umbrales de Activación.....	93
Tabla 7-6. Umbral de activación de indicador biótico.....	94
Tabla 7-7. Aumento Frecuencia Monitoreo Fase I.....	96
Tabla 7-8. Efecto reducción caudal de 60 l/s al año 8	104



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

INDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Unidades Hidrogeológicas.....	7
Figura 3-2. Aumento de Extracción de salmuera	10
Figura 3-3. Polígono de extracción solicitado	11
Figura 3-4. Ubicación de las áreas de Extracción de Salmuera de SQM.....	14
Figura 3-5. Principales Usos de los derechos otorgados del agua Salobre del Acuífero.....	16
Figura 3-6. Ubicación pozos Agua de Rockwood	18
Figura 3-7. Ubicación Pozos de Agua de SQM	19
Figura 4-1. Ubicación de Sistemas Lagunares	23
Figura 5-1. Mapa general del Plan de Seguimiento Ambiental hidrogeológico	29
Figura 5-2. Puntos Monitoreo Nivel	34
Figura 5-3. Monitoreo en Sistema Norte	36
Figura 5-4. Puntos de monitoreo de la Interfaz Salina	40
Figura 5-5. Reglillas del Sistema Peine	42
Figura 5-6. Reglillas del Sistema La Punta-La Brava.....	43
Figura 5-7. Áreas de medición de Lagunas	45
Figura 5-8. Estaciones Meteorológicas.....	46
Figura 6-1. Área de Monitoreo Flora y Vegetación, Sector Sur del Salar.....	53
Figura 6-2. Área de monitoreo Sector Norte de flora y vegetación.	54
Figura 6-3. Ubicación de Transectos Formaciones vegetacionales	59
Figura 6-4. Área Monitoreo de Fauna sector Sur del Salar de Atacama	65
Figura 6-5. Área de monitoreo de Fauna Sistema Norte.....	66
Figura 6-6. Área de monitoreo Biota acuática Sector Sur.....	72
Figura 6-7. Área de monitoreo Biota acuática Sector Norte	73
Figura 7-1. Relaciones entre los modelos numéricos, PSA y Plan de Contingencias que realiza el PAT	82
Figura 7-2. Puntos de activación Plan de Contingencia.....	88
Figura 7-3. Regla esquematizada de reducción de caudal de extracción	98
Figura 7-4. Funcionamiento Plan de Contingencia asociado al PAT.....	102

APÉNDICES

Apéndice A: Metodología del Cálculo de los Umbrales de Activación del Plan de Contingencia y Umbrales de Activación

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES

El plan de seguimiento y monitoreo ambiental de un proyecto o actividad es una herramienta de gestión que tiene por finalidad asegurar, que las variables ambientales relevantes que dieron origen al Estudio de Impacto Ambiental evolucionan según lo establecido en la documentación que forma parte de la evaluación respectiva.

Un Plan de Alerta Temprana es una herramienta de gestión que tiene como objetivo realizar el pronóstico, seguimiento, evaluación y verificación de los efectos o impactos previstos de un proyecto. Por medio de la definición de indicadores de estado y umbrales, el PAT activa medidas preventivas orientadas a impedir que se supere el impacto establecido autorizado en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA)¹ del proyecto.



El presente documento expone de forma conjunta el plan de seguimiento ambiental (PSA) y el plan de alerta temprana (PAT) para el “Proyecto de modificaciones y mejoramiento del sistema de pozas de evaporación solar en el salar de Atacama” que aumenta el caudal de extracción de salmuera desde el núcleo del salar en 300 l/s por parte de la empresa de Rockwood Lithium Ltda (Rockwood).

Para la confección de este documento se han tomado como base el estudio hidrogeológico y el modelo numérico presentado como Anexo 3 la presente adenda y también se ha utilizado el plan de Alerta temprana presentado en la Adenda 3, este documento recoge además los comentarios reunidos en el ICSARA IV.



Para su elaboración se han tenido en cuenta las recomendaciones presentes en la “Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA” y el documento “Análisis Preliminar de Planes de Alerta Temprana con Condicionamiento de Derechos” elaborado por la Dirección General de Aguas y que propone ciertos lineamientos e índice preliminar para la elaboración de planes de alerta temprana que tienen condicionados derechos de aprovechamiento de aguas.

De esta manera el documento anteriormente citado se ha tomado como guía técnica para implementar el plan de seguimiento ambiental y el plan a alerta temprana, con la definición de todos aquellos indicadores de estado, umbrales y medidas que permitirán evitar, mediante la actuación anticipada, cualquier daño sobre las zonas objeto de protección que se han definido para el proyecto como consecuencia del aumento de la extracción de salmuera desde el área de extracción de Rockwood en el núcleo del salar.

¹ Ref. Según DGA, “Análisis Preliminar de Planes de Alerta Temprana con condicionamiento de Derechos”, SDT N° 335, Diciembre 2012.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

El presente plan documento presenta el Plan de Seguimiento Ambiental y el Plan de Alerta Temprana.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

2 OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA

En este apartado se definen los objetivos que debe cumplir el plan de seguimiento ambiental y el plan de alerta temprana, los cuales se exponen como compromisos firmes del proyecto.

2.1 OBJETIVO GENERAL



El objetivo principal del plan de seguimiento ambiental es monitorear todas aquellas variables, físicas, químicas y bióticas, que pudieran ser afectadas por el proyecto o que serán utilizadas para la actualización del modelo numérico.

El objetivo principal del plan de alerta temprana es el de garantizar que el incremento de la explotación de salmuera en el salar que va a desarrollar Rockwood, no provoque impacto, de manera directa o indirecta sobre el medio ambiente.



Dentro de lo anterior se presta especial atención a las zonas sensibles y a las zonas de gran valor natural que conforman los ecosistemas palustres situados en las zonas marginales del Salar de Atacama.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Monitorear y controlar el efecto de la extracción de aguas sobre el sistema:** Debido a que la variación de niveles freáticos es el principal efecto que puede generar de impactos en las zonas naturales relacionadas con los acuíferos se va a controlar la evolución de los niveles tanto del núcleo como de los acuíferos para poder detectar anticipadamente cualquier perturbación que pudiera causar un impacto.
- **Prever los impactos originados por la extracción con antelación, contralarlos y evitarlos:** El PAT permite anticipar el comportamiento del sistema y de esta forma permite identificar los impactos de forma temprana evitando así que lleguen a producirse.
- **Proporcionar una herramienta que permita identificar el origen de los cambios inducidos en el sistema:** Estos planes, junto con los modelos numéricos de MODFLOW y SEAWAT, están diseñados para identificar si las alteraciones que se puedan medir se deben a las actividades de Rockwood, actividades de terceros o factores naturales.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

- **Mejorar el conocimiento del sistema hídrico sometido a la explotación:** Los monitoreos continuos generarán nueva información que permitirá mejorar la información de base y servirá para mejorar el modelo conceptual y actualizar los modelos numéricos.
- **Caracterizar la interfaz salina:** Debido a la importancia de esta variable en la relación entre la salmuera del núcleo, los acuíferos de los bordes y la ubicación de las lagunas objetos de protección, el plan de seguimiento ambiental contempla la medición de variables que permita detectar cualquier cambio en su posición y características.
- **Proporcionar una herramienta que facilite la fiscalización del proyecto:** Durante toda su operación y durante los 5 primeros años de la etapa de cierre.
- **Disponer de un Plan de Contingencia** Que define las medidas Preventivas o Correctivas (acciones) que se deben tomar cuando la evaluación temprana indica que se han generado efectos no previstos respecto de los pronósticos.
- **Asegurar la explotación sustentable del salar:** Sin que se produzcan efectos sobre las lagunas La Punta, La Brava, Salada, Saladita e Interna que sustentan la biodiversidad del área
- **Evaluar el estado ambiental de los sistemas representativos del Salar de Atacama:** Mediante parámetros bióticos que serán medidos dentro de los sistemas del Salar

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDROGEOLÓGICO Y DE LOS POZOS DESDE DONDE SE CAPTARÁ LA SALMUERA



La ubicación del proyecto es en la cuenca del Salar de Atacama. Los pozos de extracción de salmuera y las áreas que se van a proteger están ubicadas en unidades hidrogeológicas diferenciadas dentro de la cuenca pero adyacentes. Mientras que la explotación se realizará desde el núcleo del salar de Atacama, los objetos de protección se encuentran en los acuíferos situados en la zona marginal de salar. La ubicación esquemática de estas unidades y su descripción se presenta en los siguientes apartados.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

La unidad hidrogeológica del borde Este está constituida por una serie volcano sedimentaria en la que se definieron dos acuíferos: un acuífero inferior, semiconfinado, que en algunos casos se puede comportar como confinado y que está separado de un acuífero libre superior por un acuitardo ignimbrítico con una potencia media de 10 m.

La unidad hidrogeológica del borde Sur se compone de dos subunidades claramente diferenciadas, con un comportamiento y origen distinto, uno tiene origen volcano-sedimentario y el otro predominantemente evaporítico. La unidad volcano-sedimentaria: está formada por una alternancia de depósitos aluviales y de depósitos de origen volcánico de espesor variable. En ella se observa un acuñamiento de los mismos según nos adentramos hacia partes más distales de la cuenca. La unidad salina se compone de depósitos salinos, generalmente halita, con intercalaciones de limos y arcillas, que pueden tener una importante cantidad de materia orgánica y que corresponderían a los depósitos de fondo de antiguas lagunas. Estos depósitos sobreyacen sobre la unidad volcano-sedimentaria en la zona interna de la unidad.

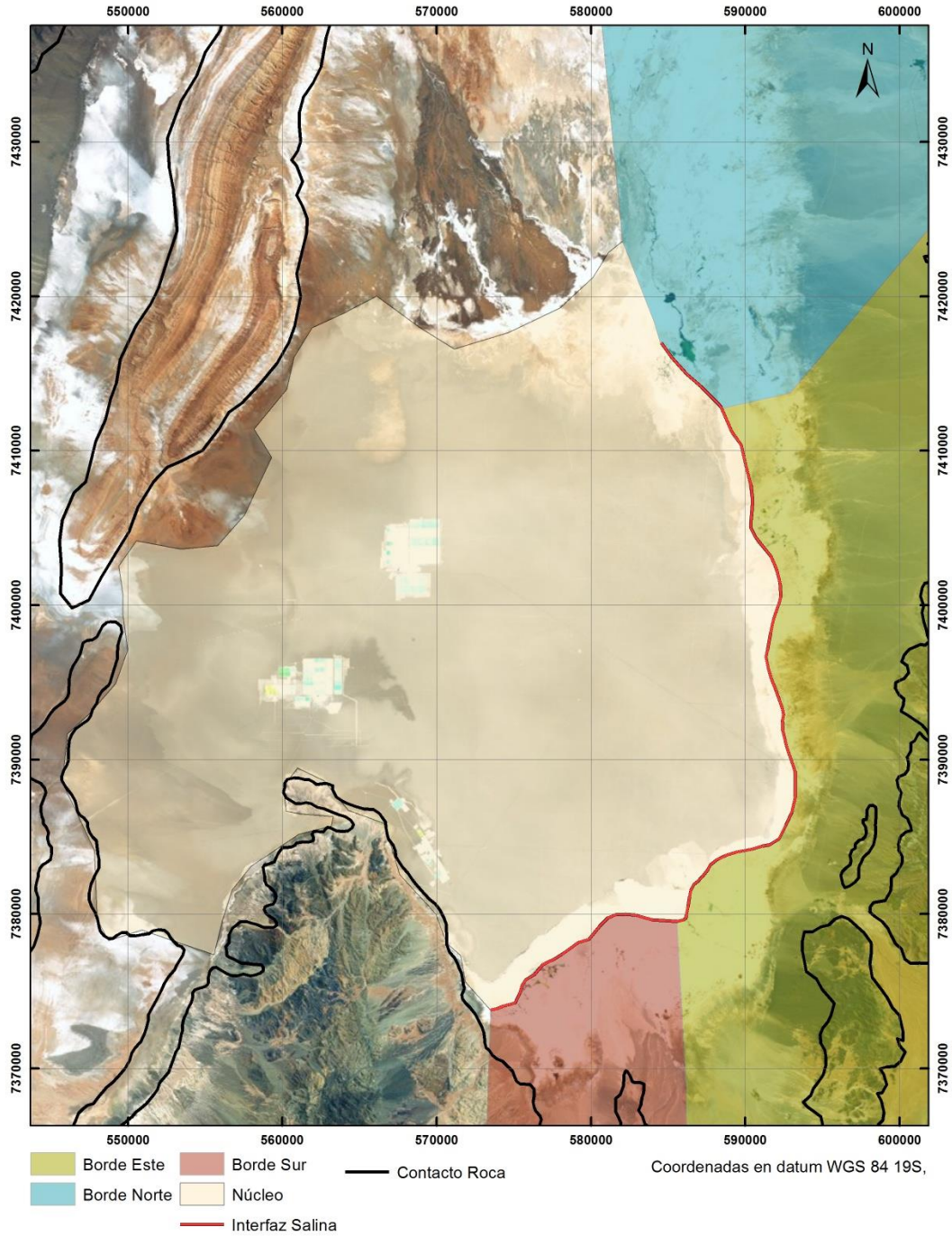
En el núcleo del salar nos encontramos con una única unidad hidrogeológica, constituida por depósitos masivos de halita cristalina. Esta halita puede presentar un aspecto granular o masivo, con abundantes cavidades y fracturas. Intercalada con la halita se encuentran capas de pequeño espesor (<1 m) de limos y arcillas, las cuales tienen su origen en los depósitos de fondo de las lagunas temporales que se forman en la superficie de la unidad salina. El origen de esta unidad es evaporítico. Esta unidad conforma un acuífero que se comporta como libre y localmente como semiconfinado.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	



Estas unidades se encuentran detalladamente explicadas en el Anexo 3 “Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama” que se presenta en la Adenda 4 de este proyecto.

Los acuíferos de agua salobre y la salmuera del núcleo se separan por una interfaz similar a la presente en los contactos entre el agua marina y los acuíferos costeros, la posición y funcionamiento de esta interfaz esta explicada en detalle también en el mismo estudio anterior.

Figura 3-1. Unidades Hidrogeológicas



Fuente: Elaboración propia sobre imagen Google Earth

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

3.2 EXPLOTACIÓN DE LA CUENCA

A la hora de cuantificar los volúmenes extraídos es necesario diferenciar entre los derechos de aprovechamiento de agua subterránea presente en los acuíferos y los permisos para la extracción de la salmuera del núcleo como recurso minero. La explotación de la cuenca se encuentra descrita detalladamente en el capítulo 7 del Anexo 3 “Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama” incluido en la presente Adenda 4.



3.2.1 Extracción de Salmuera

Extracción realizada por Rockwood

La producción de KCl de la Planta de Potasa de Rockwood es de 136.000 t/año. Esta capacidad de producción se autorizó ambientalmente a través de dos resoluciones. La Resolución RCA N° 092/2000 aprobó la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del proyecto “Construcción de Pozas de Evaporación Solar” la cual dejó establecido una capacidad productiva de 100.000 t/año de Cloruro de Potasio para una extracción de Salmuera desde el Salar de Atacama de 113 l/s (88 l/s+ 25 l/s) Posteriormente, mediante la Resolución N° 3132/2006 se aprobó la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del proyecto “Modificación al Proyecto Construcción de Pozas de Evaporación Solar”, donde se autorizó la extracción adicional de 29 l/s de salmuera con lo que el valor autorizado para la extracción de salmuera desde el salar de Atacama alcanzó 142 l/s (Res Exenta N° 403, de la Comisión de Evaluación de la Región de Antofagasta).

Rockwood, en sus inicios conocida como SCL, comenzó el proceso de extracción de la salmuera en el años de 1984, extrayendo caudales anuales promedio de 44 l/s aproximadamente, con caudales promedio de 54 l/s entre 1984 y 2000, alcanzando el máximo valor de caudal de extracción en este período de 128,39 l/s en diciembre de 1989.

En el año 2000, Rockwood, en la DIA “Construcción de Pozas de Evaporación Solar”, aprobado mediante la RCA 92/2000, donde se autorizaron 12 pozos (CL-1, CL-9, CL-15; CL-19; CL-20; CL-21, CL-23, CL-24, CL-25, CL-27, CL-35 y CL-37), donde además se otorgó el aumento del caudal de extracción del pozo CL-1 de 70 a 93 m³/h (19,4 a 25,83 l/s) durante el primer año de operación del nuevo sistema de pozas, manteniéndose las cifras anuales de extracción en los otros pozos (CL-9, CL-35 y CL-37).

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Durante el segundo año de operación de las pozas (2001), se aprobó el aumento de caudal a los pozos CL-1, de 93 m³/h a 100 m³/h (25,83 a 27,77 l/s); CL-9 de 4 m³/h a 24 m³/h (1 a 6,66 l/s), CL-35 de 24 m³/h a 44 m³/h (6,66 a 12,2 l/s) y CL-37 de 10 m³/h a 30 m³/h (2,7 a 8,3 l/s), manteniéndose los valores de extracción en los restantes pozos; otorgándose en total, el aumento de 55 l/s al caudal de extracción de salmuera hasta el año 2000 (61,8 l/s).

En el año 2004, mediante la aprobación de la DIA “Modificación al proyecto Construcción Pozas de Evaporación Solar” por la RCA 064/2005, se aprobó un aumento en el caudal de extracción, a los 116,8 l/s autorizados hasta esa fecha; para finalmente extraer desde el año 2005 hasta la fecha, un caudal promedio anual de 142 l/s de Salmuera.

En la actualidad, Rockwood se encuentra extrayendo salmuera desde 21 pozos de los 29 aprobados. En la Tabla 3-1 se presentan los caudales mensuales de extracción del año 2013 para esos pozos, además de sus coordenadas de ubicación. Se puede observar que en promedio, hasta septiembre de 2013, se extraen 139,8 l/s mensuales, de los cuales en el mes de Febrero se presenta el mayor caudal de extracción. El mínimo caudal de extracción se reportó en el mes de Mayo.

Tabla 3-1. Pozos y caudales de Extracción de salmuera de Rockwood (año 2013)

Tipo de Agua	Pozo	Coordenadas WGS 84		Caudal de Extracción (l/s)								
		Norte	Este	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Salmuera	CL-1	7.384.409,00	573.049,00	22,6	15,0	26,4	26,5	1,1	0,4	4,3	17,8	17,3
Salmuera	CL-9	7.386.741,00	564.904,00	1,8	1,9	1,8	1,3	0,0	1,2	2,1	2,2	2,2
Salmuera	CL-15	7.386.741,00	564.904,00	2,0	1,4	0,0	0,0	0,0	8,4	7,5	6,1	3,8
Salmuera	CL-19	7.386.882,00	564.604,00	3,0	2,7	3,1	2,3	0,0	3,0	4,3	3,9	3,4
Salmuera	CL-20	7.387.056,00	564.216,00	6,1	5,9	5,9	7,1	9,5	8,1	8,2	8,2	7,9
Salmuera	CL-21	7.385.572,00	567.607,00	20,0	15,4	12,0	13,2	13,4	4,0	9,4	8,4	11,1
Salmuera	CL-23	7.384.503,00	571.142,00	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	0,0	14,7	11,7
Salmuera	CL-24	7.382.191,00	570.255,00	16,9	25,5	13,7	14,2	21,9	22,4	21,7	22,6	22,1
Salmuera	CL-25	7.385.318,00	570.201,00	21,4	14,5	24,6	24,3	1,0	0,0	6,1	12,8	18,9
Salmuera	CL-27	7.388.287,00	566.941,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	8,7	9,0	2,4
Salmuera	CL-35	7.386.517,00	566.366,00	0,0	0,0	6,5	4,9	0,0	0,0	0,8	1,9	7,6
Salmuera	CL-37	7.386.762,00	565.676,00	6,8	10,5	10,6	7,0	1,0	15,8	7,0	2,7	2,4
Salmuera	CL-39	7.385.483,00	560.632,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Salmuera	CL-40	7.383.849,00	558.049,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Salmuera	CL-41	7.381.483,00	556.152,00	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	16,8	14,7	13,2	12,6
Salmuera	CL-43	7.383.318,00	570.531,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Salmuera	CL-44	7.382.428,00	571.452,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Salmuera	CL-45	7.387.491,00	571.689,00	0,0	30,4	0,0	0,0	0,0	13,6	15,6	16,7	14,8
Salmuera	CI-46	7.387.488,00	573.752,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Salmuera	CI-47	7.387.731,00	563.115,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Salmuera	CI-48	7.387.087,00	563.853,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: elaboración propia

En el presente, Rockwood se encuentra solicitando el aumento del caudal de extracción actual de 142 l/s a 442 l/s, para lo cual, solicita un polígono de bombeo (A1) y, con una superficie de 4.119 ha, y para su extracción aplicará la regla de extracción presentada en la Tabla 3-2 En

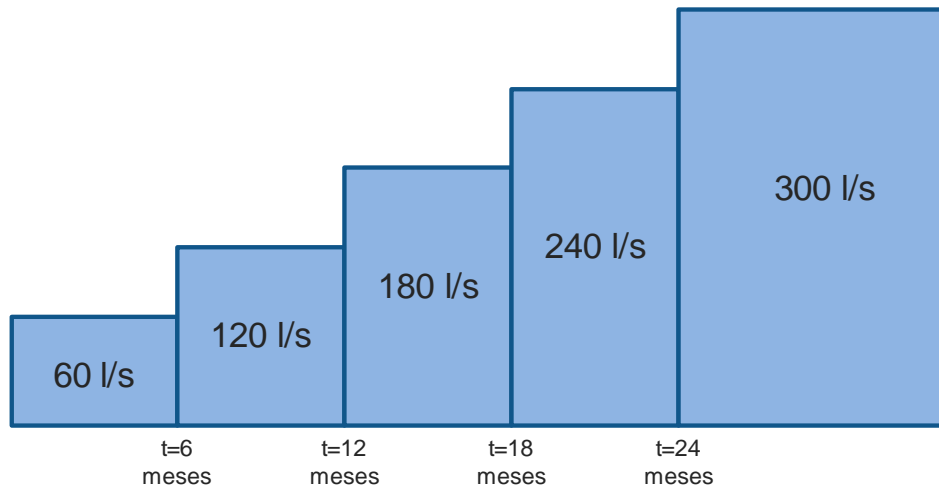
esta, se indica que en el caudal se incrementara cada seis meses en escalones de 60 l/s, comenzando en el momento de la autorización y finalizando dos años después con un aumento de 300 l/s, estos aumentos se encuentran representados gráficamente en la Figura 3-2.

Tabla 3-2. Regla extracción solicitada

	Regla de extracción (L/s)					
	Actual	0 Meses	6 Meses	12 Meses	18 Meses	24 Meses
Aumento Extracción		60	120	180	240	300
Extracción total	142	202	262	322	382	442

Fuente: elaboración propia

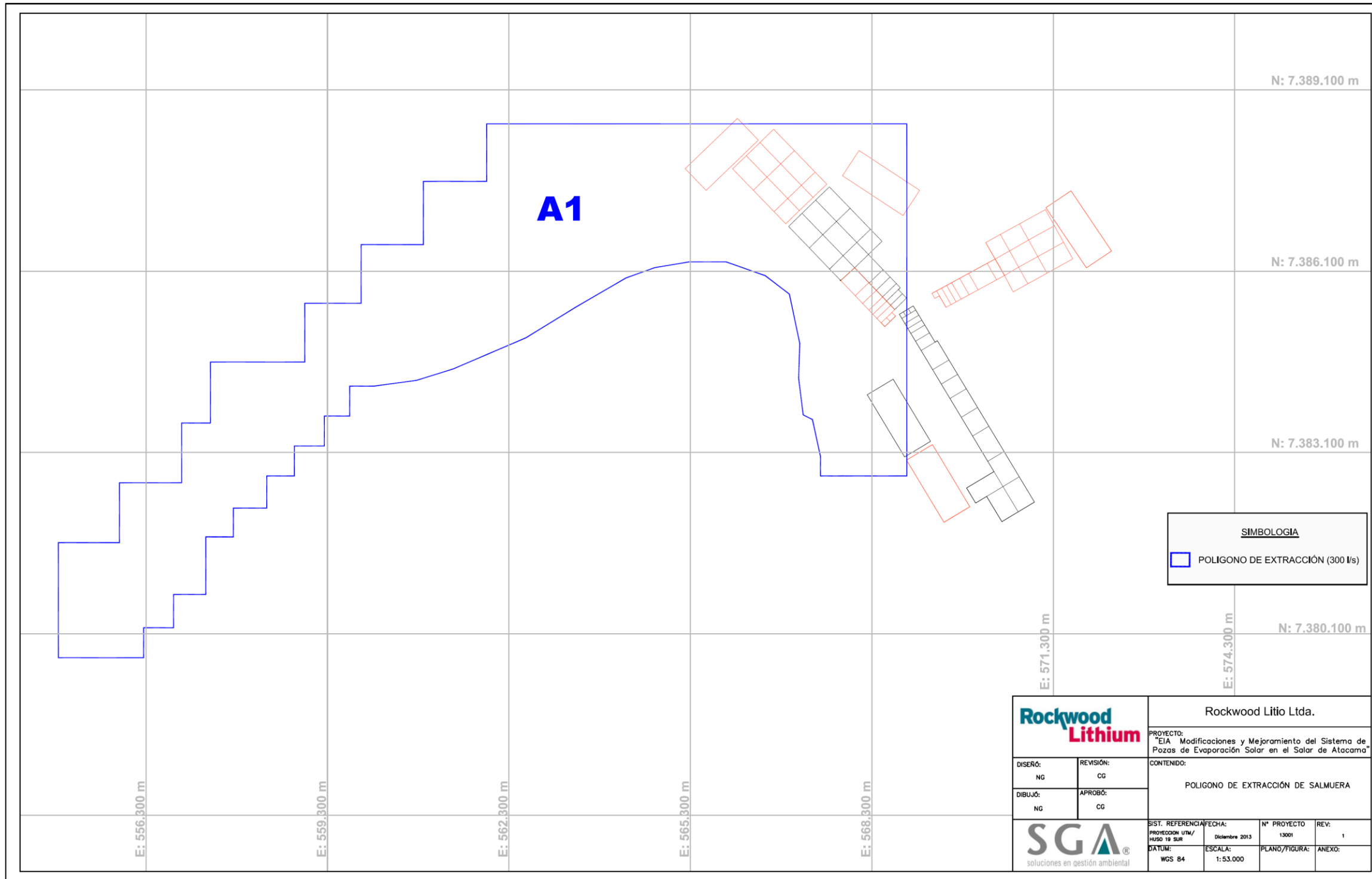
Figura 3-2. Aumento de Extracción de salmuera





Fuente: elaboración propia

En la Figura 3-3 se presenta la posición del polígono de extracción de salmuera del núcleo (A1) que Rockwood se encuentra solicitando en el presente.

Figura 3-3. Polígono de extracción solicitado



Fuente: elaboración propia

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Explotación realizada por Soquimich (SQM)

Para la extracción de Salmuera después del año 2005, SQM solicita mediante el Estudio de Impacto Ambiental “Cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama”, presentado en año 2005, SQM Salar Ltda, y aprobado mediante la RCA 226/2006, solicita un nuevas superficies de áreas de extracción MOP (152 km²) y SOP (58 km²), donde contempla además, el incremento escalonado del bombeo de salmuera fresca (desde las áreas MOP y SOP), que seguirá una regla operacional durante la vida útil del proyecto definida en el RCA 226/2006, la cual se define en relación al bombeo máximo de salmuera desde los sectores MOP y SOP, y estará en función de la cantidad total de salmuera que se reinyecta en los bitterns, y por ende, limita la extracción neta máxima permitida a las operaciones de SQM en el Salar.



Esta regla operacional consiste en que, bajo el supuesto de que las operaciones de SQM no producen reinyección directa de salmuera (bitterns), ni desde el sector MOP ni SOP (reinyección total bitterns=0 l/s), SQM podrá bombear como máximo lo presentado en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Caudales de Bombeo Máximos promedio anual de SQM

Área de Extracción	Periodo (Año)	Caudal Máximo Promedio anual (l/s)
MOP	2005-2006	400
	2007-2010	800
	2011-2016	900
	2017-2023	950
	2024-2030	1.000
SOP	2005-2006	350
	2007-2010	450
	2011-2016	600
	2017-2023	650
	2024-2030	700

Fuente: elaboración propia con información del EIA SQM, 2005

Ahora bien, dado que SQM si reinyecta salmuera al salar y que esta reinyección produce un efecto ambiental positivo, ya que recarga el acuífero del núcleo, SQM podrá bombear más salmuera fresca a medida que incremente sus reinyecciones en bitterns, de manera tal que el efecto ambiental sea el mismo al considerado en el escenario con reinyección total nula. La

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

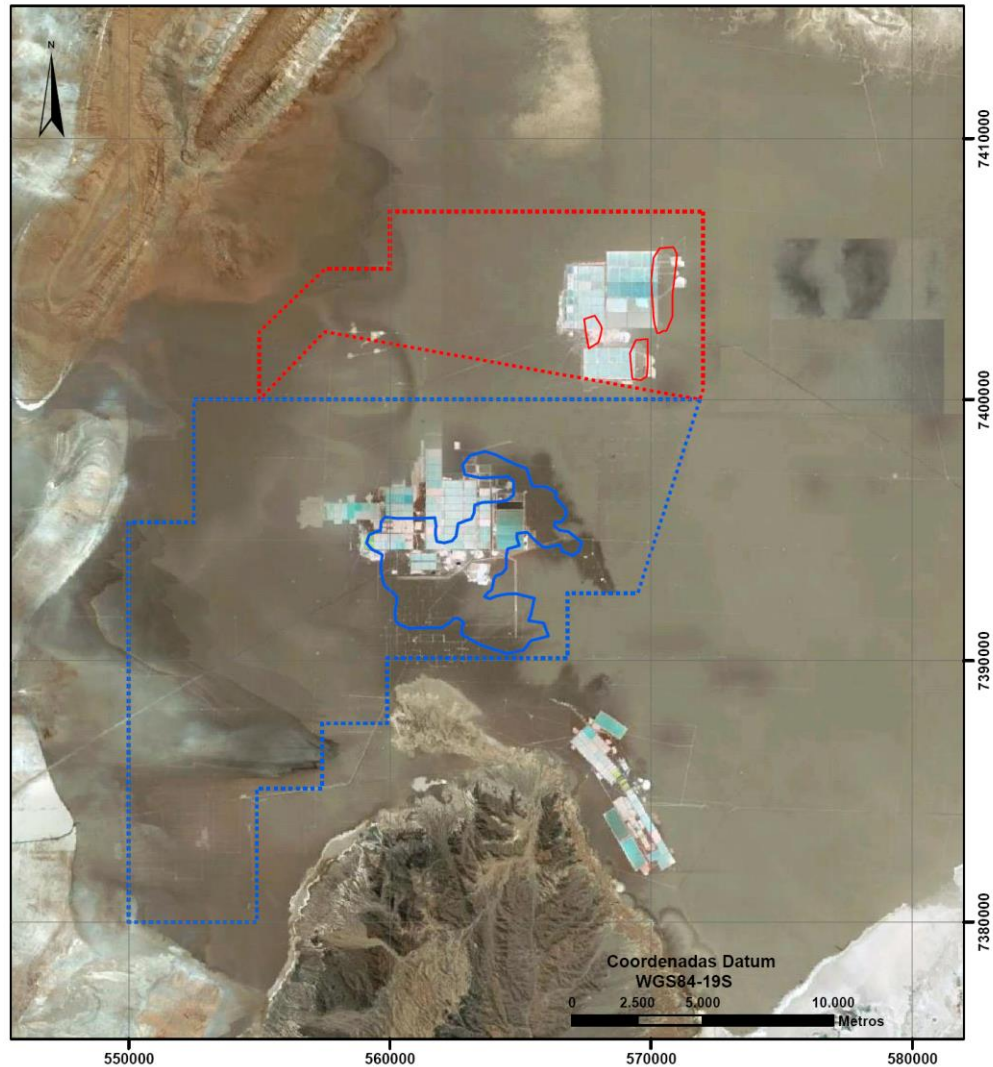
cantidad adicional de salmuera que podrá bombear a medida que reinyecta, es de 0,13 l/s adicionales desde el área MOP y 0,13 l/s desde el área SOP, por cada litro por segundo total (MOP y SOP) que se reinyecte en forma directa (bitterns). (EIA SQM, 2005).

Según esta regla operacional definida por SQM, asumiendo que el año 2013 correspondiese al año 7, se podría decir que el bombeo promedio anual máximo en las áreas MOP y SOP actual estaría en torno a los 1.500 l/s, de los cuales 900 l/s corresponderían al máximo caudal de bombeo que se extraerían del área MOP y 600 l/s del área SOP, asumiendo que no se estaría realizando reinyección directa desde los bitterns.

Desde el año 2014 hasta el año 2030, según la RCA 226/2006, SQM podrá bombear salmuera por un caudal máximo de 1.500 l/s (entre el año 2011 al 2016), 1.600 l/s (entre 2017-2023) y 1.700 l/s (entre 2024-2030), los cuales van aumentando gradualmente a través de la vida útil del proyecto.





En la Figura 3-4, se muestra la localización de las áreas de extracción de Salmuera MOP y SOP iniciales y la ampliación de estas áreas, aprobadas mediante la RCA 226/2006.

Figura 3-4. Ubicación de las áreas de Extracción de Salmuera de SQM





Simbología

Zonas de Extracción SQM

-  Zona Antigua de Extracción SOP
-  Zona Antigua de Extracción MOP
-  Zona Actual de Extracción SOP
(RCA, 226/2006)
-  Zona Actual de Extracción MOP
(RCA 226,2006)

Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth

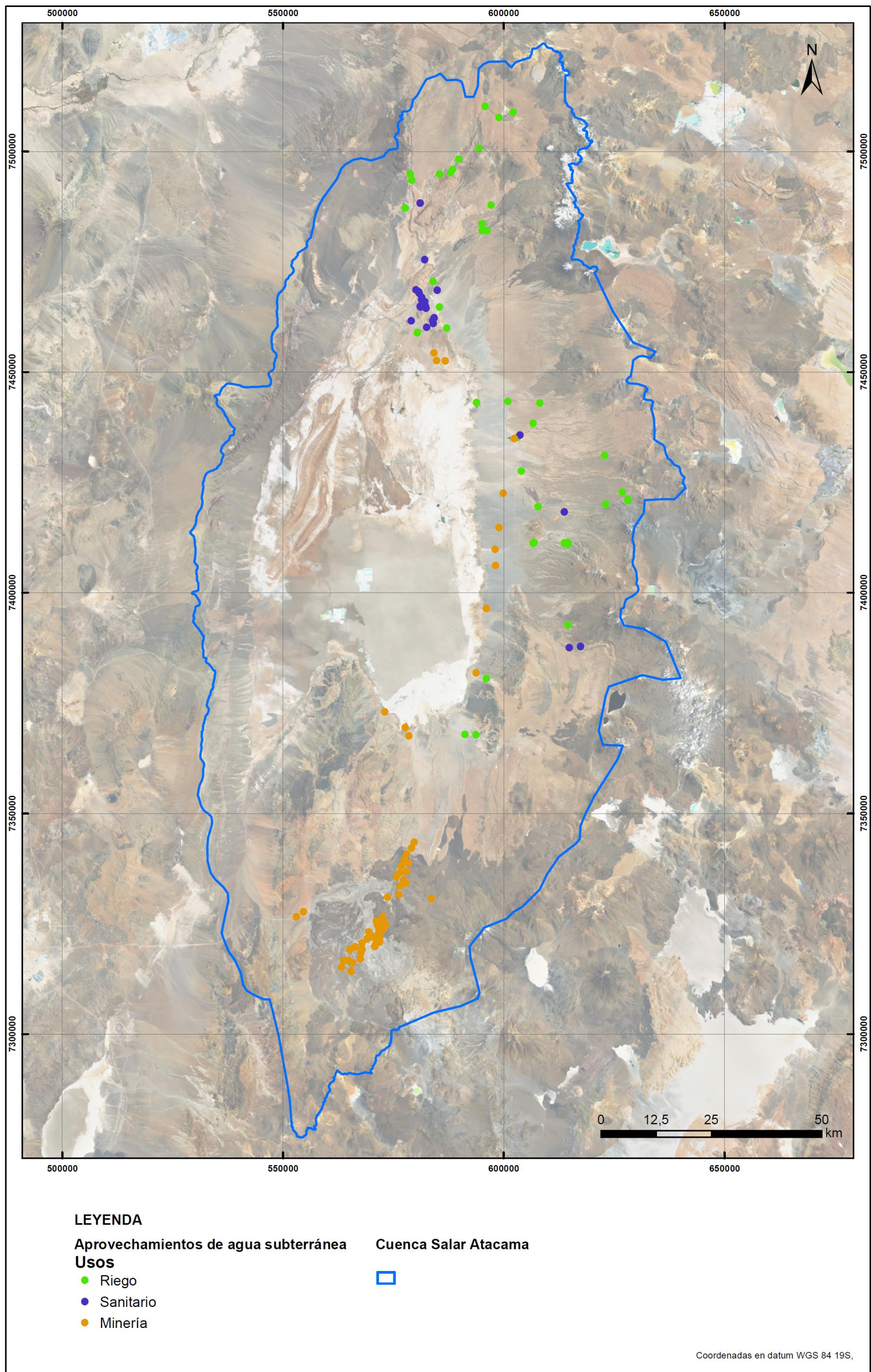
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

3.2.2 Extracción de agua subterránea



La extracción de agua de los acuíferos de la cuenca de Atacama tiene diversos usos, de los cuales se denota que principalmente se asocian a riego, sanitario y minería, siendo este último el uso principal como se puede observar en la Figura 3-5.

A continuación se presenta la extracción realizada por las distintas compañías mineras que tienen derechos de aprovechamiento constituidos en el acuífero salobre del borde Este y Sur del Salar.

Figura 3-5. Principales Usos del Agua subterránea



Fuente: Elaboración propia

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Extracción realizada por Rockwood Lithium

En cuanto a la extracción de agua del acuífero del borde del salar, la DGA otorgó a Rockwood en el año de 1996, derechos de aprovechamiento de agua subterránea permanentes y continuos en dos pozos ubicados en los sectores de Tilopozo y Tucúcaro, con caudales de extracción de 8,5 l/s (Res N°316/1983) y 10 l/s (Res N°453/1996) respectivamente.

En 1998, la DGA otorgo derechos de agua subterránea por 5 l/s, mediante la Resolución 584 del 22 de Septiembre de 2000, para un pozo que se encuentra ubicado en el poblado de Peine, y que es utilizado para el abastecimiento del campamento ubicado en esta localidad.

De acuerdo con lo anterior, los derechos de agua constituidos a favor de Rockwood, en el acuífero de agua dulce al borde del salar suman 23,5 l/s En la Figura 3-6 se muestra la ubicación de estos pozos.

Figura 3-6. Ubicación pozos Agua de Rockwood



Simbología

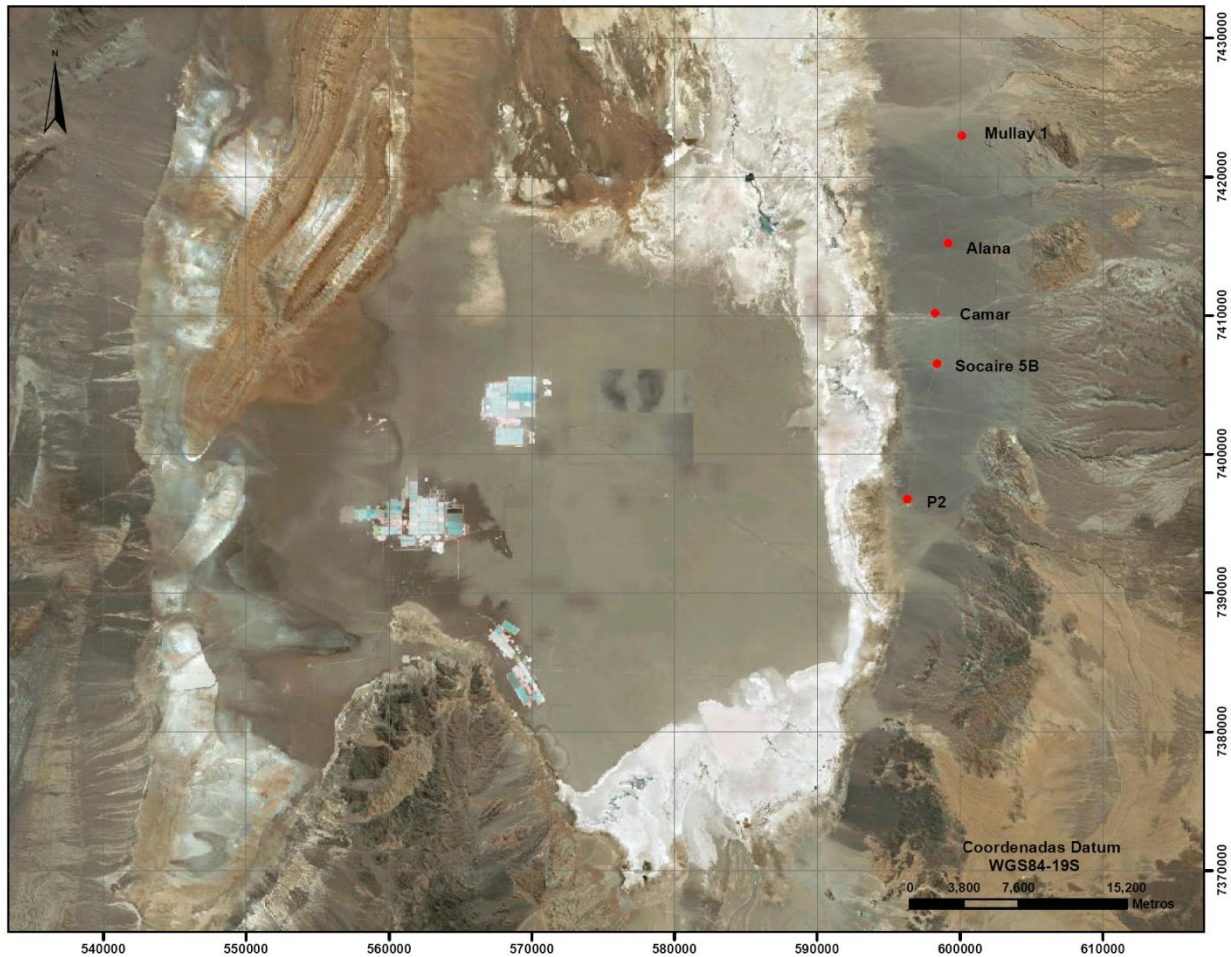
- Pozos de Extracción de Agua

Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth

Extracción realizada por Soquimich (SQM)

Referente a la explotación de agua del acuífero, SQM tiene derechos de aprovechamiento de agua por un caudal máximo de 240 l/s, los cuales se encuentran distribuidos en 5 pozos ubicados en el borde este del Salar como se observa en la Figura 3-7.

Figura 3-7. Ubicación Pozos de Agua de SQM



Simbología

- Pozos de Extracción de Agua

Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth

En la Tabla 3-4, se presenta las coordenadas de ubicación de los mismos, la resolución y el caudal máximo otorgado.



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Tabla 3-4. Pozos de Agua de SQM

Nombre Pozo	Coordenadas WGS 84		Resolución		Caudal (l/s) Otorgado
	Norte	Este	Nº	Fecha	
Mullay 1	7.423.020	600.103	64	03/02/1988	40
Camar 2	7.410.207	598.256	64	03/02/1988	60
Allana	7.415.214	599.141	64	03/02/1988	40
Socaire 5	7.406.547	598.345	64	03/02/1988	65
P2	7.396.804	596.272	713	26/09/1997	35

Fuente: Elaboración propia con información de DGA, 2012



Extracción realizada por Minera Escondida (MEL)

La explotación que realiza MEL de la cuenca se refiere a la extracción de agua del acuífero para sus procesos mineros, asociados a la extracción de Cobre, las cuales se encuentran asentadas en la cabecera de la cuenca del Salar de Atacama.

Referente al uso de estos derechos, entre 1995 y 1996, este desarrolló un campo de pozos en la cuenca de Monturaqui, conformado por 20 pozos de producción en total, incorporando en el 2003 y 2005, 3 y 1 pozo respectivamente, para totalizar 24 pozos en operación. La extracción de agua se inició a fines de 1998 y las tasas de bombeo aumentaron gradualmente hasta el 2004, alcanzando valores anuales entre 1.200 y 1.400 l/s hasta el año 2010. En el año 2011, la extracción promedio fue de 1.058 l/s, que corresponde al menor valor medio anual desde el 2003.

Según lo expresado en el capítulo 2. Extracción de agua subterránea, correspondiente al “Plan de Alerta Temprana para el Acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo, Revisión de los datos de Monitoreo.”, Informe N°11: Revisión hasta fines de 2011, presentado en el duodécimo Informe Anual de Monitoreo Ambiental EIA del Proyecto “Lixiviación de Óxidos de Cobre y aumento de la capacidad de Tratamiento Mineral Sulfurado”, las extracciones programadas por MEL para el acuífero en el año 2013, se ha calculado en base a los caudales promedios 1.100 y 1.095 l/s.

Donde el volumen de extracción total programado hasta fines del año 2013 sería de 508.087.134 m³ para el campo de pozos Monturaqui, que según las estimaciones respectivas para el año 2013, se resumiría en que el volumen de extracción para el año 2013 es de 34.531.920 m³ y correspondería a 1.095 l/s promedio anual, según la diferencia de los volúmenes totales programados hasta fines de año del 2012 y 2013.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Extracción realizada por Minera Zaldivar (CMZ)



La explotación que realiza la minera Zaldivar (CMZ) de la cuenca se refiere a la extracción de agua para sus procesos mineros, asociados a la extracción de Cobre, la cual se encuentra asentadas en la cabecera de la cuenca del Salar de Atacama, al igual que la zona de explotación de MEL.

La compañía minera Zaldivar (CMZ), en el área de Negrillar, al norte de Monturaqui, e inicio a mediados de 1995 la extracción de agua, registrando en este año un caudal medio de 180 l/s, desde 1996 hasta el 2005, la tasa promedio anual de bombeo fue del orden de 130 a 160 l/s; desde el año 2006 al 2010, en caudal bombeado por esta empresa se incrementó a valores medios anuales del orden de 170 a 190 l/s.

En el año 2011, el caudal promedio extraído fue de 217 l/s y que corresponde al mayor valor medio anual de la serie histórica.

Para el campo de pozo de CMZ, ubicado en el área de Negrillar, según lo expresado en el capítulo 2. Extracción de agua subterránea, correspondiente al “Plan de Alerta Temprana para el Acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo, Revisión de los datos de Monitoreo.”, Informe N°11: Revisión hasta fines de 2011, presentado en el duodécimo Informe Anual de Monitoreo Ambiental EIA del Proyecto “Lixiviación de Óxidos de Cobre y aumento de la capacidad de Tratamiento Mineral Sulfurado”, la extracción programada para el acuífero en el año 2013, se ha calculado en base a los caudales promedios en 200 l/s.

Donde el volumen de extracción total programado hasta fines del año 2013 sería de 95.433.163 m³ para el campo de pozos de Negrillar, que según las estimaciones respectivas para el año 2013, se resumiría en que el volumen de extracción para este año es de 6.307.200 m³ para el campo de pozos Negrillar y correspondería a 200 l/s promedio anual, según la diferencia de los volúmenes totales programados hasta fines de año del 2012 y 2013.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

4 DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETOS A PROTEGER

En la cuenca del Salar de Atacama, y en el entorno del proyecto de Rockwood, las áreas de mayor sensibilidad y valor ecológico son las lagunas que se ubican en los sectores marginales del salar.

En el Salar de Atacama, fuera del núcleo y principalmente en los sectores Sur y Este, existen una serie de sistemas lacustres de carácter permanente con variaciones pequeñas en su superficie. La existencia de estas lagunas en los bordes del salar se debe a la presencia de la interfaz salina producto de la interacción del agua dulce proveniente de la recarga subterránea afluyente al salar y la salmuera del núcleo. Esta interacción de aguas de diferentes densidades genera una barrera hidráulica que produce un afloramiento del agua salobre menos densa, favoreciendo la presencia de vegas y la formación de lagunas.

Las zonas donde se generan estas lagunas marginales dependerán de las condiciones favorables para aquello, principalmente donde la conductividad hidráulica del suelo favorezca el afloramiento del agua subterránea y de la topografía del área.

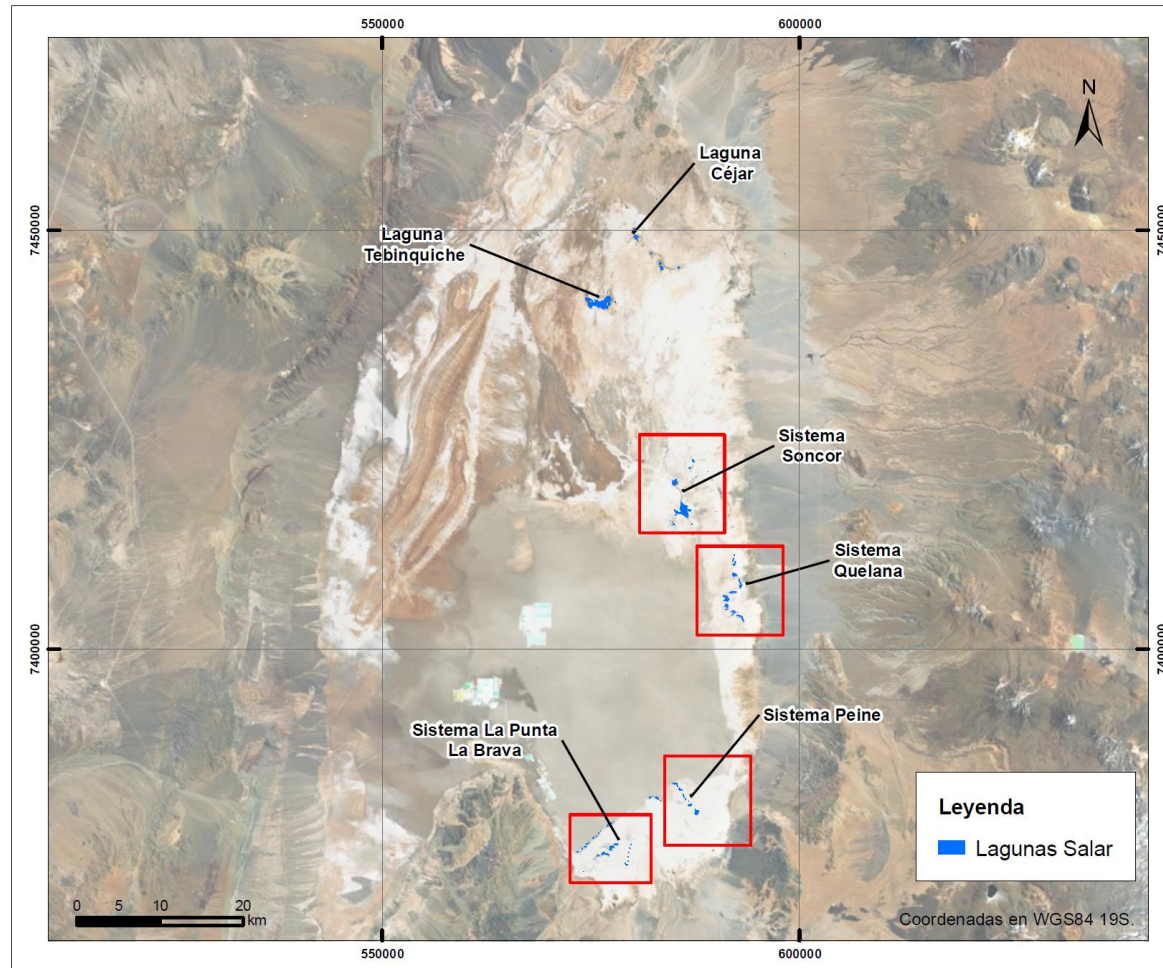
Estos sistemas lacustres representan importantes ecosistemas que albergan diversas especies animales y vegetales. Los principales sistemas asociados al borde del salar, son los de Soncor, Aguas de Quelana, Peine y La Punta-La Brava, formados por pequeñas lagunas, algunas interconectadas entre sí.

En la Figura 4-1 se muestra la ubicación geográfica de estos sistemas lacustres.



La dinámica de estos sistemas se ha explicado en detalle en el Anexo 3 “Estudio hidrogeológico y modelo numérico sector sur del salar de Atacama” que se presenta en la Adenda 4 de este proyecto.

Debido a la proximidad al proyecto de los sistemas Lagunares de Peine y La Punta-La Brava se considera que el proyecto podría generar un impacto no deseado y no previsto sobre dichos sistemas lagunares. Es por esto que el presente Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana se enfoca especialmente en los sistemas lagunares de La Punta-La Brava y Peine, los sistemas de Soncor y Quelana también son parte del Plan de Seguimiento Ambiental lo que permitirá generar información para alimentar los modelos numéricos y evaluar los efectos sinérgicos de los diferentes proyectos de explotación de salmuera que existen en el salar.

Figura 4-1. Ubicación de Sistemas Lagunares



Fuente: elaboración propia sobre imagen google earth

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

5 PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HÍDRICO

En el presente apartado se describe el plan de seguimiento ambiental y plan de monitoreo que se realizará con motivo del proyecto.

5.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El plan de seguimiento y monitoreo ambiental constituye un instrumento de gestión que permite verificar que las variables ambientales relevantes que dieron origen al Estudio de Impacto Ambiental evolucionan según lo esperado.



5.2 VARIABLES DE MEDICIÓN

Dentro de las labores del al plan de seguimiento ambiental, se va a realizar seguimiento de todas aquellas variables que de forma directa o indirecta tienen influencia en el funcionamiento, hidrológico e hidrogeológico, del sistema, así como de las variables bióticas que se encuentran en el lugar. Para ello el titular acordará un protocolo de monitoreo con CONAF con objeto de que las zonas protegidas por CONAF, zonas ambientalmente sensibles del Salar de Atacama, no sean afectadas por las actividades de seguimiento ambiental del proyecto. Estas variables se medirán con uno o más de los siguientes objetivos:

- Variables destinadas a monitorear el sistema hidrológico.
- Variables de monitoreo asociadas al comportamiento de los objetos de protección.
- Variables de monitoreo destinadas al seguimiento del efecto causado por la extracción de agua y salmuera.
- Variables de referencia ubicados en sectores vecinos no influenciados.

De esta forma las variables que se monitorearán y su frecuencia de medición se describen a continuación:

Monitoreo de niveles piezométricos: Es la cota altimétrica a la que se encuentra el nivel de agua subterránea, ya sea dulce, salobre, salada o salmuera, a presión atmosférica. El nivel piezométrico se mide pozos y piezómetros ubicados en el entorno y borde del salar así como en el núcleo. Este parámetro se medirá de forma mensual, se medirá como profundidad del agua en unidades de longitud y se reportará en m.s.n.m. Esta variable está destinada a monitorear el

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

sistema hidrológico y al seguimiento del efecto causado por la extracción de agua y salmuera. En los puntos situados en los sistemas de Soncor y Quelana son variables de referencia ubicados en sectores vecinos no influenciados.



Muestreo químico de Aguas: La calidad del agua superficial de las vertientes y subterráneas de los acuíferos de los bordes del salar, y que alimentan y forman las lagunas que allí se encuentran, así como la propias lagunas, se determinará a partir de la medición de parámetros *in situ* y del muestreo de aguas para su análisis en laboratorio. Los parámetros que se analizarán son aquellos que permiten el estudio hidrogequímico de las aguas y/o aquellos con una importancia ambiental y/o aquellas que puedan variar debido a alteraciones en el sistema. Estos parámetros son los que se listan a continuación: CE, pH, TDS, Ta, Alcalinidad total, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, Na, Ca, Mg, K, F, Al, As, B, Fe, Li, Si y Sr. Estos análisis se realizarán en un laboratorio certificado siguiendo los protocolos y recomendaciones de la norma, NCh 411 para el muestreo de aguas y las que indique el laboratorio según sus propios requerimientos. Estas mediciones se realizarán de manera trimestral. Esta variable está destinada a monitorear el sistema hidrológico, y asociadas al comportamiento de los objetos de protección.

Monitoreo de la Interfaz Salina: La interfaz salina se configura debido a la diferencia de densidad que existe entre el agua que proviene de los acuíferos y la salmuera del núcleo; la salmuera con mayor densidad se hunde bajo el agua de los acuíferos con una densidad mucho menor separada por una superficie que denominamos interfaz.

Como los dos líquidos, agua y salmuera, son en realidad miscibles, no se produce una superficie neta de contacto sino una zona de dilución de espesor variable.

Para determinar la posición de la interfaz salina se medirá la profundidad a la que se sitúa la misma en cada punto de monitoreo, expresada en cota topográfica. Esto se realizará mediante la medición de perfiles de conductividad eléctrica en la columna de agua de pozo y/o piezómetros. Esta medición se realizará con una frecuencia trimestral. Esta variable está destinada a monitorear el sistema hidrológico y al seguimiento del efecto causado por la extracción de agua y salmuera.

Nivel de las Lagunas: El nivel de las lagunas se medirá como la cota topográfica del espejo de agua. Esta medida se realizará en dos puntos de cada una de las lagunas mediante la instalación de una regla limnimétrica, la que será adherida a una estaca. Esto debido a la importancia de esta variable, no sólo en por su importancia ambiental sino también en el funcionamiento del sistema. Este parámetro se medirá con una frecuencia bimestral, se realizará con un convenio con la CONAF de manera de no generar ninguna perturbación sobre las lagunas en la época que corresponde a la nidificación de flamencos y otras aves del lugar.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Esta es una variable de monitoreo asociada al comportamiento de los objetos de protección. En los puntos situados en los sistemas de Soncor y Quelana son variables de referencia ubicados en sectores vecinos no influenciados.



Superficie cubierta por las Lagunas: El área del terreno cubierta por lámina libre de agua es una variable importante y relacionada con el nivel en las lagunas. Debido a que la relación no es lineal se hace preciso una medición de esta superficie y su variabilidad temporal. Esta variable se medirá a partir de imágenes satelitales del satélite Quickbird, con una frecuencia trimestral. Esta es una variables de monitoreo asociadas al comportamiento de los objetos de protección. En los puntos situados en los sistemas de Soncor y Quelana son variables de referencia ubicados en sectores vecinos no influenciados.

Variables Meteorológicas: Conocer las variables meteorológicas de un sector es un factor principal a la hora de poder entender su hidrología e hidrogeología, para poder elaborar cálculos hidrológicos y realizar modelos numéricos de flujo subterráneos, para predecir el comportamiento futuro de un sistema acuífero. De esta manera se monitorearan las variables meteorológicas a partir de una estación meteorológica situada en la planta de Rockwood, ubicada en el Salar de Atacama. La medición de estas variables será continua y los parámetros a medir son los siguientes: Precipitación, Evaporación, Temperatura, Presión Atmosférica. Esta variable está destinada a monitorear el sistema hidrológico.

Volúmenes bombeados de Salmuera y del Acuífero: Los volúmenes bombeados de salmuera en el núcleo y de agua salobre en los acuíferos del borde del salar constituyen una salida del recurso hídrico de la cuenca que debe conocerse tanto para el control de las extracciones en cuanto a sus permisos como también para ser considerados en los modelos numéricos que representan la cuenca y determinan el comportamiento futuro de los niveles piezométricos. Por ello se medirá el volumen mensual en m³ bombeado tanto de la salmuera del núcleo como el agua proveniente del acuífero. Se medirá mediante caudalímetros certificados entregando de forma mensual el valor total extraído mensualmente para cada pozo. Esta variable está destinada a monitorear el sistema hidrológico también está destinada al seguimiento del efecto causado por la extracción de agua y salmuera.

5.3 PROGRAMA DE MONITOREO

Para la medición de las diferentes variables que contempla controlar en el marco del presente Plan de Seguimiento Ambiental se ha diseñado una red de monitoreo que consta de un total de 81 puntos de medición distribuidos según:

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

- 55 pozos o piezómetros (22 ya construidos, 33 por construir)
- 14 Reglas limnimétricas (por instalar)
- 4 vertientes y/o cursos de escurrimiento superficial
- 8 Puntos en las lagunas

La mayoría de ellos se sitúa en el sector suroriental del salar, en el entorno del proyecto, distribuidos en los sectores que se han denominado: Núcleo, Sistema Peine y Sistema La Punta-La Brava, Unos pocos puntos se encuentran en los sectores de Soncor y Quelana (Sistema Norte) (Figura 5-1).

En la Figura 5-1 se puede observar la ubicación de cada uno de ellos y además, ver las variables que se medirán en cada uno de estos puntos, y que se resume en la Tabla 5-1.

Los puntos que se describen como “por construir” se perforarán y habilitarán con anterioridad al inicio del incremento en la explotación de Rockwood por este proyecto, de los cuales, se priorizará la construcción y habilitación de los pozos considerados para activar el plan de contingencia. Las coordenadas de ubicación propuestas son aproximadas ya que la ubicación final de cada uno de ellos dependerá de la factibilidad técnica de ser perforados en esta ubicación. Se espera que cada uno de ellos se perfora a una distancia no más allá de los 500 m del punto entregado, sin embargo según experiencias previas de perforación de otros pozos en el área, puede que algunos de ellos se deban perforar a distancias mayores. La cota altimétrica de cada uno de ellos se determinará con posterioridad a la perforación. La profundidad de perforación que se entrega es también aproximada, pero será siempre por debajo del nivel freático y con una profundidad tal que garantice la medición del nivel piezométrico durante todo el proyecto.

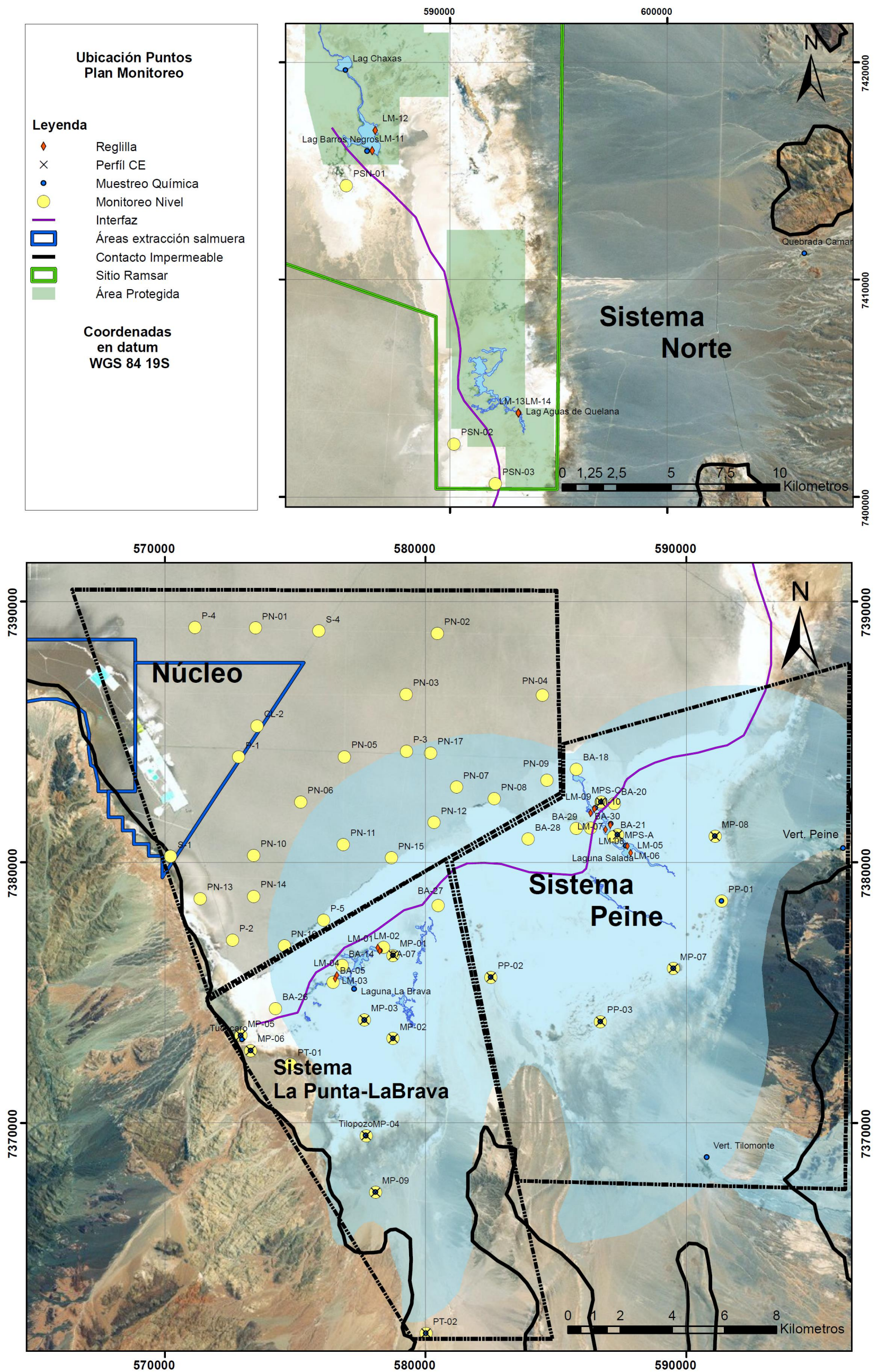
En la medida que estos pozos sean construidos se entregarán a la autoridad informes de ubicación y construcción con las fotografías correspondientes para que ésta pueda validar la existencia de estos puntos de monitoreo. Por esta razón, se invitará a la autoridad a participar en una visita técnica para realizar un reconocimiento de éstos puntos. Además antes de finalizar el primer año de extracción de salmuera y por lo tanto, antes de la entrega del primer informe anual del Plan de Seguimiento Ambiental, una vez finalizada la construcción y habilitación de los pozos del Plan de contingencia y Plan de activación, se realizará el levantamiento topográfico de los mismos, para poder expresar la profundidad del nivel piezométrico como cota en metros sobre el nivel del mar; lo que se realizará antes del inicio del proyecto.

Tabla 5-1. Puntos Plan seguimiento Hidrogeológico



Puntos	UTM WGS 84 (19S)		Tipo Punto	Medición	Profundidad (m)	Observaciones
	Norte	Este				
CL-2	7.385.226	573.543	Piezómetro	Nivel	2,90	
P-1	7.384.028	572.836	Piezómetro	Nivel	60,00	
P-2	7.376.974	574.432	Piezómetro	Nivel	28,40	
P-3	7.384.225	579.260	Piezómetro	Nivel	60,00	
P-4	7.388.998	571.160	Piezómetro	Nivel	60,00	
P-5	7.377.774	576.092	Piezómetro	Nivel	100,50	
S-1	7.380.182	570.953	Piezómetro	Nivel	4,20	
S-4	7.388.865	575.914	Piezómetro	Nivel	24,03	
PN-01	7.389.000	573.400	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-02	7.389.000	580.400	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-03	7.386.400	579.200	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-04	7.386.400	584.600	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-05	7.384.000	576.900	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-06	7.382.300	576.800	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-07	7.382.900	580.800	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-08	7.382.400	582.600	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-09	7.383.200	584.700	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-10	7.380.300	573.400	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-11	7.380.700	576.800	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-12	7.381.500	580.300	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-13	7.378.800	571.800	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-14	7.378.700	573.400	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-15	7.380.000	578.400	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-16	7.376.700	574.400	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PN-17	7.384.200	580.200	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
BA-05	7.375.322	576.374	Piezómetro Somero	Nivel	1,75	
BA-07	7.376.688	578.408	Piezómetro Somero	Nivel	1,90	
BA-14	7.376.025	576.845	Piezómetro Somero	Nivel	1,40	
BA-26	7.374.400	574.200	Piezómetro Somero	Nivel	2,00	Pozo por construir
BA-27	7.378.300	580.500	Piezómetro Somero	Nivel	2,00	Pozo por construir
MP-01A				Nivel y Química	7,15	
MP-01B	7.376.425	578.753	Multipiezómetro	Nivel y Química	30,40	
MP-01C				Perfil CE y Nivel	30,55	
MP-02A				Nivel y Química	12,00	
MP-02B	7.373.232	578.753	Multipiezómetro	Nivel y Química	52,00	
MP-02C				Perfil CE y Nivel	50,00	
MP-03A				Nivel y Química	12,50	
MP-03B	7.373.946	577.652	Multipiezómetro	Nivel y Química	30,50	
MP-03C				Perfil CE y Nivel	30,30	
MP-04A				Nivel y Química	41,50	
MP-04B	7.369.510	577.718	Multipiezómetro	Nivel y Química	81,70	
MP-04C				Perfil CE y Nivel	120,65	
MP-05A				Nivel y Química	20,20	
MP-05B	7.373.351	572.916	Multipiezómetro	Nivel y Química	60,00	
MP-05C				Perfil CE y Nivel	80,00	
MP-06A				Nivel y Química	30,00	
MP-06B	7.372.774	573.298	Multipiezómetro	Nivel y Química	65,25	
MP-06C				Perfil CE y Nivel	81,50	
MP-09A				Nivel y Química	30,00	
MP-09B	7.367.300	578.000	Multipiezómetro	Nivel y Química	100,00	Pozo por construir
MP-09C				Perfil CE y Nivel	100,00	
PT-01	7.372.400	575.000	Piezómetro	Nivel	80,00	Pozo por construir
PT-02	7.361.100	580.500	Piezómetro	Perfil CE, Nivel y Química	100,00	Pozo por construir
BA-18	7.383.609	585.778	Piezómetro Somero	Nivel	1,80	
BA-20	7.382.245	587.247	Piezómetro Somero	Nivel	1,85	
BA-21	7.380.903	587.160	Piezómetro Somero	Nivel	1,55	
BA-28	7.380.800	583.800	Piezómetro Somero	Nivel	2,00	Pozo por construir
BA-29	7.381.300	585.800	Piezómetro Somero	Nivel	2,00	Pozo por construir
BA-30	7.381.300	586.500	Piezómetro Somero	Nivel	2,00	Pozo por construir
MP-07A				Nivel y Química	20,00	
MP-07B	7.380.663	591.100	Multipiezómetro	Nivel y Química	100,00	Pozo por construir
MP-07C				Perfil CE y Nivel	100,00	
MP-08A				Nivel y Química	20,00	
MP-08B	7.372.702	586.800	Multipiezómetro	Nivel y Química	60,00	Pozo por construir
MP-08C				Perfil CE y Nivel	60,00	
MPS-CA				Nivel y Química	4,00	
MPS-CB	7.382.309	586.729	Multipiezómetro	Nivel y Química	30,70	
MPS-CC				Perfil CE y Nivel	40,00	
MPS-AA				Nivel y Química	3,40	
MPS-AB	7.381.049	587.365	Multipiezómetro	Nivel y Química	42,00	
MPS-AB				Perfil CE y Nivel	43,30	
PP-01	7.379.200	591.600	Piezómetro	Perfil CE, Nivel y Química	100,00	Pozo por construir
PP-03	7.373.900	586.700	Piezómetro	Perfil CE, Nivel y Química	120,00	Pozo por construir
PP-02	7.375.500	582.300	Piezómetro	Perfil CE, Nivel y Química	80,00	Pozo por construir
PSN-01	7.414.300	585.200	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PSN-03	7.400.600	592.100	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
PSN-02	7.402.400	590.200	Piezómetro	Nivel	10,00	Pozo por construir
LM-01	7.376.600	578.200	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-02	7.376.700	578.200	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-03	7.375.500	576.500	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-04	7.375.700	576.600	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-06	7.380.600	587.700	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-05	7.380.400	587.900	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-07	7.381.400	587.000	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-08	7.381.300	586.900	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-09	7.382.100	586.500	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-10	7.381.800	586.300	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-11	7.415.900	586.400	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-12	7.416.900	586.600	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-13	7.403.800	593.200	Reglilla	Laguna		Por instalar
LM-14	7.403.800	593.100	Reglilla	Laguna		Por instalar
Tucucaro	7.373.189	572.973	Superficial	Química		
Vert. Peine	7.380.542	596.010	Superficial	Química		
Vert. Tilomonte	7.368.684	590.777	Superficial	Química		
Lag Aguas de Quelana	7.403.837	593.163	Superficial	Química		
Lag Barros Negros	7.415.908	586.194	Superficial	Química		
Lag Chaxas	7.419.629	585.201	Superficial	Química		
Quebrada Camar	7.411.194	606.314	Superficial	Química		
Laguna Interna	7.382.075	586.500	Superficial	Química		
Laguna La Brava	7.375.129	577.265	Superficial	Química		
Laguna La Punta	7.376.600	578.263	Superficial	Química		
Laguna Salada	7.380.623	587.679	Superficial	Química		
Laguna Saladita	7.381.467	587.109	Superficial	Química		

Fuente: elaboración propia

Figura 5-1. Mapa general del Plan de Seguimiento Ambiental hidrogeológico



Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

A continuación se describe para cada sector, los puntos de monitoreo que se dispondrán, con su descripción y características.

5.3.1 Monitoreo de Nivel Piezométrico

El plan de monitoreo de niveles contempla campañas de medición mensual para los puntos ubicados en el Núcleo, Sistema Peine, Sistema La Punta-La Brava y Sistema Norte. Estos suman un total de 55 localizaciones:

- Núcleo → 25 puntos
- Sistema Peine → 13 Puntos
- Sistema La Punta-La Brava → 14 Puntos
- Sistema Norte → 3 Puntos

Núcleo

El sistema de monitoreo en el núcleo está compuesto por 25 puntos, todos ellos piezómetros, de los cuales 17 son de nueva construcción. Las características y ubicación de los puntos están recogidas en la Tabla 5-2. La ubicación de estos puntos, construidos y por construir, puede observarse en la Figura 5-2.

En la tabla, para aquellos puntos que tienen información histórica, se indican las fechas en que existe esta información y la frecuencia de estas mediciones. Los valores medidos históricos pueden consultarse en el Apéndice 6 “Evolución de Niveles de los Pozos de Observación Rockwood” del Anexo 3 de la presente Adenda.



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Tabla 5-2. Puntos de monitoreo Núcleo del salar

Puntos	UTM WGS 84 (19S)		Tipo Punto	Profundidad (m)	Medición	Frecuencia Monitoreo	Observaciones	Información Historica	
	Norte	Este						Periodo Datos	Frecuencia
CL-2	7.385.226	573.543	Piezómetro	2,90	Nivel	Mensual		1985-2013	Mensual
P-1	7.384.028	572.836	Piezómetro	60,00	Nivel	Mensual		2013*	Mensual
P-2	7.376.974	574.432	Piezómetro	28,40	Nivel	Mensual		2013*	Mensual
P-3	7.384.225	579.260	Piezómetro	60,00	Nivel	Mensual		2013*	Mensual
P-4	7.388.998	571.160	Piezómetro	60,00	Nivel	Mensual		2013*	Mensual
P-5	7.377.774	576.092	Piezómetro	100,50	Nivel	Mensual		2013*	Mensual
S-1	7.380.182	570.953	Piezómetro	4,20	Nivel	Mensual		1989-2013	Mensual
S-4	7.388.865	575.914	Piezómetro	24,03	Nivel	Mensual		1989-2013	Mensual
PN-01	7.389.000	573.400	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-02	7.389.000	580.400	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-03	7.386.400	579.200	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-04	7.386.400	584.600	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-05	7.384.000	576.900	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-06	7.382.300	576.800	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-07	7.382.900	580.800	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-08	7.382.400	582.600	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-09	7.383.200	584.700	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-10	7.380.300	573.400	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-11	7.380.700	576.800	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-12	7.381.500	580.300	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-13	7.378.800	571.800	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-14	7.378.700	573.400	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-15	7.380.000	578.400	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-16	7.376.700	574.400	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		
PN-17	7.384.200	580.200	Piezómetro	10,00	Nivel	Mensual	Pozo por construir		

* Pozos perforados en la segunda mitad de 2013

Fuente: elaboración propia

Sistema La Punta La Brava

La red de monitoreo del sector La Punta-La Brava está compuesta por 14 puntos de los cuales 5 son de nueva construcción (Tabla 5-3.). En función de sus características se diferencian en piezómetros, piezómetros someros o multipiezómetros. La ubicación de estos puntos, construidos y por construir, se puede observar en la Figura 5-2.

Tabla 5-3. Puntos de monitoreo Sistema La Punta-La Brava

Puntos	UTM WGS 84 (19S)		Tipo Punto	Medición	Frecuencia Monitoreo	Profundidad (m)	Observaciones	Información Histórica	
	Norte	Este						Periodo Datos	Frecuencia
BA-05	7.375.322	576.374	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	1,75		2013*	Mensual
BA-07	7.376.688	578.408	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	1,90		2013*	Mensual
BA-14	7.376.025	576.845	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	1,40		2013*	Mensual
BA-26	7.374.400	574.200	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	2,00	Pozo por construir		
BA-27	7.378.300	580.500	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	2,00	Pozo por construir		
MP-01A				Nivel y Química	Mensual †	7,15			
MP-01B	7.376.425	578.753	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	30,40		2013*	Mensual
MP-01C				Perfil CE y Nivel	Mensual †	30,55			
MP-02A				Nivel y Química	Mensual †	12,00			
MP-02B	7.373.232	578.753	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	52,00		2013*	Mensual
MP-02C				Perfil CE y Nivel	Mensual †	50,00			
MP-03A				Nivel y Química	Mensual †	12,50			
MP-03B	7.373.946	577.652	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	30,50		2013*	Mensual
MP-03C				Perfil CE y Nivel	Mensual †	30,30			
MP-04A				Nivel y Química	Mensual †	41,50			
MP-04B	7.369.510	577.718	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	81,70		2013*	Mensual
MP-04C				Perfil CE y Nivel	Mensual †	120,65			
MP-05A				Nivel y Química	Mensual †	20,20			
MP-05B	7.373.351	572.916	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	60,00		2013*	Mensual
MP-05C				Perfil CE y Nivel	Mensual †	80,00			
MP-06A				Nivel y Química	Mensual †	30,00			
MP-06B	7.372.774	573.298	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	65,25		2013*	Mensual
MP-06C				Perfil CE y Nivel	Mensual †	81,50			
MP-09A				Nivel y Química	Mensual †	30,00			
MP-09B	7.367.300	578.000	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	100,00	Pozo por construir		
MP-09C				Perfil CE y Nivel	Mensual †	100,00			
PT-01				7.372.400	575.000	Piezómetro	Nivel	Mensual †	80,00
PT-02	7.361.100	580.500	Piezómetro	Perfil CE, Nivel y Química	Mensual †	100,00	Pozo por construir		

* Pozos perforados en la segunda mitad de 2013

† La medida de nivel piezométrico se realiza mensualmente, el perfil de CE se realiza de forma trimestral y el muestreo químico tiene carácter trimestral

Fuente: elaboración propia

Sistema Peine

La red de monitoreo del sector Peine está compuesta por 13 puntos (Tabla 5-4) de los cuales 8 son de nueva construcción. En función de sus características se diferencian en piezómetros, piezómetros someros y multipiezómetros. La ubicación de estos puntos, construidos y por construir, se puede observar también en la Figura 5-2.

Tabla 5-4. Puntos monitoreo sistema Peine

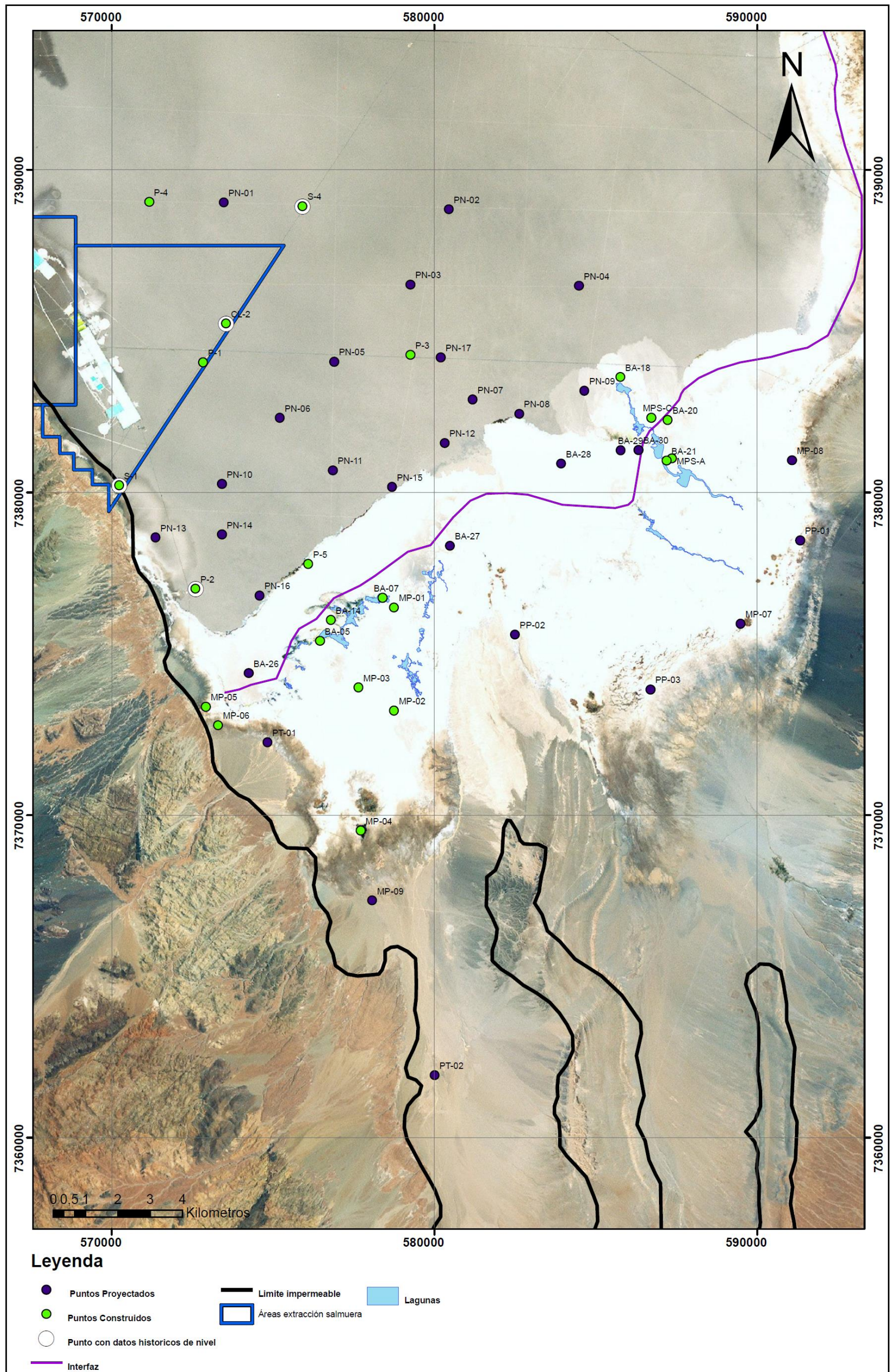
Puntos	UTM WGS 84 (19S)		Tipo Punto	Medición	Frecuencia Monitoreo	Profundidad (m)	Observaciones	Información Historica	
	Norte	Este						Periodo Datos	Frecuencia
BA-18	7.383.609	585.778	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	1,80		2013*	Mensual
BA-20	7.382.245	587.247	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	1,85		2013*	Mensual
BA-21	7.380.903	587.160	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	1,55		2013*	Mensual
BA-28	7.380.800	583.800	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	2,00	Pozo por construir		
BA-29	7.381.300	585.800	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	2,00	Pozo por construir		
BA-30	7.381.300	586.500	Piezómetro Somero	Nivel	Mensual †	2,00	Pozo por construir		
MP-07A				Nivel y Química	Mensual †	20,00			
MP-07B	7.380.663	591.100	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	100,00	Pozo por construir		
MP-07C				Perfil CE y Nivel	Mensual †	100,00			
MP-08A				Nivel y Química	Mensual †	20,00			
MP-08B	7.372.702	586.800	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	60,00	Pozo por construir		
MP-08C				Perfil CE y Nivel	Mensual †	60,00			
MPS-CA				Nivel y Química	Mensual †	4,00			
MPS-CB	7.382.309	586.729	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	30,70		2013*	Mensual
MPS-CC				Perfil CE y Nivel	Mensual †	40,00			
MPS-AA				Nivel y Química	Mensual †	3,40			
MPS-AB	7.381.049	587.365	Multipiezómetro	Nivel y Química	Mensual †	42,00		2013*	Mensual
MPS-AB				Perfil CE y Nivel	Mensual †	43,30			
PP-01	7.379.200	591.600	Piezómetro	Perfil CE, Nivel y Química	Mensual †	100,00	Pozo por construir		
PP-03	7.373.900	586.700	Piezómetro	Perfil CE, Nivel y Química	Mensual †	120,00	Pozo por construir		
PP-02	7.375.500	582.300	Piezómetro	Perfil CE, Nivel y Química	Mensual †	80,00	Pozo por construir		

* Pozos perforados en la segunda mitad de 2013



† La medida de nivel piezométrico se realiza mensualmente, el perfil de CE se realiza de forma trimestral y el muestreo químico tiene carácter trimestral

Fuente: elaboración propia

Figura 5-2. Puntos Monitoreo Nivel



Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Sistema Norte

La red de monitoreo del sector Norte está compuesta por 3 puntos todos ellos son piezómetros de nueva construcción (Tabla 5-5). La ubicación de estos puntos se puede observar en la Figura 5-3.

Tabla 5-5. Puntos Monitoreo Sistema Norte



Puntos	UTM WGS 84 19S		Tipo Punto	Medición	Frecuencia Monitoreo	Profundidad (m)	Observaciones	Información Historica	
	Norte	Este						Periodo	Frecuencia
PSN-01	7.414.300	585.200	Piezómetro	Nivel	Mensual	10,00	Pozo por construir		
PSN-03	7.400.600	592.100	Piezómetro	Nivel	Mensual	10,00	Pozo por construir		
PSN-02	7.402.400	590.200	Piezómetro	Nivel	Mensual	10,00	Pozo por construir		

Fuente: elaboración propia

Figura 5-3. Monitoreo en Sistema Norte



Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

5.3.2 Monitoreo Químico

Las campañas de muestreo químico tendrán una periodicidad trimestral. En estas campañas se muestrearán 28 puntos, de los cuales 15 corresponden a aguas subterráneas y 13 a aguas superficiales, la ubicación de los puntos de muestreo se recoge en la Tabla 5-6 y se muestra en la Figura 5-1.

Tabla 5-6. Ubicación Puntos de Muestreo

Puntos Propuestos	UTM WGS 84 19S		Medición	Frecuencia Monitoreo	Cota (m.s.n.m)	Profundidad (m)	Tipo Punto	Observaciones
	Norte	Este						
MP-01C	7.376.425	578.753	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.301,53	30,55	Multipiezómetro	
MP-02C	7.373.232	578.753	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.302,55	50,00	Multipiezómetro	
MP-03C	7.373.946	577.652	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.302,08	30,30	Multipiezómetro	
MP-04C	7.369.510	577.718	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.308,17	120,65	Multipiezómetro	
MP-05C	7.373.351	572.916	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.303,55	80,00	Multipiezómetro	
MP-06C	7.372.774	573.298	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.304,79	81,50	Multipiezómetro	
MP-07C	7.380.700	591.100	Perfil CE y Nivel	Trimestral		100,00	Multipiezómetro	Pozo por construir
MP-08C	7.372.700	586.800	Perfil CE y Nivel	Trimestral		60,00	Multipiezómetro	Pozo por construir
MP-09C	7.367.300	578.100	Perfil CE y Nivel	Trimestral		100,00	Multipiezómetro	Pozo por construir
MPS-AC	7.381.049	587.365	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.299,73	43,30	Multipiezómetro	
MPS-CC	7.382.309	586.729	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.299,10	40,00	Multipiezómetro	
PP-02	7.375.500	582.300	Perfil CE, Nivel y Química	Trimestral		80,00	Piezómetro	Pozo por construir
PP-03	7.373.900	586.700	Perfil CE, Nivel y Química	Trimestral		120,00	Piezómetro	Pozo por construir
PT-02	7.361.100	580.500	Perfil CE, Nivel y Química	Trimestral		100,00	Piezómetro	Pozo por construir

* El perfil CE se realizará trimestralmente, el muestreo químico de forma trimestral y la medida de nivel piezométrico de forma mensual

Fuente: elaboración propia

Los parámetros a analizar serán los que se muestran en la Tabla 5-7.



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Tabla 5-7. Parámetros a Analizar

Parámetros físico-químicos in situ:	C.E
	pH
	TDS
	Ta °C
	Alcalinidad Total
Parámetros físico-químicos en Laboratorio	CE
	pH
	TDS
	Ta °C
	Alcalinidad Total
Elementos Mayoritarios y minoritarios	Cl
	SO ₄ ²⁻
	HCO ₃ ⁻
	CO ₃ ²⁻
	NO ₃ ²⁻
	Na
	Ca
	Mg
	K
	F
	Al
	As
	B
	Fe
	Li
Si	
Sr	

Fuente: elaboración propia

5.3.3 Monitoreo Interfaz salina

El monitoreo de la interfaz salina se realizará con una periodicidad trimestral mediante la realización de un perfil de conductividad eléctrica en piezómetros habilitados con tubería ranurada en toda su extensión. Las cotas de los piezómetros por construir son aproximadas y se entregarán una vez finalice el levantamiento topográfico de todas las perforaciones a realizar; las cuales serán entregadas antes de iniciar el proyecto.

La red para la medida y control del interfaz salina está compuesta por 15 puntos, su ubicación está recogida en la Tabla 5-8 y se puede observar en la Figura 5-4 su ubicación espacial.



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

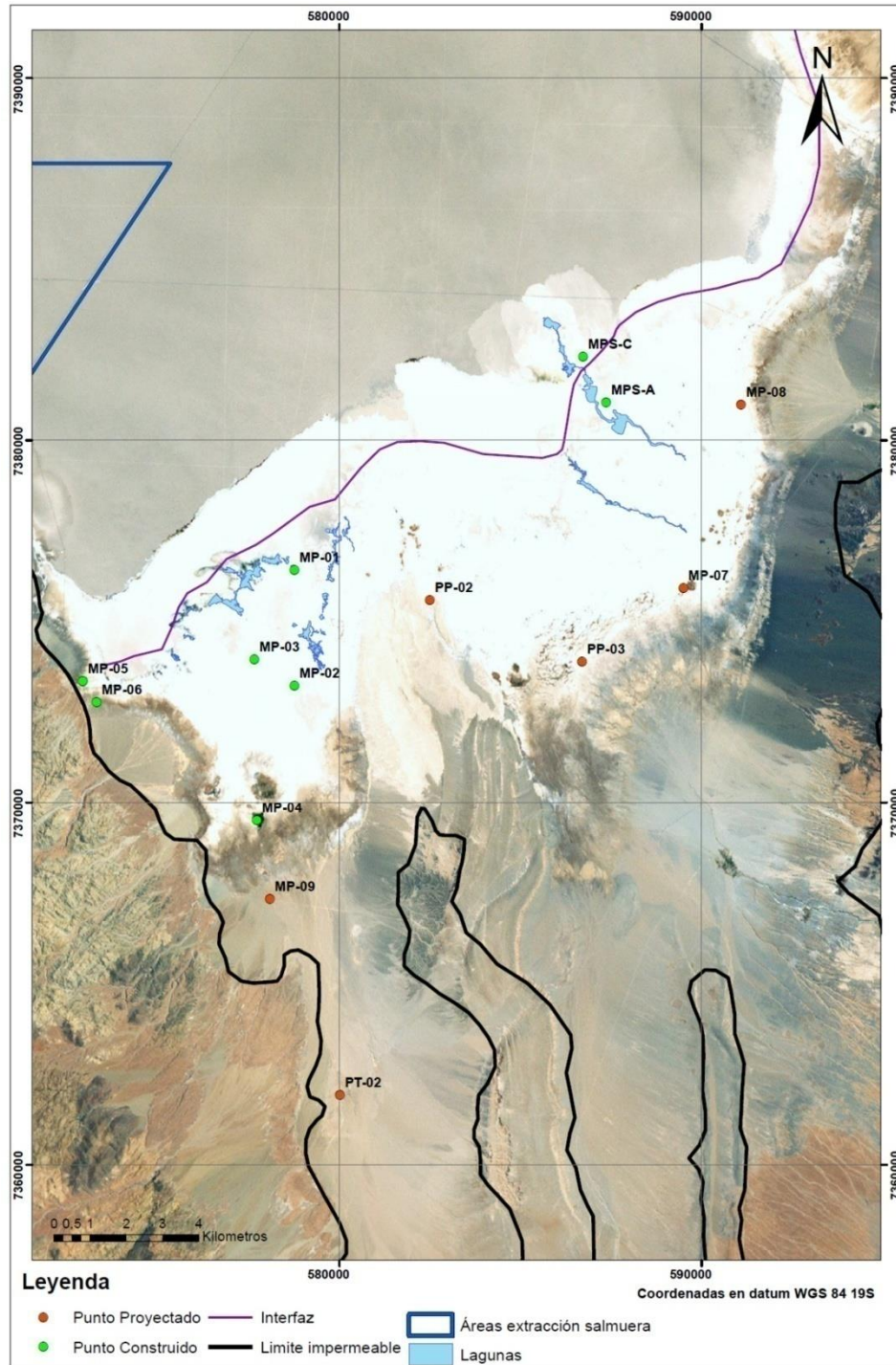
Tabla 5-8. Puntos Monitoreo Interfaz salina

Puntos Propuestos	UTM WGS 84 19S		Medición	Frecuencia Monitoreo	Cota (m.s.n.m)	Profundidad (m)	Tipo Punto	Observaciones
	Norte	Este						
MP-01C	7.376.425	578.753	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.301,53	30,55	Multipiezómetro	
MP-02C	7.373.232	578.753	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.302,55	50,00	Multipiezómetro	
MP-03C	7.373.946	577.652	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.302,08	30,30	Multipiezómetro	
MP-04C	7.369.510	577.718	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.308,17	120,65	Multipiezómetro	
MP-05C	7.373.351	572.916	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.303,55	80,00	Multipiezómetro	
MP-06C	7.372.774	573.298	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.304,79	81,50	Multipiezómetro	
MP-07C	7.380.700	591.100	Perfil CE y Nivel	Trimestral		100,00	Multipiezómetro	Pozo por construir
MP-08C	7.372.700	586.800	Perfil CE y Nivel	Trimestral		60,00	Multipiezómetro	Pozo por construir
MP-09C	7.367.300	578.100	Perfil CE y Nivel	Trimestral		100,00	Multipiezómetro	Pozo por construir
MPS-AC	7.381.049	587.365	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.299,73	43,30	Multipiezómetro	
MPS-CC	7.382.309	586.729	Perfil CE y Nivel	Trimestral	2.299,10	40,00	Multipiezómetro	
PP-02	7.375.500	582.300	Perfil CE, Nivel y Química	Trimestral		80,00	Piezómetro	Pozo por construir
PP-03	7.373.900	586.700	Perfil CE, Nivel y Química	Trimestral		120,00	Piezómetro	Pozo por construir
PT-02	7.361.100	580.500	Perfil CE, Nivel y Química	Trimestral		100,00	Piezómetro	Pozo por construir



* El perfil CE se realizará trimestralmente, el muestreo químico de forma trimestral y la medida de nivel piezométrico de forma mensual

Fuente: elaboración propia

Figura 5-4. Puntos de monitoreo de la Interfaz Salina



Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

5.3.4 Monitoreo del nivel de las lagunas.

El monitoreo del nivel de las lagunas se realizará con una periodicidad trimestral. Para ello se instalarán dos reglillas en cada laguna, cuyas coordenadas aproximadas se presentan en la Tabla 5-9. La ubicación espacial de las reglillas de las lagunas del sistema Norte se pueden observar en la Figura 5-3, mientras que para el sistema Peine y La Punta-La Brava las ubicaciones se pueden observar en la Figura 5-5 y Figura 5-6 respectivamente.

Se destaca que estas reglillas se instalarán de forma previa al inicio del incremento de las extracciones del proyecto, y su instalación se realizará acompañados de CONAF para garantizar la no afectación del sistema biótico y de fauna durante estos trabajos.

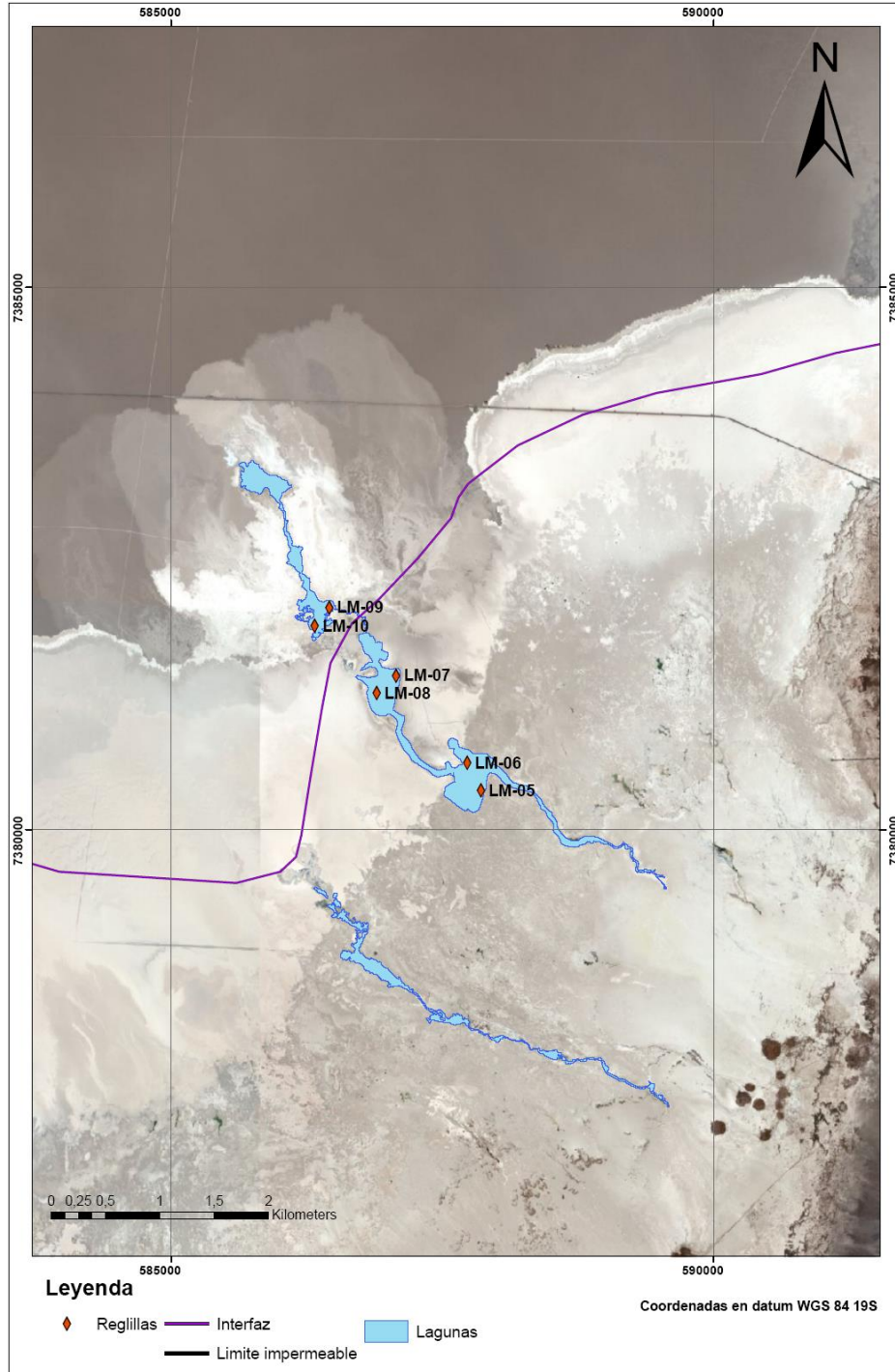
Las coordenadas finales dependerán de la factibilidad técnica y ambiental de la ubicación propuesta. De todas formas, siempre corresponderán a dos reglillas por lagunas y las coordenadas finales se entregarán a las autoridades ambientales con un informe de su instalación con las fotografías correspondientes.

Tabla 5-9. Reglillas de Medición

Sistema	Puntos	UTM WGS 84 (19S)		Tipo Punto	Observaciones
		Norte	Este		
La Punta- La Brava	LM-01	7.376.600	578.200	Reglilla	Por instalar
	LM-02	7.376.700	578.200	Reglilla	Por instalar
	LM-03	7.375.500	576.500	Reglilla	Por instalar
	LM-04	7.375.700	576.600	Reglilla	Por instalar
Peine	LM-06	7.380.600	587.700	Reglilla	Por instalar
	LM-05	7.380.400	587.900	Reglilla	Por instalar
	LM-07	7.381.400	587.000	Reglilla	Por instalar
	LM-08	7.381.300	586.900	Reglilla	Por instalar
	LM-09	7.382.100	586.500	Reglilla	Por instalar
	LM-10	7.381.800	586.300	Reglilla	Por instalar
Norte	LM-11	7.415.900	586.400	Reglilla	Por instalar
	LM-12	7.416.900	586.600	Reglilla	Por instalar
	LM-13	7.403.800	593.200	Reglilla	Por instalar
	LM-14	7.403.800	593.100	Reglilla	Por instalar

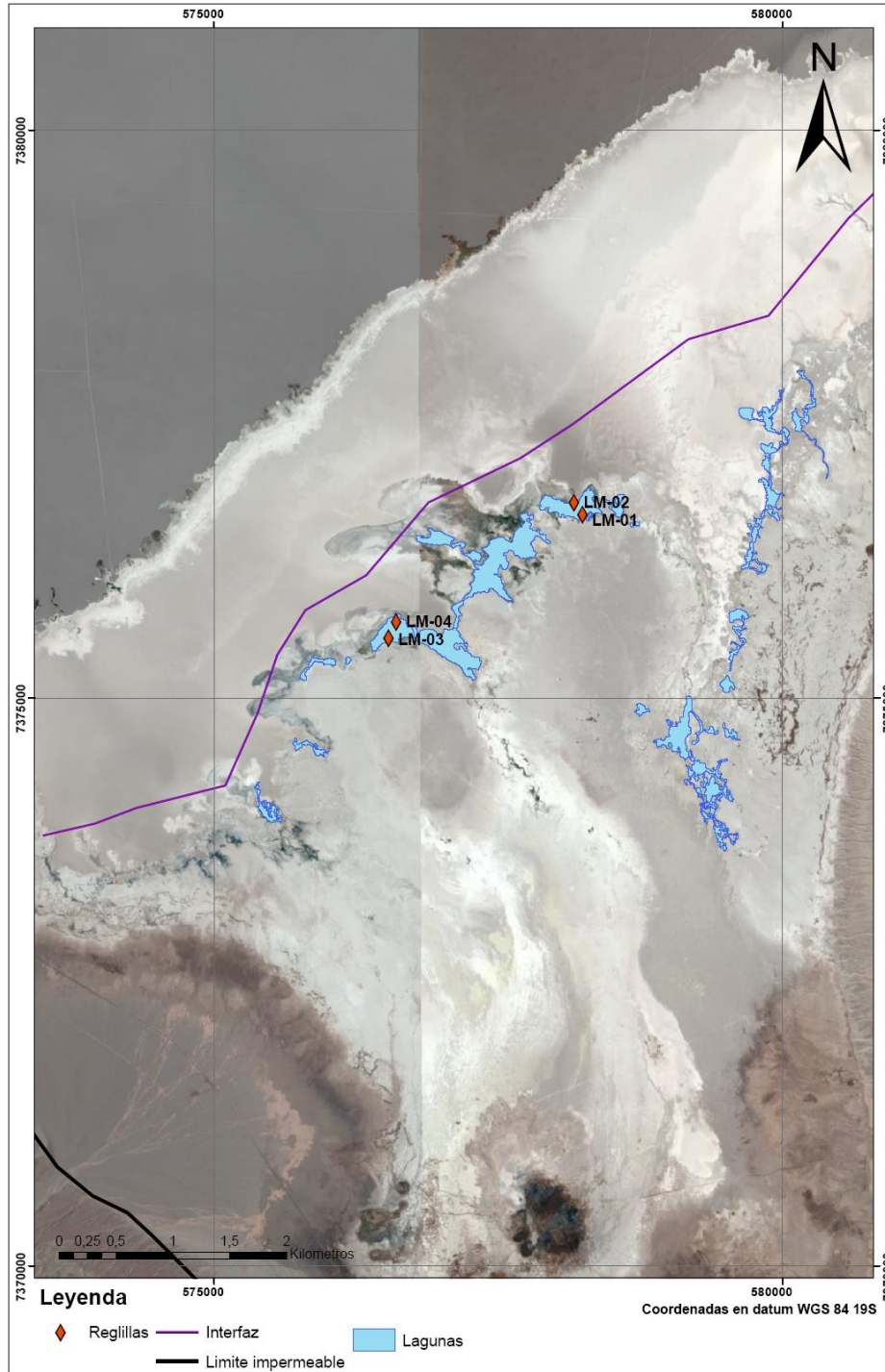
Fuente: elaboración propia

Figura 5-5. Reglillas del Sistema Peine





Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth

Figura 5-6. Reglillas del Sistema La Punta-La Brava



Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

5.3.5 Monitoreo superficie lagunar

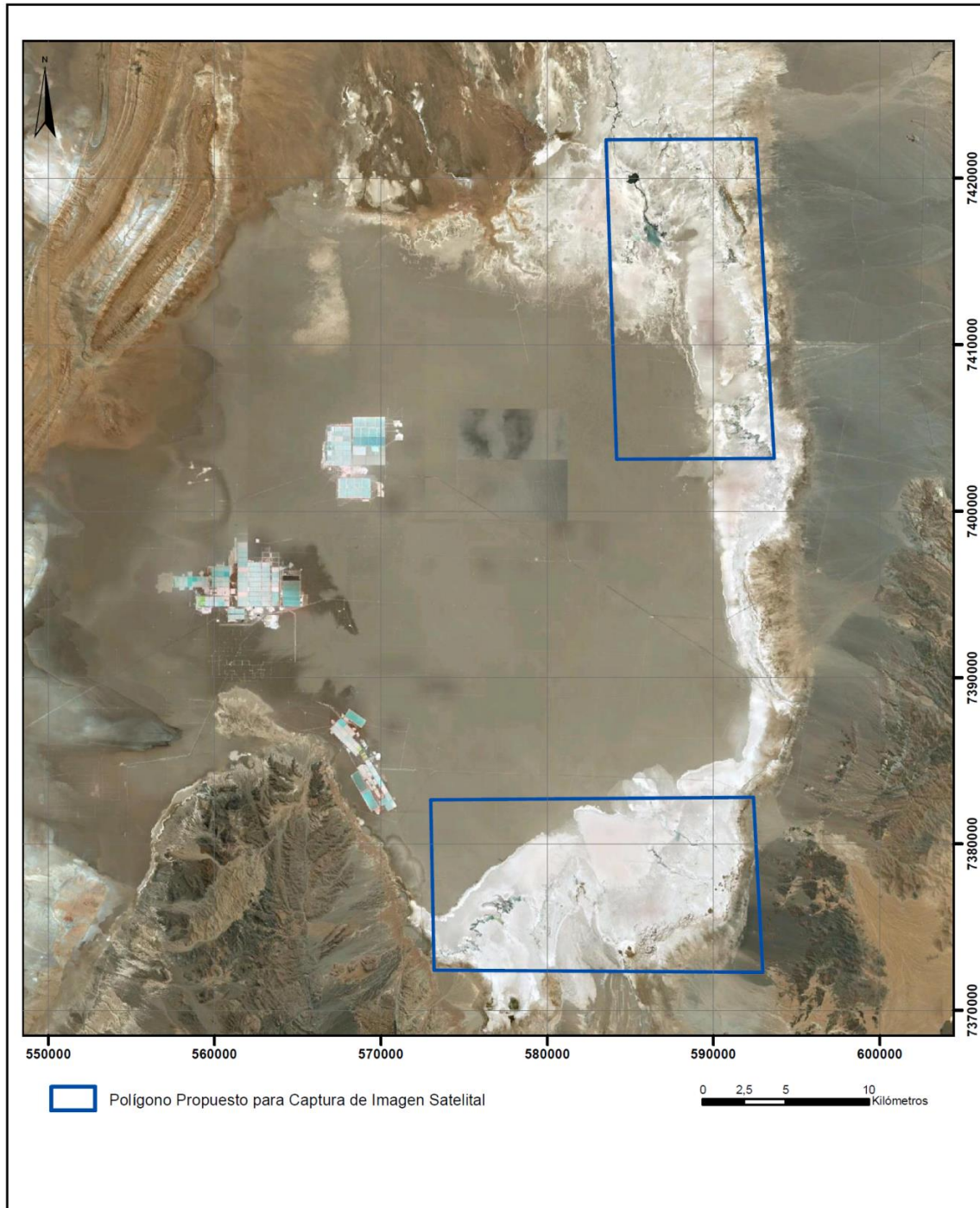
Para la medición de la superficie de las lagunas se utilizará la técnica de teledetección por resultar la opción menos invasiva, para ello se utilizaran imágenes del satélite Quickbird o un satélite con resolución equivalente.

Para poder comprender la dinámica estacional de alguna de las áreas lagunares el seguimiento será trimestral

La medición se realizará mediante dos imágenes de 200 km² que incluirán todas las áreas lagunares, en la Figura 5-7 se representa la superficie que cubrirán las imágenes satelitales.

El procedimiento consistirá en realizar la fotointerpretación de las imágenes satelitales.

Figura 5-7. Áreas de medición de Lagunas



Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth

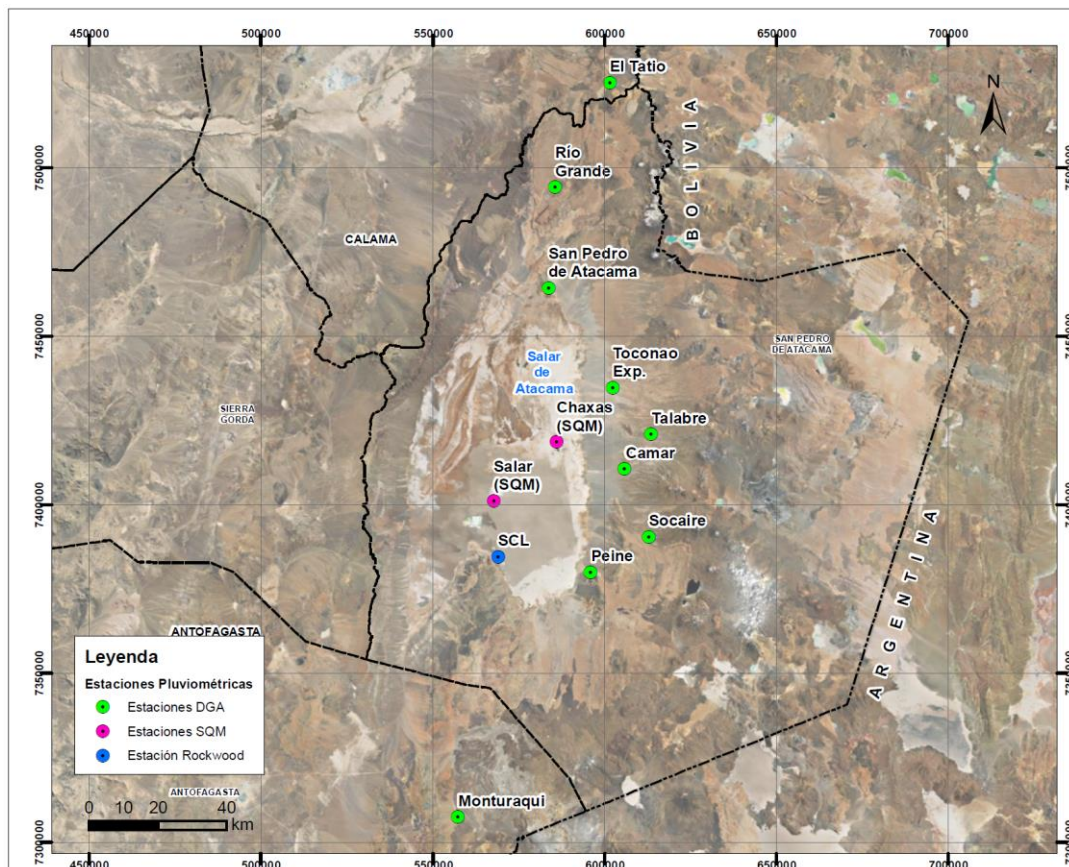
5.3.6 Monitoreo de las variables meteorológicas

La estación meteorológica de las instalaciones de la Planta de Rockwood en el Salar de Atacama realiza un registro continuo de las siguientes variables meteorológicas:

- Precipitación (mm)
- Evaporación (mm)
- Temperatura (°C)
- Presión atmosférica (mbar)

Esta información complementa y forma un conjunto con la generada en las estaciones de la DGA en la cuenca. La ubicación de las estaciones se presenta en la Tabla 5-10 y puede observarse en la Figura 5-8.

Figura 5-8. Estaciones Meteorológicas



Fuente: elaboración propia sobre imagen Google earth



	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA</p>	
	<p>ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA</p>	

Tabla 5-10. Estaciones meteorológicas DGA

Estación	Código	Coord. UTM (Datum WGS84)		Altura msnm
	BNA	Norte	Este	
El Tatio	02105022-9	7.525.377	601.377	4.370
Río Grande	02510007-7	7.494.353	585.501	3.250
San Pedro de A.	02510006-9	7.466.358	581.811	2.450
Peine	02500020-K	7.380.038	595.837	2.460
Camar	02500017-K	7.410.665	605.746	2.700
Talabre	02500021-8	7.421.064	613.518	3.300
Socaire	02500019-6	7.390.681	612.802	3.251
Toconao Experimental	02500016-1	7.434.832	602.365	2.500
Monturaqui	02660001-4	7.307.475	557.081	3.430

Fuente: elaboración propia

5.3.7 Monitoreo Volumen extraído

Rockwood controlará los volúmenes extraídos tanto de los pozos de salmuera del núcleo como de los pozos de agua de los acuíferos mediante caudalímetros certificados, instalados en todos los pozos que extraerán agua o salmuera para el presente proyecto.



5.4 ENTREGA DE INFORMES

Se considera entregar a las autoridades de la Región de Antofagasta un informe consolidado anual con toda la información levantada durante cada año por el Plan de Seguimiento Ambiental que dé cuenta de la evolución de los parámetros medidos en el tiempo. Para aquellos puntos del Plan de Seguimiento que forman parte también del Plan de Alerta Temprana, las mediciones realizadas se contrastarán con los pronósticos de los modelos numéricos.

Este informe se entregará en un plazo máximo de tres meses después de terminado cada año calendario.

La información que se genere en el plan de monitoreo será entregada a la autoridad para su revisión en un informe consolidado de carácter anual.

En este informe se incluirán los datos brutos obtenidos en terreno y en gabinete:

	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA</p>	
	<p>ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA</p>	



- Niveles piezométricos
- Calidad química
- Niveles de las lagunas
- Superficie de las lagunas
- Parámetros meteorológicos
- Volúmenes extraídos

Además se realizará un análisis de la información generada

Cada dos años se revisará y se evaluará el modelo conceptual, también se evaluará el modelo numérico y en caso de que se observen desviaciones entre los valores observados y los simulados se procederá a realizar una calibración del modelo.

Adicionalmente y sin perjuicio de lo anterior, Rockwood continuará entregando de forma trimestral a la autoridad la información bruta de los siguientes parámetros:

- Niveles piezométricos
- Volúmenes extraídos

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

6 PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AMBIENTAL BIÓTICO

6.1 OBJETIVO DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL

En la presente sección se presenta el plan de seguimiento biótico del Proyecto actualizado de acuerdo a las observaciones del Adenda 4 en el cual se han incorporado variables bióticas que permitirán evaluar la evolución temporal del estado ambiental de los sistemas representativos del Salar de Atacama descritos más adelante.

Para la ejecución del presente Plan de Seguimiento Ambiental, el Titular acordará un protocolo de monitoreo con CONAF con el objeto que las actividades que se realizan en las zonas protegidas por CONAF, zonas ambientalmente sensibles del Salar de Atacama, no sean afectadas por las actividades de seguimiento ambiental del Proyecto.

6.2 DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE SEGUIMIENTO



La estructura de los humedales está provista principalmente de los componentes que lo constituyen, biota acuática, vegetación hidrófila, fauna terrestre asociada a la vegetación ripariana, componentes abióticos, y las interacciones que se generan entre cada uno ellos. El funcionamiento corresponde a la expresión dinámica de la estructura del humedal, a través de cambios en los flujos de materia y energía entre los diferentes componentes del ecosistema.

6.2.1 Área de Monitoreo Ambiental Variables Bióticas

El Plan de Seguimiento de las variables bióticas contempla mediciones en dos sectores del Salar de Atacama. El sector I correspondiente al área sensible ubicada al Sur del Salar y el sector II, corresponde a los sistemas de Soncor y Quelana ubicados en sectores vecinos no influenciados, aproximadamente a 30 km al noreste de las dependencias de Rockwood. Las variables consideradas son flora, vegetación, fauna terrestre y biota acuática. A continuación se listan los sectores y los sistemas asociados:

Sector I

- Sector Vegas de Tilopozo
- Sistema Peine: correspondiente a las lagunas Salada, Saladita e Interna
- Sistema La Punta y La Brava: Lagunas La Punta y La Brava

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Sector II

- Sistema Noreste: correspondiente a las lagunas del sector norte del salar Chaxas, Soncor, Quelana y Barros Negros

6.2.2 Variables Ambientales Propuestas

Con la finalidad de verificar que no se generarán efectos adversos significativos sobre la vegetación y la fauna silvestre asociados a los principales sistemas hidrológicos se proponen como variables ambientales a monitorear los componentes más sensibles y factibles de evaluar en el tiempo (ver Tabla 6-1).



Tabla 6-1. Componentes bióticos y Parámetros del Plan de Seguimiento

Instrumento	Componente	Parámetros
Informe de Monitoreo Ambiental	Vegetación	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación hidrófila • Cobertura de la vegetación herbácea • Vitalidad
	Flora	<ul style="list-style-type: none"> • Riqueza de la Flora dentro de su variación histórica
	Fauna de Vertebrados Terrestres	<ul style="list-style-type: none"> • Composición, Riqueza y Abundancia de Flamencos • Composición, Riqueza y Abundancia de aves • Composición y Riqueza de Reptiles • Composición y Riqueza de mamíferos
	Biota Acuática	<ul style="list-style-type: none"> • Composición, Riqueza y Abundancia de especies Planctónicas (Fitoplancton y Zooplancton) • Composición, Riqueza y Abundancia de especies bentónicas (Fitobentos y Zoobentos)

Fuente: ATM S.A 2014.

6.2.3 Monitoreo de Flora y Vegetación

El seguimiento del componente vegetación y flora permitirá detectar si se producen cambios en la cobertura vegetal de los Sectores de Borde Sur y Borde Este. El análisis de estos antecedentes, en conjunto con otras variables monitoreadas en el proyecto (meteorológicas, hidrológicas, hidrogeológicas, contenido de humedad del suelo) y la consideración de antecedentes de nivel local y regional (ocurrencia de fenómenos naturales), permitirán evaluar la procedencia de implementar medidas de contingencias.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Para el caso de la vegetación se utilizarán transectos mediante los cuales se evaluará la cobertura de las formaciones vegetales, a partir del método point quadrant y sobre la base de registros de terreno. Para el caso de la Flora, se medirá la riqueza y abundancia de especies de flora, en una red de puntos de muestreo, distribuidos en transectos en el Sector borde Sur y borde Este del Salar.

El plan de monitoreo contempla la ejecución de dos mediciones efectuadas en forma previa a la operación del proyecto (medición ya efectuada en septiembre 2013 y marzo a realizar una vez obtenida la RCA) y mediciones periódicas durante la etapa de operación y abandono.

Respecto a los resultados de las campañas de monitoreo efectuadas en forma previa a la operación del proyecto (septiembre 2013 y marzo una vez obtenida la RCA), se propone que los futuros monitoreos se efectúen en forma anual durante el mes de marzo. Lo anterior debido a que ese periodo representa el momento de mayor expresión de la vegetación.

La localización inicial propuesta para los transectos tuvo en consideración la posición de los pozos de extracción de agua dulce y la existencia de sitios singulares en el sector Sur y borde Este. Adicionalmente, dando cumplimiento a lo solicitado en la observación del Adenda 4, se agregó la zona localizada Aguas de Quelana, donde se incluyeron tres transectos adicionales.

Área de Estudio

Para el monitoreo de flora y vegetación se propone un total de 18 puntos, distribuidos en dos sectores: el sector Sur constituido por diferentes sistemas, Sistema La Punta y La Brava, Borde sector Tilopozo, Borde Sector Tilomonte, Borde Oriental y sector Salar; y el sector Este, constituido por los sistemas Aguas de Quelana y Soncor. En el sector Sur del salar los puntos de monitoreo fueron definidos por los límites de los polígonos vegetacionales que se encuentran en el ecotono del Salar de Atacama y las laderas de los cerros, en aquellos casos donde los límites de los polígonos vegetacionales son difusos, se estableció un límite con apoyo de imágenes satelitales y los antecedentes recopilados en terreno.

Las coordenadas propuestas para el monitoreo de flora y vegetación se presentan en la Tabla 6-2 a continuación (ver Figura 6-1 y Figura 6-2).



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

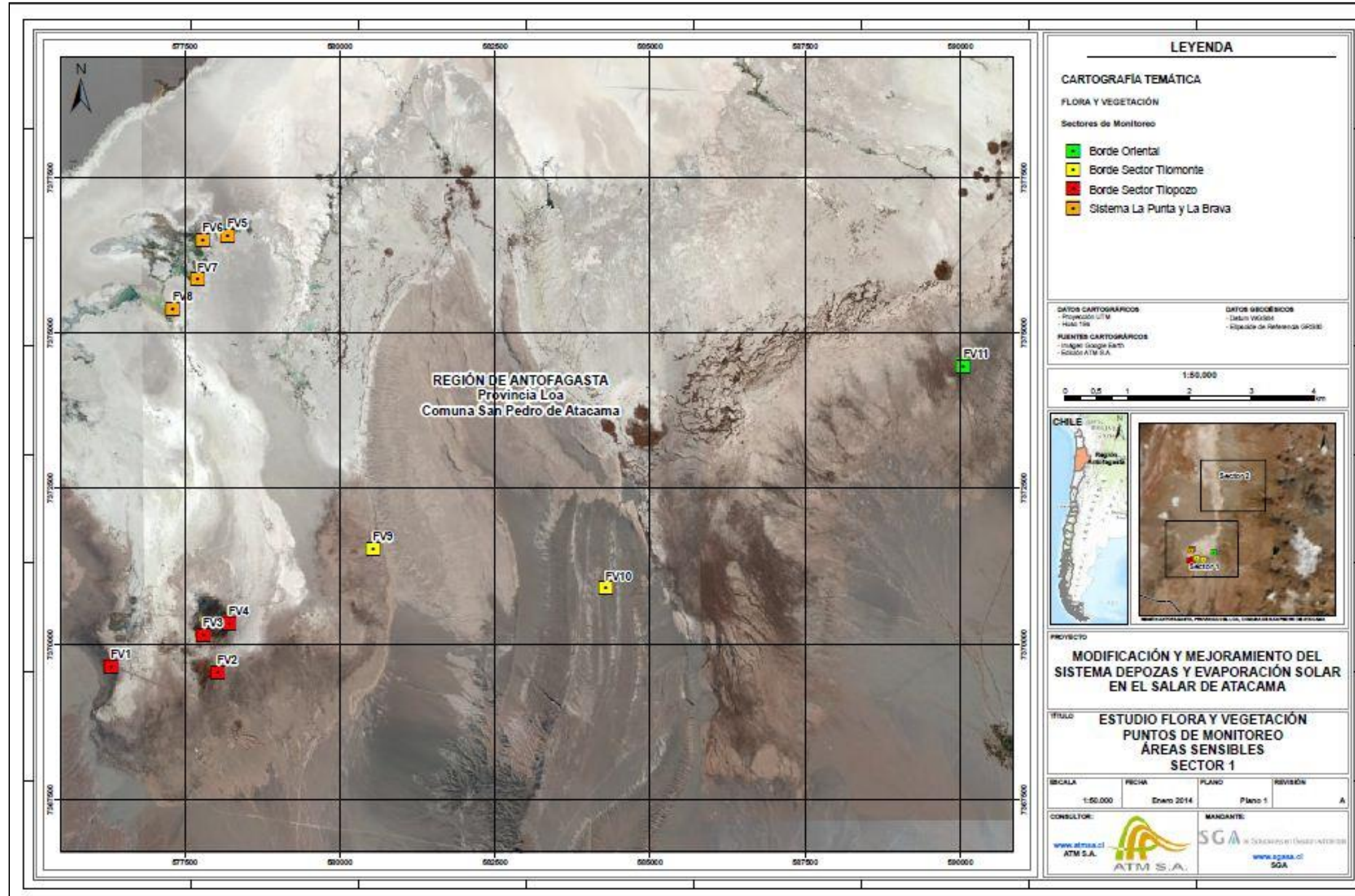
Tabla 6-2. Puntos de Monitoreo Flora y vegetación

Sector	Vértice	Coordenadas geográficas (UTM)	
		Norte	Este
Borde Sector Tilopozo	FV1	7.369.645	576.306
	FV2	7.369.538	578.022
	FV3	7.370.139	577.791
	FV4	7.370.337	578.205
Sistema La Punta y La Brava	FV5	7.376.552	578.185
	FV6	7.376.488	577.786
	FV7	7.375.860	577.699
	FV8	7.375.378	577.303
Borde Sector Tilomonte	FV9	7.371.519	580.529
	FV10	7.370.891	584.279
Borde Oriental	FV11	7.374.470	590.048
Sistema Norte	FVQ1	7.403.875	593.195
	FVQ2	7.404.060	592.771
	FVQ3	7.404.302	592.290
	FVQ4	7.405.736	591.577
	FVS1	7.415.797	586.347
	FVS2	7.416.918	586.733
	FVS3	7.419.687	585.388

Fuente: AT-EME S.A.2014. Las coordenadas están expresadas en unidades UTM (Datum WGS84 19S).

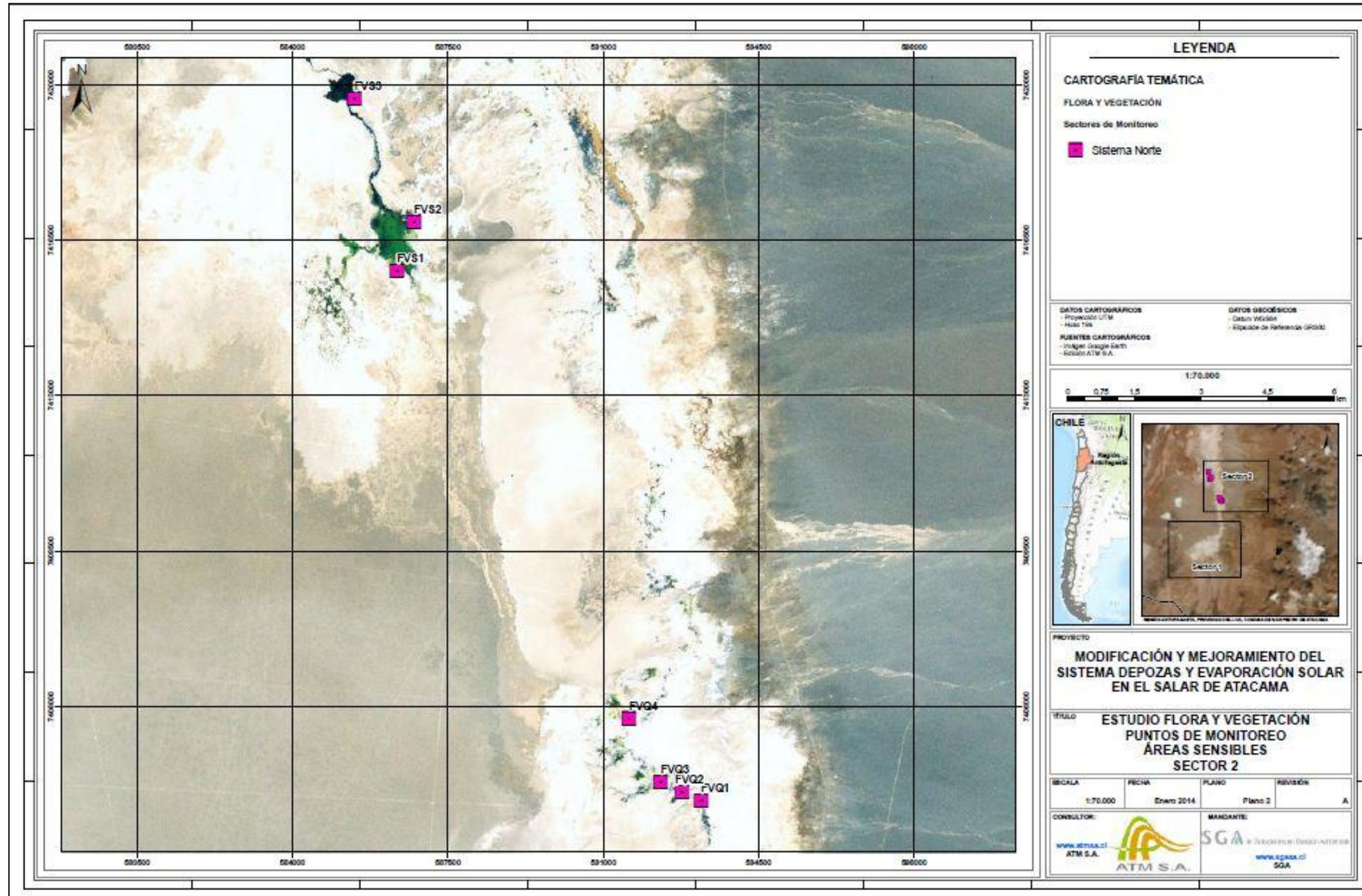
Además se utilizará el método Point Quadrant con los transectos en el sector sur del Salar previamente definidos como se muestran en la Tabla 6-4 y Figura 6-3.

Figura 6-1. Área de Monitoreo Flora y Vegetación, Sector Sur del Salar.





Fuente: AT-EME S.A. 2014.

Figura 6-2. Área de monitoreo Sector Norte de flora y vegetación.



Fuente: AT-EME S.A. 2014.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

6.2.4 Monitoreo de Vegetación

El monitoreo se realizará mediante el método cartográfico de descripción de la vegetación desde el punto de vista fisionómico, denominado Carta de Ocupación de Tierras (COT, Etienne y Prado, 1982), adaptado a las condiciones del país por Etienne y Contreras (1981). Este método es usado para delimitar y describir unidades homogéneas de vegetación e indicar el nivel de perturbación. La metodología desempeña una descripción objetiva de la vegetación y el uso del suelo a través de la descripción de las formaciones vegetales, la cobertura de ellas, la altura y composición de las especies dominantes.



A continuación en la Tabla 6-3, se presenta un resumen del Uso actual del suelo en el área de estudio. El área asociada al proyecto tiene una superficie total de 64.848,336 ha, de estas, el uso de suelo con mayor superficie corresponde a las áreas desprovistas de vegetación con un total de 62.338,306 ha, contribuyendo con el 96,12 % del total general.

Por otra parte, las Praderas y Matorrales se encuentran en el segundo lugar aportando con una superficie total de 1700,915 ha, igual al 2,63 % del total general. El tipo de uso con mayor superficie descrito es Matorral pradera con un total de 1.034,746 ha, correspondiente al 1,60 % del total general. En una menor proporción se encuentran los Matorrales con un 180,257 ha, correspondiente al 0,28% del total general.

Tabla 6-3. Uso actual del suelo en el área sensible

Uso de suelo	Tipo de Uso	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Áreas Urbanas e Industriales	Ciudades – Pueblos – Zonas Industriales	694,994	1,07
Terrenos Agrícolas	Rotación Cultivo-Pradera	0,0	0,00
Praderas y Matorrales	Praderas	485,912	0,75
	Matorral pradera	1.034,746	1,60
	Matorral	180,257	0,28
	Matorral con suculenta	0,0	0,00
	Suculentas	0,0	0,00
Bosques	Plantaciones	0,0	0,00
Humedales	Bofedal – Vegas – Otros terrenos húmedos	114,121	0,18
Áreas desprovistas de Vegetación	Afloramientos rocosos – Derrumbes sin vegetación – Otros terrenos sin vegetación	62.338,306	96,12
Total		64.848,336	100

Fuente: AT-EME S.A. 2013.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Vegetación hidrófila

La vegetación hidrófila presenta características y requerimientos específicos que le permiten desarrollarse en condiciones ambientales restringidas. Cualquier variación que presente el medio en el cual se desarrolle, afectará directamente el crecimiento de las especies vegetales.

Metodología de medición

Se estimará la cobertura de cada especie presente en los sistemas durante el período estival mediante transectas.

Frecuencia del monitoreo

Anual

Objetivo del monitoreo

Identificar cualquier modificación en estructura de la vegetación hidrófila.



Cobertura de la vegetación herbácea

Se establecerá mediante una medición lineal de vegetación durante la estación estival, el porcentaje de cada especie vegetal que compone la formación en estudio. Una disminución en el porcentaje de la cobertura vegetal, sería un indicador de la existencia de factores ambientales adversos que afectarán directamente en el crecimiento y cobertura de la formación.

Metodología de medición:

- Point Quadrat

El monitoreo de la vegetación se efectuará bajo el método de Point Quadrat (Daget y Poissonet, 1971; Etienne et al., 1979), el cual describe con alta precisión el porcentaje de cobertura de vegetación, ya que describe cómo se organiza ésta bajo un análisis vertical, perpendicular al transecto de muestreo. Para que el transecto sea representativo de la unidad discriminada, tendrá una longitud de 50 metros rectos dentro de la unidad, en los cuales cada 50 centímetros se establecerá el sensor que consistirá en una varilla de 5 milímetros de diámetro, en total se realizarán 100 puntos de medición por cada transecto. Para cada punto, se determinará el número de contactos de la varilla con cualquier órgano de las especies presentes. Además se identificará el número de individuos de cada especie que presente contacto con la varilla. Los transectos propuestos se pueden observar en la Figura 6-3.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Para aquellas formaciones de tipo arbustivas se establecerán 10 transectos de medición de 50 metros, además, a cada lado del transecto se abarcará un área de 1 metro con el objetivo de registrar aquellas especies arbustivas presentes a las cuales se les medirá el diámetro de la copa y su respectiva altura. De esta manera, se obtendrán parcelas de 100 m² las que serán monitoreadas de manera periódica. Cada transecto será colocado de manera perpendicular al ancho de la formación, lo que permitirá abarcar sectores de mayor a menor humedad dentro de la formación. Por otra parte, se establecerán 4 transectos de medición en sectores fuera del área de influencia del Proyecto con la finalidad que sirvan como testigo del estudio a realizar.

- Análisis de transectos Point Quadrat.

A partir de los datos tomados mediante la metodología Point Quadrat, se realizará una caracterización de los transectos de muestreos. Para esto, se han definido 3 tipos de medición, las cuales corresponden a cobertura, dominancia y abundancia. El propósito de esto, además de la caracterización de la composición florística, es la de obtener información necesaria para el plan de seguimiento.

Los parámetros relevantes para la lectura se relacionan con variables de estado de superficie (suelo desnudo, rastrojo, mantillo, sales, fecas, rocas) y de las especies presentes (participación de presencia y de contactos).

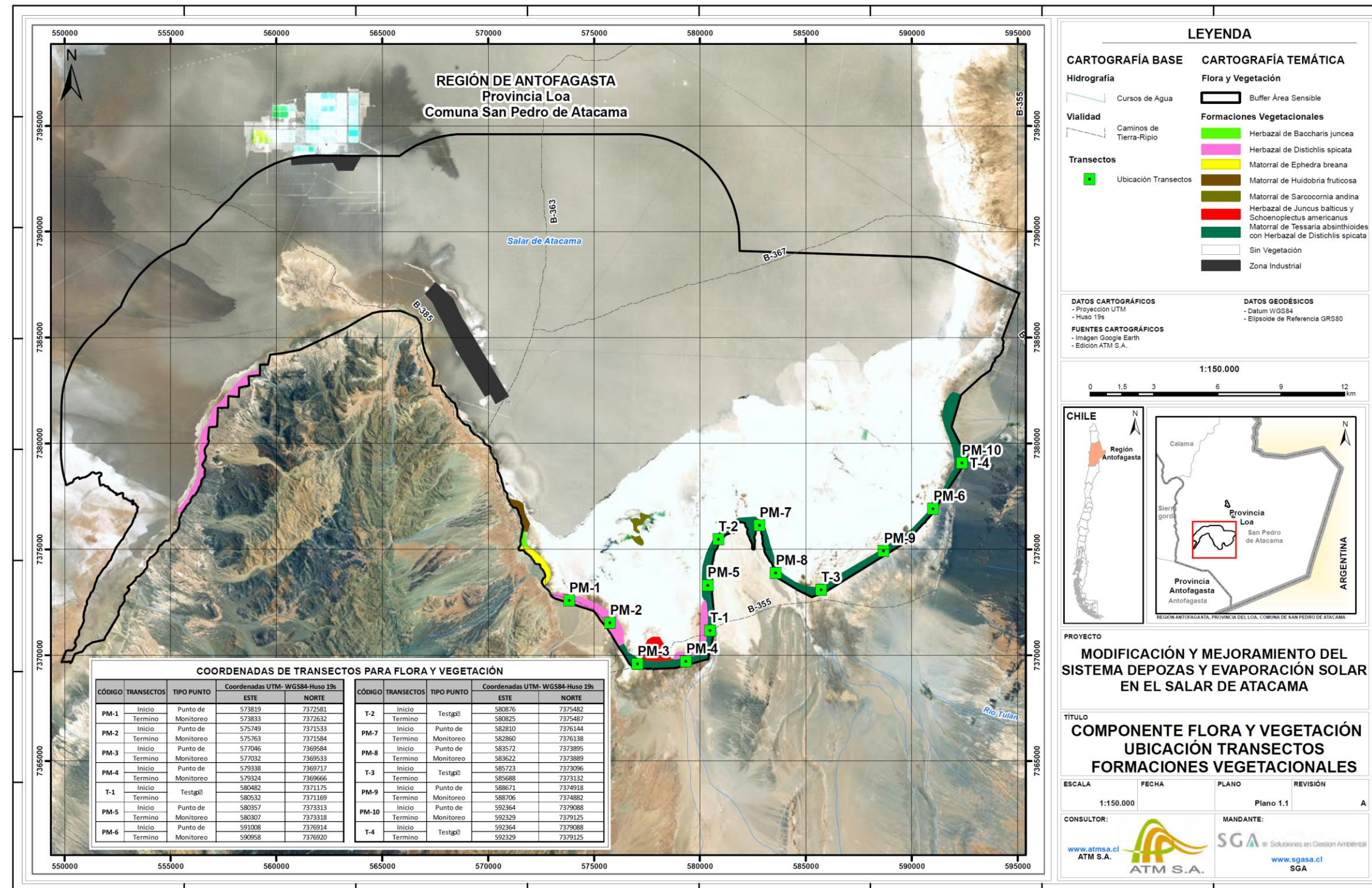
Se establecerá mediante una medición lineal de vegetación durante la estación estival, el porcentaje de cada especie vegetal que compone la formación en estudio. Una disminución en el porcentaje de la cobertura vegetal, sería un indicador de la existencia de factores ambientales adversos que afectarán directamente en el crecimiento y cobertura de la formación.



Tabla 6-4. Coordenadas de las ubicaciones de los transectos

CÓDIGO	TRANSECTOS	TIPO PUNTO	Coordenadas UTM-WGS84-Huso 19s	
			ESTE	NORTE
PM-1	Inicio	Punto de Monitoreo	573819	7372581
	Termino		573833	7372632
PM-2	Inicio	Punto de Monitoreo	575749	7371533
	Termino		575763	7371584
PM-3	Inicio	Punto de Monitoreo	577046	7369584
	Termino		577032	7369533
PM-4	Inicio	Punto de Monitoreo	579338	7369717
	Termino		579324	7369666
T-1	Inicio	Testigo	580482	7371175
	Termino		580532	7371169
PM-5	Inicio	Punto de Monitoreo	580357	7373313
	Termino		580307	7373318
PM-6	Inicio	Punto de Monitoreo	591008	7376914
	Termino		590958	7376920

CÓDIGO	TRANSECTOS	TIPO PUNTO	Coordenadas UTM-WGS84-Huso 19s	
			ESTE	NORTE
T-2	Inicio	Testigo	580876	7375482
	Termino		580825	7375487
PM-7	Inicio	Punto de Monitoreo	582810	7376144
	Termino		582860	7376138
PM-8	Inicio	Punto de Monitoreo	583572	7373895
	Termino		583622	7373889
T-3	Inicio	Testigo	585723	7373096
	Termino		585688	7373132
PM-9	Inicio	Punto de Monitoreo	588671	7374918
	Termino		588706	7374882
PM-10	Inicio	Punto de Monitoreo	592364	7379088
	Termino		592329	7379125
T-4	Inicio	Testigo	592364	7379088
	Termino		592329	7379125

Figura 6-3. Ubicación de Transectos Formaciones vegetacionales



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Frecuencia del monitoreo:

Anual.

Objetivo del monitoreo:

Identificar una disminución en el porcentaje de cobertura de vegetación.

Vitalidad

Vitalidad de la vegetación.

Metodología de medición:

Parcelas permanentes

Mediante parcelas permanentes de monitoreo, se realizarán inspecciones visuales de la vitalidad de las especies que componen las distintas formaciones. Estas inspecciones se establecerán en el período que representa el momento de mayor expresión de la vegetación correspondiente al mes de marzo.

La medición del estado vital de los ejemplares seleccionados en cada parcela se efectuará durante el periodo en que las formaciones vegetales del Borde Sur y Borde Este que presentan follaje con biomasa fotosintéticamente activa, lo que ocurre aproximadamente entre los meses de Noviembre y Mayo.



Además, se observará el estado fenológico en el cual se encuentra cada ejemplar clasificándola en tres estados:

- 1: Estado juvenil, especies inmaduras en proceso de crecimiento.
- 2: Estado vegetativo, especies adultas que se encuentran sin estructuras reproductivas.
- 3: Estado reproductivo, especies adultas que se encuentran en proceso de floración o fructificación.

La evaluación del estado vital de los ejemplares seleccionados considera la medición de las siguientes variables:

Vitalidad: Se efectuará una evaluación cualitativa de acuerdo con las siguientes categorías:

- 0: Ejemplar seco, no presenta follaje verde.
- 1: Ejemplar muy débil, presenta escaso follaje verde, se observan signos de ataque de patógenos.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

2: Ejemplar débil, aunque presenta follaje verde pueden observarse signos leves de ataque de patógenos.

3: Ejemplar de crecimiento normal, presenta gran parte de su follaje verde, sin signos de patógenos.

4: Ejemplar excepcionalmente vigoroso, presenta abundancia de follaje.

Frecuencia del monitoreo:

Anual.

Objetivo del monitoreo:

Identificar cualquier efecto detrimental sobre la vegetación.



6.2.5 Monitoreo de Flora

Para el seguimiento de la flora se utilizará la red de puntos de muestreo establecida en las campañas de monitoreo previas a la operación del proyecto. Esta red consiste en un conjunto de 18 puntos de muestreo. Cada punto de muestreo estará compuesto por una parcela de 25 m², lo que hace un total de 18 parcelas. En Tabla 6-2 se entregan las coordenadas de los puntos de muestreo.

En cada punto de muestreo se medirá la frecuencia de especies presentes y se efectuará una caracterización del sustrato, a través de una descripción del suelo. Se registrará además las especies observadas en el área de estudio fuera de los puntos de muestreo, a objeto de establecer la riqueza florística para toda el área de interés. Para la adecuada identificación de especies se tomarán muestras de ramillas, flores y frutos las que posteriormente serán identificadas.

La comparación de los resultados obtenidos en cada campaña de medición respecto de la situación de línea base y anteriores mediciones efectuadas en la etapa de operación, permitirá la detección de cambios a nivel de la abundancia y riqueza de las especies para cada transecto y para el área de estudio en general.

La detección de cambios significativos en estas variables o la identificación de tendencias de cambio en la cobertura de las comunidades vegetales, serán analizadas en conjunto con otros antecedentes, tales como: registros históricos de meteorología local y regional, monitoreo de variables hidrogeológicas y antecedentes provenientes de otros estudios efectuados tanto a nivel local como regional. La consideración de estos antecedentes permitirá identificar la ocurrencia de variaciones por factores naturales (tales como fenómenos ENSO) en el área de estudio.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

La caracterización de la flora potencial, se realizará mediante la composición florística de las comunidades indicadas por Gajardo (1994) y Luebert y Pliscoff (2006), descritas previamente, que implican especies representativas, acompañantes, comunes y ocasionales. De manera complementaria se incluirá una observación respecto al estado de conservación de la flora mencionada, según las fuentes legales del Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres (RCE): D.S. N° 151/06, D.S. N° 50/08, D.S. N° 51/08, D.S. N° 23/09, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES) y los D.S. N° 33/11, D.S. N° 41/11, D.S. N° 42/11, D.S. N° 19/12 y D.S. N° 13/13 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Además, se utilizará el “Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile” (Benoit, 1989) y de manera referencial la propuesta sobre las Categorías de Conservación de cactáceas de Chile, en el Boletín N° 47 del Museo Nacional de Historia Natural (Belmonte et al., 1998).

Riqueza de la Flora dentro de su variación histórica

Metodología de medición

Parcelas

Mediante parcelas permanentes de monitoreo, se realizarán inventarios florísticos que permitirán indicar la riqueza específica de las formaciones vegetales en estudio. Estos inventarios se realizarán con una campaña que se realizará en el mes de marzo, con el fin de establecer las especies florísticas presentes. La presencia o ausencia de alguna especie, permitirá establecer de manera objetiva la existencia de algún efecto desfavorable en el medio cercano.

Frecuencia del monitoreo



Anual.

Objetivo del monitoreo

Identificar cambios en la estructura comunitaria.

6.3 MONITOREO DE FAUNA

El monitoreo de la fauna se efectuará sobre la base del muestreo periódico de la presencia y abundancia de la fauna en los diferentes hábitat presentes en el área de estudio. El área de estudio está conformada por el sector denominado Borde Sector Tilopozo, Sistema La Punta y La Brava, Borde Sector Tilomonte, Borde Oriental y Sistema de Peine. Se incluyó además el sector Norte solicitado en Adenda 4.



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Para obtener una caracterización representativa de la fauna de cada sistema, los puntos propuestos corresponden a 22. En la Tabla 6-5 se presentan las coordenadas geográficas de cada punto de monitoreo y su ambiente asociado, mientras que en la Figura 6-4 y Figura 6-5 se muestra la ubicación espacial de los puntos de monitoreo.

Tabla 6-5. Coordenadas puntos de monitoreo fauna terrestre y ambiente asociado

Sector	Punto de Muestreo	Coordenadas Geográficas *		Ambiente Asociado
		Este	Norte	
Borde Sector Tilopozo	F1	576.296	7.369.572	Borde de salar, presencia de formaciones vegetacionales
	F2	578.025	7.369.587	Suelos húmedos, bastante vegetación
	F3	577.841	7.370.458	Afloramiento de agua dulce, bastante vegetación
Sistema La Punta y La Brava	F4	578.201	7.376.850	Laguna La Punta
	F5	577.876	7.376.222	Laguna La Punta
	F6	577.639	7.375.858	Laguna La Punta
	F7	577.279	7.375.436	Laguna La Brava
	F8	576.670	7.375.402	Laguna La Brava
	F9	576.229	7.375.244	Laguna La Brava
Borde Sector Tilomonte	F10	585.629	7.370.847	Planicie con formación vegetal extensa
Borde Oriental	F11	591.437	7.378.745	Planicie con formación vegetal extensa
Sistema Peine	F12	586.535	7.382.079	Laguna Saladita
	F13	585.767	7.382.972	Laguna interna
	F14	587.125	7.381.348	Laguna Saladita
	F15	587.701	7.380.794	Laguna salada
Sistema Norte	Q1	592.564	7.404.082	Quelana
	Q2	591.671	7.404.848	Quelana
	Q3	591.281	7.406.023	Quelana
	S1	585.933	7.416.017	Soncor
	S2	586.786	7.415.580	Soncor
	S3	586.775	7.416.871	Soncor
	S4	585.581	7.419.877	Soncor

Fuente: AT-EME S.A.2014. *Las coordenadas están expresadas en unidades UTM (Datum WGS84 19S).

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

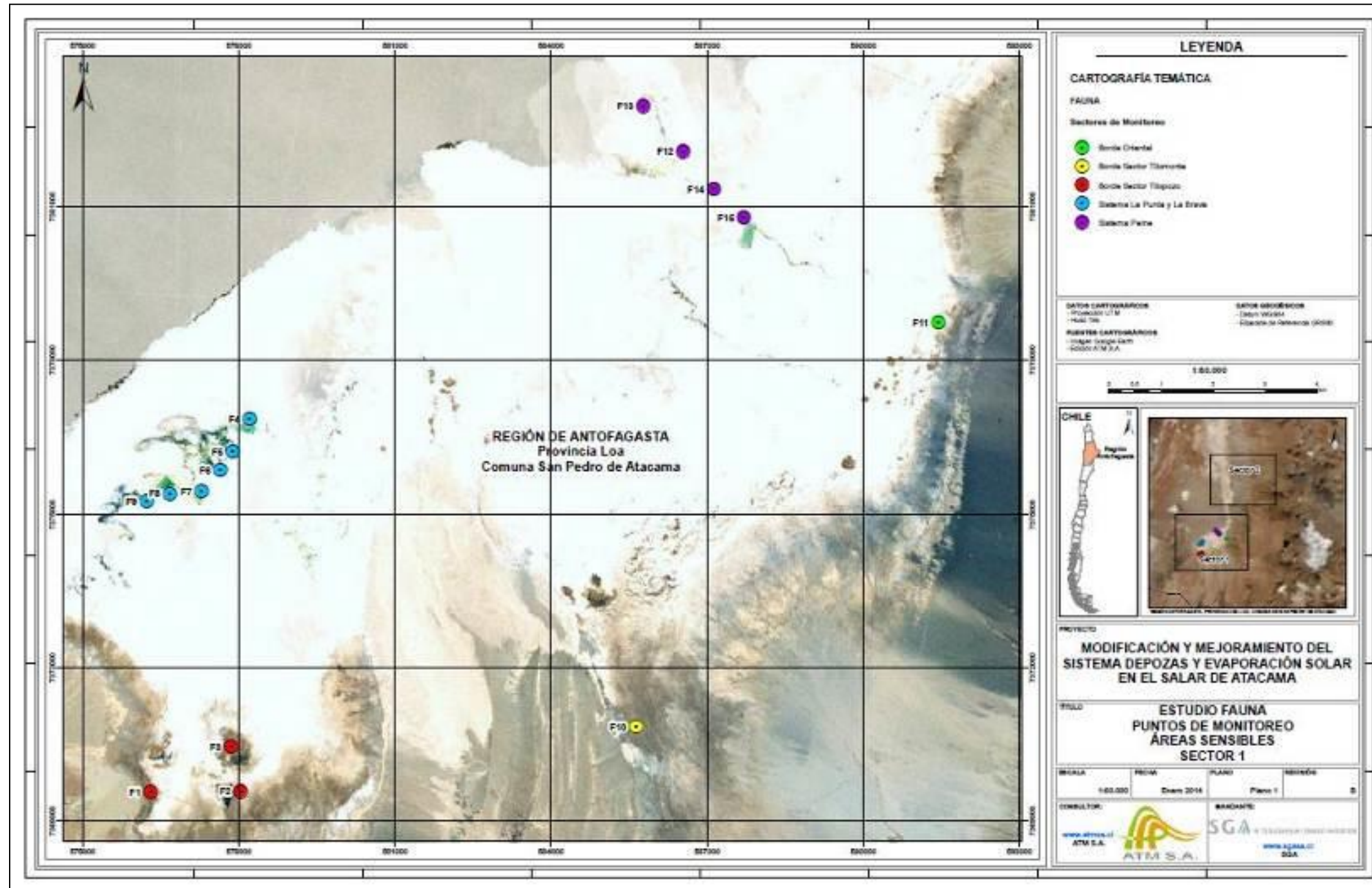
Se efectuará un muestreo estratificado de la fauna, considerando los ambientes asociados, a partir de campañas de terreno en las que se establecerá el listado de especies de fauna presentes y sus abundancias.

La determinación taxonómica de los animales se efectuará mediante consulta a la siguiente bibliografía específica:

- Reptiles: Donoso-Barros (1966), Pincheira-Donoso y Núñez (2005);
- Aves: Jaramillo (2003), Johnson (1965, 1967), Martínez y González (2005), Stotz et al. (1996);
- Mamíferos: Mann, (1978) y Muñoz y Yáñez (2000).

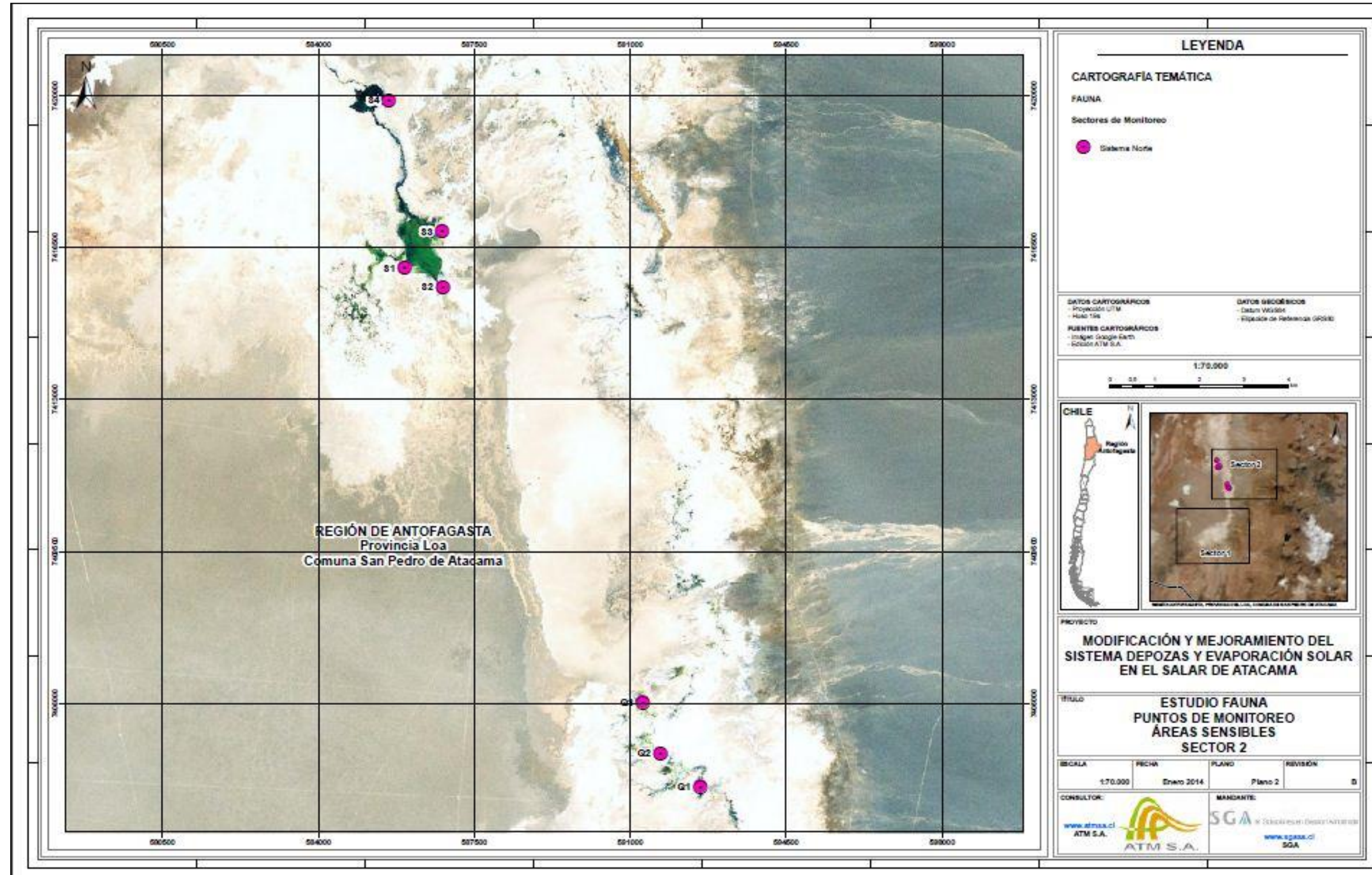
Las metodologías que se utilizarán para la elaboración de los listados faunísticos y el cálculo de las abundancias de los distintos grupos de fauna se indican a continuación. No se considerarán especies de anfibios, debido a que no se registraron ejemplares de este grupo durante las campañas de Monitoreo Pre-Operacionales y tampoco se describen para esta zona en la literatura consultada.

Figura 6-4. Área Monitoreo de Fauna sector Sur del Salar de Atacama





Fuente: AT-EME S.A. 2014.

Figura 6-5. Área de monitoreo de Fauna Sistema Este



Fuente: AT-EME S.A. 2014.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

6.3.1 Composición, Riqueza y Abundancia de aves

Metodología de medición

Censos en los espejos de agua de las principales lagunas.

En los espejos de agua de las lagunas, se registrarán todas las aves dentro de un radio de 150 m. Para esto se utilizará la técnica de estaciones fijas de conteo, donde se esperarán 3 minutos para la ambientación de las aves y luego se registrarán todas las aves en un periodo determinado (7 minutos). El número de estaciones estará determinado según la superficie del espejo de agua monitoreado. Se registrará cada individuo avistado directamente (utilizando binoculares de 50x20 o telescopio) o escuchando su canto (utilizando la clave de Egli).

Se identificarán a nivel específico las aves de los sistemas evaluados (riqueza), junto con la abundancia de cada una y se caracterizará el ensamble en cada sistema, con una campaña anual a efectuarse en el mes de marzo. Cualquier variación detectada, que implique una disminución de los valores de estos parámetros evaluados, riqueza y abundancia, alertará sobre cambios que impliquen por ejemplo, mortalidad de individuos, alteración de la reproducción o migración a otros sitios.

Frecuencia del monitoreo

Anual.

Objetivo del monitoreo

Identificar cambios en abundancia, riqueza y/o ensambles.



6.3.2 Composición, Riqueza y Abundancia de Flamencos

Metodología de medición

Censos en los espejos de agua de las principales lagunas.

En los puntos de observación, se realizará un barrido, identificando y censando flamencos por especie. Se identificará y censarán a los individuos juveniles hasta especie y los no identificados también serán censados. Se registrará cada individuo avistado directamente, utilizando binoculares de 50x20 o telescopio.

Los conteos se realizarán con una campaña anual a efectuarse en el mes de marzo. Se cuantificará el contingente que utiliza estos sistemas como sitios de alimentación y refugio

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

de las condiciones climáticas de mayor rigurosidad. Estas mediciones permitirán detectar la existencia de algún efecto detrimental sobre las poblaciones que obligasen a los individuos, por ejemplo, migrar a otros sitios.

Frecuencia del monitoreo

Anual.

Objetivo del monitoreo

Identificar disminución en abundancia y/o riqueza.

6.3.3 Reptiles

La metodología propuesta para este grupo de fauna considera prospecciones terrestres efectuadas sobre un total de 22 transectos lineales distribuidos en los distintos hábitats presentes en el área de estudio. Para tales efectos se escogieron seis sectores, los que en sentido este-oeste presentan la mayor cantidad de hábitats para este grupo de fauna.

El procedimiento para el cálculo de abundancias de reptiles contempla las siguientes etapas:

Identificación de hábitats relevantes para reptiles



De acuerdo con las prospecciones efectuadas en las campañas de Monitoreo Pre-Operacionales en septiembre de 2013 y marzo de 2014 propuesto.

Cálculo de abundancia de reptiles mediante transectos lineales

Cada transecto de 200 m será recorrido a pie una vez por día. Para cada recorrido se registrarán los individuos observados a una distancia de hasta 20 m a cada lado del transecto y se estandarizará el tiempo de muestreo a 20 minutos para todos los transectos. Este método permite registrar el número de especies presentes en cada hábitat y su abundancia relativa.

6.3.4 Mamíferos

La metodología propuesta para este grupo de fauna considera captura de ejemplares para los micromamíferos, la instalación de parcelas olfativas, observación directa y métodos indirectos para los carnívoros. La instalación de trampas y parcelas olfativas se efectuará

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

en el sector Sur del Salar. Adicionalmente, se considera muestrear un segundo sector, el Sector Este constituido por Aguas de Quelana y Soncor.

De acuerdo con la bibliografía consultada y la experiencia del equipo consultor, se definieron los hábitat relevantes asociados a los sectores vegetacionales.

Cálculo de abundancias de micromamíferos mediante trampeo



Para el estudio de los micromamíferos se instalarán 20 trampas Sherman en los cinco sectores considerados en el estudio de la fauna. Las estaciones de muestreo (ver Figura 6-4 y Figura 6-5) serán instaladas en los hábitats considerados relevantes para este grupo. Las trampas (de captura viva) se cebarán con avena y se mantendrán abiertas por un período de tres noches lo que da un esfuerzo total de captura de 100 trampas/noche por cada sector. Para la instalación de trampas se solicitarán los permisos necesarios al Servicio Agrícola y Ganadero. Las abundancias se calcularán a partir del promedio de animales capturados en cada estación de muestreo en los tres días de muestreo.

Cálculo de abundancias de carnívoros a través de parcelas olfativas, observación directa y métodos indirectos

Para establecer la abundancia relativa de carnívoros se utilizará un índice de visitas a estaciones de atracción olfativa. El método consiste en atraer mediante cebos olfativos a los animales hacia estaciones donde pueda registrarse su presencia en base a las huellas dejadas en ellas (usualmente sobre un sustrato de tierra cernida) (Conner et al., 1983). Como índice de visitas se utiliza la proporción de estaciones visitadas por animales en relación al número total de estaciones en operación (Muñoz-Pedrerros et al., 1995). Se instalarán tres estaciones olfativas en los diferentes sectores considerados en el estudio de la fauna, en los hábitats considerados relevantes para este grupo. Estas serán monitoreadas durante un periodo de tres días, junto con las estaciones de muestreo de micromamíferos.

Frecuencia de medición

El muestreo de la Fauna Terrestre se efectuará anualmente durante el mes de marzo, al término del período estival.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

6.4 MONITOREO DE BIOTA ACUÁTICA



Los procesos biológicos en los ecosistemas acuáticos presentes en ecotipos de evaporación, son una expresión de las condiciones físicas y químicas que se producen en la columna de agua y sedimentos, modulados por factores forzantes externos. De este modo, cualquier cambio en el comportamiento de ambas matrices, generará cambios en la composición y abundancia de las comunidades acuáticas.

Para delimitar el área de monitoreo de biota acuática, se utilizó como base las obras y actividades asociadas a la construcción y operación del proyecto "Modificación y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama". Debido a las características específicas del área se incluyeron los principales sistemas hidrológicos cercanos. Conjuntamente se consideraron sistemas hidrológicos retirados a las obras proyectadas, como Aguas de Quelana, Barros Negros y Chaxa, con la finalidad de abarcar la mayor extensión de terreno y según lo solicitado en el presente Adenda 4.

En la zona marginal del salar, rodeando al núcleo, existen cuerpos de agua superficial, donde se desarrollan los sistemas hidrológicos; éstos se ubican en un área límite donde confluyen el agua dulce de los acuíferos de la cuenca de aporte al salar y la salmuera del núcleo. El sistema hidrológico Soncor, emplazado en el área centro oriental del Salar, está conformado por las lagunas Puilar, Chaxa, Burro Muerto y Barros Negros; en el sistema Aguas de Quelana emplazado en el borde sur-oriental del Salar se ubican pequeñas cuerpos lacustres de aguas someras interconectadas entre sí por canales naturales; el sistema hidrológico de Peine emplazado al sur del Salar se encuentran las lagunas Salada, Saladita e Interna, La Punta y La Brava. Las coordenadas propuestas para el monitoreo de biota acuática se presentan en la Tabla 6-6 a continuación (ver Figura 6-6 y Figura 6-7).

Tabla 6-6. Puntos de monitoreo de biota acuática.

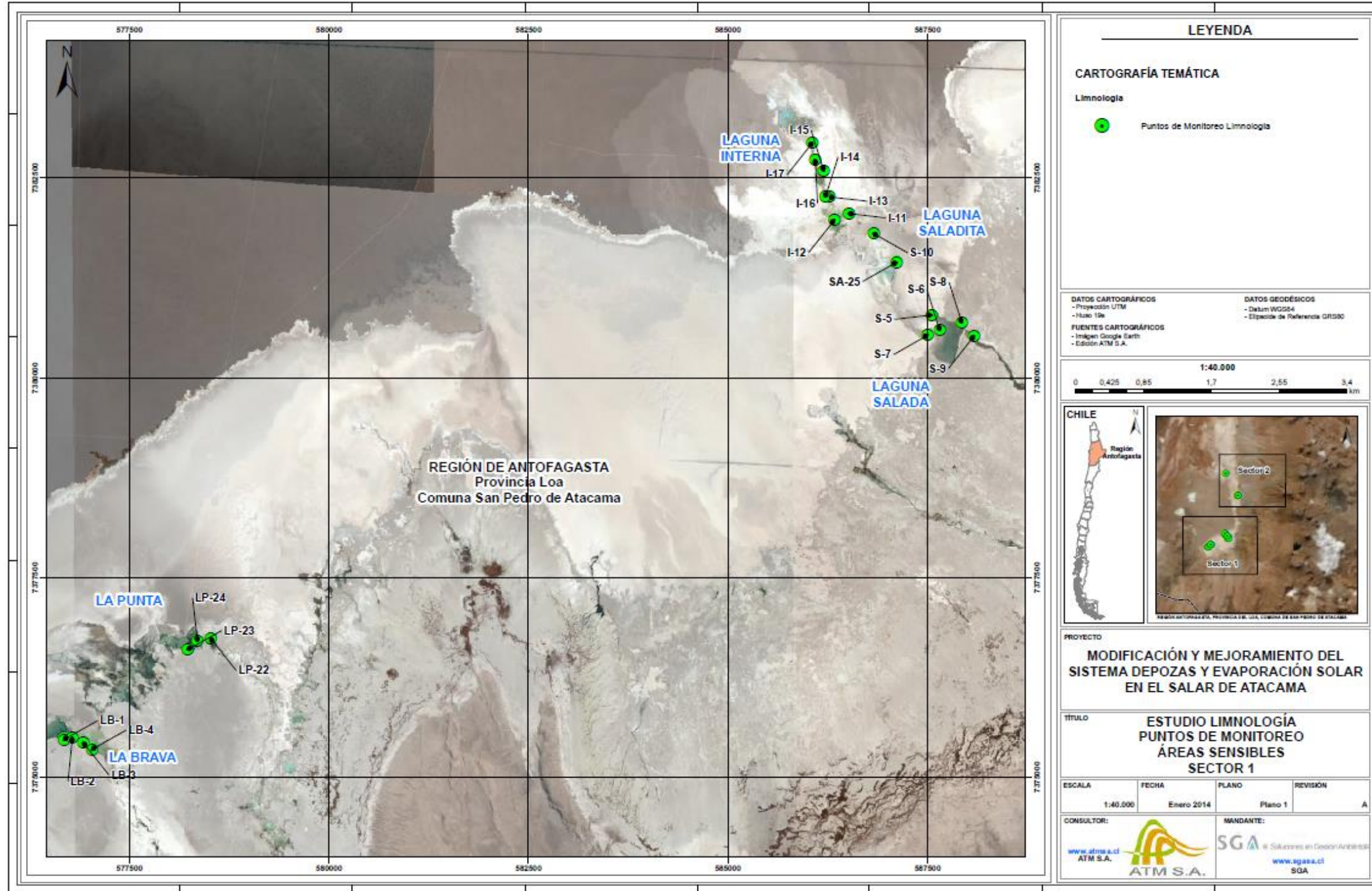
SISTEMA	ÁREA	ESTACIÓN	Este	Norte
SISTEMA LA BRAVA-LA PUNTA	Laguna La Brava	LB-1	576.677	7.375.474
		LB-2	576.782	7.375.494
		LB-3	576.921	7.375.432
		LB-4	577.034	7.375.354
	Laguna La Punta	LP-22	578.517	7.376.737
		LP-23	578.230	7.376.599
LP-24		578.352	7.376.703	

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

SISTEMA	ÁREA	ESTACIÓN	Este	Norte	
SISTEMA DE PEINE	Laguna Salada	S-5	587.551	7.380.785	
		S-6	587.655	7.380.597	
		S-7	587.502	7.380.531	
		S-8	587.931	7.380.689	
		S-9	588.084	7.380.520	
		S-10	586.827	7.381.805	
	Laguna Interna	I-11	586.515	7.382.055	
		I-12	586.332	7.381.970	
		I-13	586.274	7.382.262	
		I-14	586.221	7.382.262	
		I-15	586.202	7.382.593	
		I-16	586.096	7.382.726	
		I-17	586.058	7.382.940	
	Laguna Saladita	SA-25	587114	7381447	
	SISTEMA NORTE	Aguas de Quelana	AQ-18	593.162	7.403.855
			AQ-19	593.165	7.403.801
			AQ-20	593.186	7.403.569
AQ-21			593.226	7.403.716	
Laguna Barros Negros		BN-26	586.262	7.416.025	
Chaxa		CH-27	585.156	7.419.747	

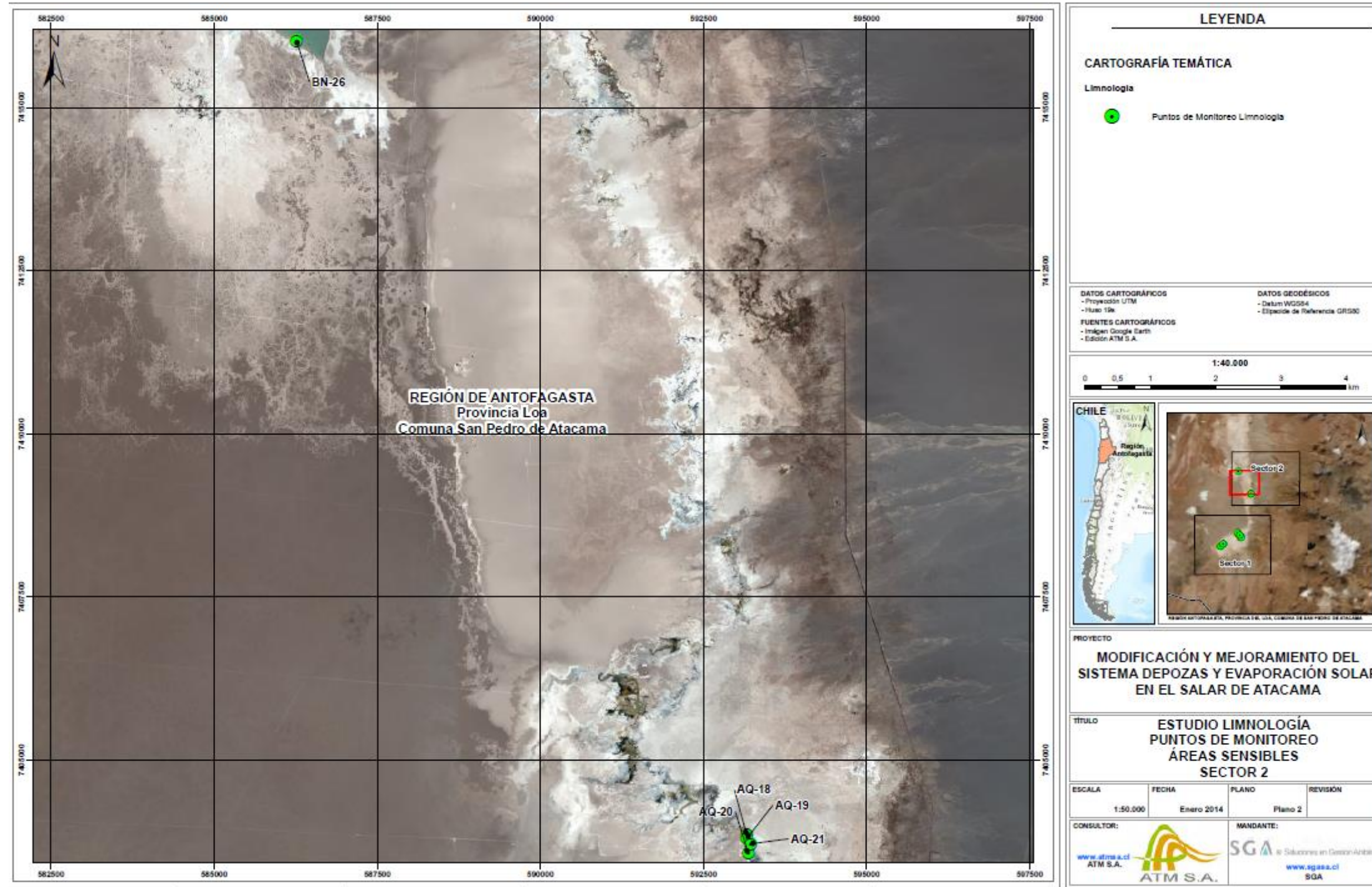
Fuente: AT-EME S.A.2014. Las coordenadas están expresadas en unidades UTM (Datum WGS84 19S).

Figura 6-6. Área de monitoreo Biota acuática Sector Sur.





Fuente: AT-EME S.A. 2014.

Figura 6-7. Área de monitoreo Biota acuática Sector Este



Fuente: AT-EME S.A. 2014.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

6.4.1 Composición, Riqueza y Abundancia de especies Planctónicas (Fitoplancton y Zooplancton)

Se propone monitorear los parámetros comunitarios de las especies planctónicas presentes en los sistemas hidrológicos con una campaña anual que se realizará en el mes de marzo. Con la finalidad de evaluar cambios en la estructura comunitaria. La relevancia ecológica de este sistema acuático de alta salinidad es que mantiene estacionalmente poblaciones de flamencos, las cuales se alimentan y reproducen. La trama trófica que sostiene a las poblaciones de flamencos, se basa en la producción primaria de las microalgas bentónicas que se desarrollan en forma de tapetes, las que acopladas con diferentes grupos funcionales de bacterias producen carbono suficiente para la fauna de invertebrados y aves, que las utiliza como principal recurso alimentario.



Metodología de medición

Monitoreo Aguas Superficiales

- Fitoplancton

Para evaluar cualitativamente y cuantitativamente las microalgas que se encuentran en la columna de agua (fitoplancton), se obtendrá una muestra de 1.000 mL desde la columna de agua, la cual será almacenada en botellas plásticas y serán fijadas *in situ* con lugol para su posterior traslado al laboratorio, donde serán analizadas mediante la metodología de Utermöhl (Wetzel y Likens 2000).

Los análisis cuantitativos se realizarán a partir de las muestras entregadas en botellas plásticas fijadas con solución de lugol. Las muestras serán analizadas de acuerdo al método de concentración en cámaras de sedimentación marca Hydrobios (Utermöhl 1958) utilizando un microscopio invertido modelo Olympus CK2 a un aumento de 400X. Se utilizarán cámaras de 5, 10 y 25 ml según el sedimento o la abundancia fitoplanctónica de las muestras, dejando sedimentar por lo menos 2 horas por centímetro de altura según las recomendaciones de Elozegi & Sabater (2009). Para cada muestra se contarán los individuos hasta que la especie más abundante alcanzará los 100 individuos o se llegasen a 300 campos, lo que se cumpliera primero. Para la identificación taxonómica de los géneros se utilizará las descripciones de Biggs & Kilroy (2000), Cox (1996), Parra & Bicudo (1996) y Parra et al. (1982, 1983), Parra & Bicudo (1995), Bicudo & Menezes (2005), Round et al. (1990) y Sant'Anna et al. (2006).

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

- Zooplancton

La determinación de la composición y abundancia del zooplancton se realizará mediante la obtención de muestras en terreno (una muestra por estación) y su posterior análisis en laboratorio de esta comunidad biológica. Se obtendrán muestras del zooplancton mediante filtración de 20 litros de agua a través de un tamiz de 58 µm de abertura de malla. Para los sistemas acuáticos lénticos, de mayor tamaño y con una profundidad mayor de 50 cm se utilizará una red de zooplancton. Las muestras serán fijadas *in situ* con alcohol y enviadas al laboratorio, para su identificación taxonómica y estimación de abundancia de la totalidad de los taxa mediante lupa estereoscópica por medio del conteo total de individuos en cámaras de recuento (Wetzel y Likens, 2000). La identificación taxonómica se realizará utilizando las descripciones de Araya y Zúñiga (1985) y Bayly (1992). Los resultados serán expresados en número de individuos por litro (ind/L).

Frecuencia del monitoreo

Anual.

Objetivo del monitoreo

Identificar cambios en la estructura comunitaria.

6.4.2 Composición, Riqueza y Abundancia de especies bentónicas (Fitobentos y Zoobentos)



Se propone monitorear los parámetros comunitarios de las especies bentónicas presentes en los sistemas hidrológicos. Con la finalidad de evaluar cambios en la estructura comunitaria. La composición biológica de los humedales es generalmente específica, debido a que adquieren relevancia factores locales; como los hidráulicos, edafológicos y calidad del agua, e incluso fenómenos de aislamiento geográfico.

Metodología de medición

Monitoreo Aguas Superficiales.

- Fitobentos

La determinación de la composición y abundancia de las microalgas bentónicas adyacentes al sustrato del sistema acuático, se realizará mediante la obtención de muestras en terreno y su posterior análisis en laboratorio. Se obtendrá en cada estación de monitoreo, una muestra compuesta de fitobentos, utilizando un muestreador de 4 cm²

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

de área de raspado. En el caso de no encontrar sustrato duro, se utilizará un core de 4,9 cm² para la obtención de la muestra de fitobentos desde la superficie del sustrato blando. Las muestras serán fijadas *in situ* con lugol y enviadas al laboratorio para su identificación taxonómica y estimación de abundancia de cada taxa mediante un microscopio invertido (Wetzel y Likens 2000). Los análisis cuantitativos se realizarán a partir de las muestras entregadas en botellas plásticas fijadas con solución de lugol.

Las muestras serán analizadas de acuerdo al método de concentración en cámaras de sedimentación marca Hydrobios (Utermöhl 1958) utilizando un microscopio invertido modelo Olympus CK2 a un aumento de 400X. Se utilizarán cámaras de 5, 10 y 25 ml según el sedimento o la abundancia fitoplanctónica de las muestras, dejando sedimentar por lo menos 2 horas por centímetro de altura según las recomendaciones de Elozegi & Sabater (2009). Para cada muestra se contarán los individuos hasta que la especie más abundante alcance los 100 individuos o llegasen a 300 campos, lo que se cumpliera primero. Para la identificación taxonómica de los géneros se utilizará las descripciones de Biggs & Kilroy (2000), Cox (1996), Parra & Bicudo (1996) y Parra et al. (1982, 1983), Parra & Bicudo (1995), Bicudo & Menezes (2005), Round et al. (1990) y Sant'Anna et al. (2006).

- Zoobentos

La determinación de la composición y abundancia del zoobentos se realizará mediante la obtención de dos muestras aleatorias en el sistema acuático, por cada estación, utilizando para esto una red Surber de 0,09 m² en los sistemas con agua corriente, o utilizando un core de 8,5 cm diámetro en sistemas acuáticos sin flujo. Las muestras serán fijadas *in situ* con alcohol y enviadas al laboratorio. Todos los invertebrados contenidos en cada muestra serán identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible mediante el uso de claves y descripciones de Peters and Edmunds (1972), McCafferty (1983), Arenas (1995) y Fernández & Domínguez (2001) y Schmid (1993). Los resultados serán expresados en número de individuos por metro cuadrado (ind/m²).

Frecuencia del monitoreo

Anual.

Objetivo del monitoreo



Identificar cambios en la estructura comunitaria.

Tabla 6-7. Variables Ambientales a monitorear incluidos en el Plan de Seguimiento Ambiental

Componente Ambiental	Fase del Proyecto	Impacto Ambiental Potencial	Monitoreo	Parámetros	Procedimiento de Medición	Duración y Frecuencia	Entrega de Información
BIOTA Vegetación hidrófila	Construcción y Operación	Modificación en estructura y funcionamiento de la vegetación hidrófila.	Para determinar variaciones, se estimará la densidad de cada especie presente en los sistemas durante el período estival.	Vegetación hidrófila	Transectas	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y operación del proyecto	Anual
BIOTA Vegetación herbácea	Construcción y Operación	Disminución en el porcentaje de cobertura de vegetación.	Para determinar variaciones en el porcentaje de composición, se estimará la cobertura de la vegetación herbácea presente en los sistemas durante el período estival.	Cobertura de vegetación herbácea	Estimación de coberturas mediante el Método del Point Quadrat.	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y operación del proyecto	Anual
BIOTA Vegetación	Construcción y Operación	Efecto detrimental sobre la vegetación	Se evaluará el estado de la vitalidad de las distintas formaciones.	Vitalidad de la vegetación	Mediante parcelas permanentes, se realizarán inspecciones visuales de la vitalidad de las especies que componen las distintas formaciones	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y operación del proyecto	Anual
BIOTICO Flora	Construcción y Operación	Cambios en la estructura comunitaria	Mediante parcelas permanentes de monitoreo, se realizarán inventarios florísticos que permitirán indicar la riqueza específica de las formaciones vegetales en	Presencia o ausencia de especies	Inventarios florísticos	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y operación del proyecto	Anual

			estudio.				
Fauna	Construcción y Operación	Disminución en abundancia/riqueza de flamencos	Composición, Riqueza y Abundancia de Flamencos	Riqueza y Abundancia	Conteos de individuos en los espejos de agua de las lagunas de los sistemas hidrológicos.	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y operación del proyecto	Anual
Fauna	Construcción y Operación	Disminución en abundancia/riqueza de Aves	Composición, Riqueza y Abundancia de Aves	Riqueza y Abundancia	Conteos de individuos en sistemas lagunares y sectores asociados	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y operación del proyecto	Anual
Fauna	Operación	Disminución en abundancia/riqueza de reptiles	Composición, Riqueza y Abundancia de reptiles	Riqueza y Abundancia	Conteos de individuos en los espejos de agua de las lagunas de los sistemas hidrológicos y sectores asociados.	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y operación del proyecto	Anual
Fauna	Construcción y Operación	Disminución en abundancia/riqueza de mamíferos	Composición, Riqueza y Abundancia de mamíferos	Riqueza y Abundancia	Conteos de individuos en hábitat seleccionados	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y operación del proyecto	Anual
Biota acuática	Construcción y Operación	Cambios en la estructura comunitaria	Composición, Riqueza y Abundancia de especies bentónicas Fitobentos	Fitobentos	Obtención de muestras en terreno y su posterior análisis en laboratorio	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y operación del proyecto	Anual
Biota acuática	Construcción y Operación	Cambios en la estructura comunitaria	Composición, Riqueza y Abundancia de especies zoobentónicas	Zoobentos	Obtención de muestras en terreno y su posterior análisis en laboratorio	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y operación del proyecto	Anual
Biota acuática	Construcción y Operación	Cambios en la estructura comunitaria.	Composición, Riqueza y Abundancia de especies	Fitoplancton	Obtención de muestras en terreno y su posterior análisis en laboratorio, donde	Anual (monitoreo campaña marzo) durante fase de construcción y	Anual

			fitoplanctónicas		serán analizadas mediante la metodología de Utermöhl (Wetzel y Likens 2000). Para la identificación taxonómica de los géneros se utilizará las descripciones de Biggs & Kilroy (2000), Cox (1996), Parra & Bicudo (1996) y Parra et al. (1982, 1983), Parra & Bicudo (1995), Bicudo & Menezes (2005), Round et al. (1990) y Sant'Anna et al. (2006).	operación del proyecto	
Hidrogeología y Biota	Construcción, Operación y Cierre	Afectación de zonas sensibles del Salar de Atacama, zonas protegidas por CONAF, mediante el plan de seguimiento del Proyecto	Según se estime conveniente por CONAF y Rockwood. En primera instancia se realizará el monitoreo como propuesto por el Titular de no contar con un plan propuesto por CONAF	Los que se estimen mediante el protocolo de monitoreo con CONAF. En primera instancia se realizará el monitoreo como propuesto por el Titular de no contar con un plan propuesto por CONAF	Se acordará entre el titular y CONAF, pero en primera instancia serán los propuestos en el Plan de Seguimiento ambiental.	Construcción operación y cierre del proyecto.	Como se han definidos las variables antes descritas. O Según se acuerde con CONAF

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

7 PLAN DE ALERTA TEMPRANA

7.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Un Plan de Alerta Temprana (PAT) es una herramienta de gestión que tiene como objetivo realizar el pronóstico, seguimiento, evaluación y verificación de los efectos o impactos previstos de un proyecto. Por medio de la definición de indicadores de estado y umbrales, el PAT activa medidas preventivas y/o correctivas orientadas a impedir que se supere el impacto establecido autorizado en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA)² del proyecto.



Considerando la definición anterior en este apartado se presenta el PAT diseñado para el proyecto, el cual utiliza la información de carácter hidrológico obtenida del Plan de Seguimiento Ambiental para detectar desviaciones sobre el comportamiento previsto por los modelos numéricos de MODFLOW y SEAWAT, antes de que se produzcan impactos. Además el PSA y el PAT miden variables bióticas, las que se utilizan para verificar los cambios sobre estos componentes, que pudieran deberse a la operación de Rockwood.

De esta forma se busca implementar medidas preventivas para entender los comportamientos no previstos y, si es necesario, tomar medidas correctivas (disminuir extracción) para evitar en forma temprana que se produzcan futuros impactos.

Por lo tanto los objetivos específicos de este PAT son:

1. Mantener actualizados los pronósticos entregados por los modelos numéricos predictivos del comportamiento hidrogeológico del área de influencia del Proyecto.
2. Disponer de un Plan de Seguimiento de las variables hidrogeológicas y bióticas que dan cuenta del estado actual del área de influencia, y de la situación de ésta durante la operación del proyecto.
3. Disponer de Indicadores hidrológicos y bióticos como variables dentro del PAT, definiendo los puntos de activación, indicadores de estado y umbrales que permitan verificar los impactos no previstos de la operación de Rockwood. Estas variables podrán dar paso a la fase I preventiva y la fase II correctiva del Plan de Contingencia.
4. Realizar una Evaluación y Verificación periódica y oportuna de los resultados de los puntos de activación con los umbrales definidos a partir de la información histórica y los pronósticos entregados por los modelos numéricos.

² Ref. Según DGA, “Análisis Preliminar de Planes de Alerta Temprana con condicionamiento de Derechos”, SDT N° 335, Diciembre 2012.

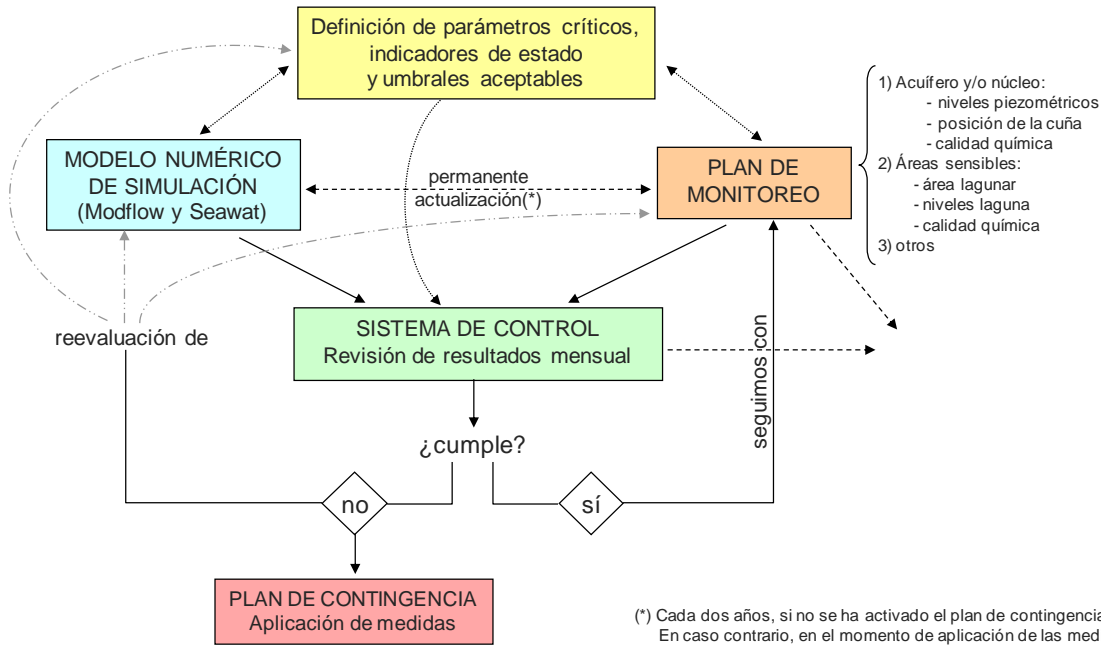
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

5. Disponer de un Plan de Contingencia que define las medidas Preventivas o Correctivas (acciones) que se deben tomar cuando la evaluación temprana indica que se han generado efectos no previstos respecto de los pronósticos.

Es importante destacar que el PAT puede diseñarse porque existen pronósticos generados por los modelos numéricos en MODFLOW y SEAWAT del comportamiento hidrogeológico del sistema producto del incremento de la explotación de salmuera del proyecto. Además el Plan de Seguimiento Ambiental diseñado permite hacer el seguimiento y monitoreo de las variables que se prevé que en determinados sectores presentarán algún grado de variación, así como también, generar nueva información para actualizar estos modelos numéricos a futuro. De esta manera el PAT recoge la herramienta de los modelos numéricos y compromete su actualización cada dos años. Este trabajo se considera realizarlo durante un periodo de 6 meses por lo que la primera actualización se entregará después de dos años y medio de iniciado el proyecto, la segunda a los cuatro años y medio y así sucesivamente.

La interrelación que realiza el Plan de Alerta Temprana, entre los modelos de simulación MODFLOW y SEAWAT, el Plan de Seguimiento Ambiental y el Plan de Contingencias que tiene asociado se presenta en el siguiente esquema:

Figura 7-1. Relaciones entre los modelos numéricos, PSA y Plan de Contingencias que realiza el PAT



Fuente: elaboración propia

Se destaca que solamente algunos de los puntos de monitoreo del Plan de Seguimiento Ambiental forman parte del Plan de Alerta Temprana como puntos de activación. Estos puntos, sus indicadores de estado y umbrales de activación se describen en los siguientes apartados.



7.2 INDICADORES DE ESTADO

7.2.1 Indicadores de variables Hídricas

Los indicadores de estado referentes a la hidrología-hidrogeología definidos para este Plan de Alerta Temprana son:

- Niveles piezométricos de la salmuera en el núcleo
- Niveles piezométricos del acuífero en el entorno de las lagunas.

Los niveles piezométricos se considera que son por un lado, la variable hidrológica-hidrogeológica que será afectada (en el núcleo) directamente por el proyecto, y por el otro, que también es la variable más directa (en el acuífero) que determina la existencia de las lagunas

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

en el borde del salar y cuya alteración podría afectar a la flora y la fauna que se sustentan en estos sistemas hídricos superficiales.

Los niveles de agua en las lagunas y la superficie del área inundada por éstas no se consideran umbrales de activación adecuados del componente hidrología ya que estas variables son altamente sensibles a las variaciones estacionales e interanuales de precipitación, mostrando de forma natural variaciones importantes difíciles de predecir. Además, como ya ha sido mencionado, el proyecto no considera su afectación y cualquier impacto no previsto que pudiera producirse en las lagunas, se detectará con anterioridad en los puntos de activación situados en la salmuera del núcleo.

Con la finalidad de verificar que no se generarán efectos adversos significativos sobre la vegetación y la fauna silvestre asociados a los principales sistemas hidrológicos se proponen como variables ambientales a monitorear los componentes más sensibles y factibles de evaluar en el tiempo.

7.2.2 Indicadores variables Bióticas

El Plan de Alerta Temprana de este documento, incorpora indicadores bióticos. La incorporación de estas variables permitirá evaluar el estado ambiental y biótico de los sistemas representativos del Salar de Atacama. El PAT es una herramienta de resguardo ambiental ante la ocurrencia de anomalías durante la operación del proyecto. Su elaboración se sustenta en los resultados de monitoreo de variables hidrogeológicas y bióticas, que indican que los sistemas a proteger han tolerado adecuadamente grandes variaciones hidrológicas estacionales e interanuales, sin que ello haya significado efectos detrimentales para tales sistemas.

Sistemas objeto de protección. El PAT incorpora los siguientes sistemas a proteger:



- Sistema Peine: correspondiente a las lagunas Salada, Saladita e Interna
- Sistema La Punta y La Brava: Lagunas La Punta y La Brava y Vegas de Tilopozo

Alerta temprana. El PAT ha sido diseñado como un sistema de toma de decisiones que activa medidas preventivas orientadas a impedir cualquier deterioro de los sistemas objeto de protección

Los Indicadores Bióticos estos han sido seleccionados desde el Plan de Monitoreo y Seguimiento Ambiental propuesto para esta Adenda 4.

Las variables bióticas se medirán en:

- Sistema Peine: correspondiente a las lagunas Salada, Saladita e Interna

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

- Sistema La Punta y La Brava: Lagunas La Punta y La Brava.y Vegas de Tilopozo

Los indicadores de estado referentes a los indicadores bióticos definidos para este Plan de Alerta Temprana son:



Vegetación:

- Vegetación hidrófila
- Cobertura de la vegetación herbácea
- Vitalidad de la vegetación

En la Tabla 7-1 se presenta un resumen de los indicadores bióticos propuestos que contiene el componente ambiental medido, la variable a medir, la metodología de medición, la frecuencia del monitoreo y la descripción de su monitoreo.

Tabla 7-1. Resumen Indicadores Bióticos Propuestos

Componente Ambiental	Indicador Biótico	Metodología de medición	Frecuencia del monitoreo	Descripción de su monitoreo
Vegetación	Presencia de vegetación hidrófila	Transectas	Anual	La vegetación hidrófila presenta características y requerimientos específicos que le permiten desarrollarse en condiciones ambientales restringidas. Cualquier variación que presente el medio en el cual se desarrolle, afectará directamente el crecimiento de las especies vegetales. Se estimará la abundancia de cada especie presente en los sistemas durante el periodo estival.
	Cobertura de la vegetación herbácea	Point Quadrat	Anual	Se establecerá mediante una medición lineal de vegetación durante la estación estival (marzo), el porcentaje de cobertura vegetal. Una disminución en el porcentaje de la cobertura vegetal, sería un indicador de la existencia de factores ambientales adversos que afectarán directamente en el crecimiento y cobertura de la formación.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Componente Ambiental	Indicador Biótico	Metodología de medición	Frecuencia del monitoreo	Descripción de su monitoreo
	Vitalidad de la vegetación	Point Quadrat	Anual	Mediante transectos lineales se monitoreará, la vitalidad de las especies que componen las distintas formaciones, a través de la cobertura vegetal. Estas se realizarán en el período estival (marzo). Se realizará una evaluación cualitativa de acuerdo a las siguientes categorías, ejemplar seco, ejemplar muy débil, ejemplar débil, ejemplar de crecimiento normal y ejemplar excepcionalmente vigoroso. Estas mediciones permitirán detectar la existencia de algún efecto detrimental sobre la vegetación.

Fuente: AT-EME S.A.2014.



7.3 PUNTOS DE ACTIVACIÓN

7.3.1 Ubicación geográfica de Indicadores Hídricos

Este Plan de Alerta Temprana considera 9 puntos del Plan de seguimiento Ambiental como puntos de activación, 4 en la salmuera y 5 en el acuífero, donde se han definido indicadores de estado y umbrales de activación. La ubicación espacial de estos puntos se puede observar en la Figura 7-2 y las coordenadas y características de éstos se presentan en la Tabla 7-2 y Tabla 7-3.

Se destaca que los pozos ubicados en el núcleo se construirán previamente al inicio del proyecto. Las coordenadas entregadas en las dos tablas anteriormente citadas son aproximadas y corresponden a ubicaciones que coinciden con los perfiles modelados por el programa SEAWAT. En este sentido, se dispone de un pronóstico del comportamiento de los niveles en estos puntos los cuales deberán ser corroborados con la construcción y medición de los mismos.

La ubicación final de estos puntos dependerá de la factibilidad técnica de ser perforados en las coordenadas entregadas, pero se espera que cada uno de ellos se perfore a una distancia no más allá de los 500 m del punto entregado. Sin embargo según experiencias previas de perforación de otros pozos en el área, puede que algunos de ellos se deban perforar a distancias mayores. La profundidad de perforación que se entrega es también aproximada, pero

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

será siempre por debajo del nivel freático y con una profundidad tal que garantice la medición del nivel piezométrico durante todo el proyecto. La cota altimétrica de cada uno de ellos se determinará con posterioridad a la perforación y habilitación de los mismos.

Respecto a los puntos ubicados en el acuífero, su distancia a las lagunas objeto de protección es también aproximada pero debido a la variabilidad espacial de las mismas, lo cual puede ser más notorio en los puntos más próximos a estas.

Tabla 7-2. Puntos Activación Plan Contingencia núcleo

Puntos	UTM WGS 84 (19S)		Tipo Punto	Profundidad (m)	Distancia objeto de Protección (m)*	Observaciones
	Norte	Este				
PN-05	7.384.000	576.900	Piezómetro	10,00	7.000	Pozo por construir
PN-11	7.380.700	576.800	Piezómetro	10,00	3.100	Pozo por Construir
PN-08	7.382.400	582.600	Piezómetro	10,00	4.200	Pozo por construir
PN-17	7.384.200	580.200	Piezómetro	10,00	5.500	Pozo por construir

*Distancia aproximada

Fuente: elaboración propia



Tabla 7-3. Puntos Activación Plan Contingencia Acuífero

Puntos	UTM WGS 84 (19S)		Tipo Punto	Profundidad (m)	Distancia objeto de Protección (m)*	Observaciones
	Norte	Este				
BA-05	7.375.322	576.374	Piezómetro Somero	1,75	38	
BA-07	7.376.688	578.408	Piezómetro Somero	1,90	34	
BA-14	7.376.025	576.845	Piezómetro Somero	1,40	380	
BA-20	7.382.245	587.247	Piezómetro Somero	1,85	530	
BA-21	7.380.903	587.160	Piezómetro Somero	1,55	60	

*Distancias Aproximadas

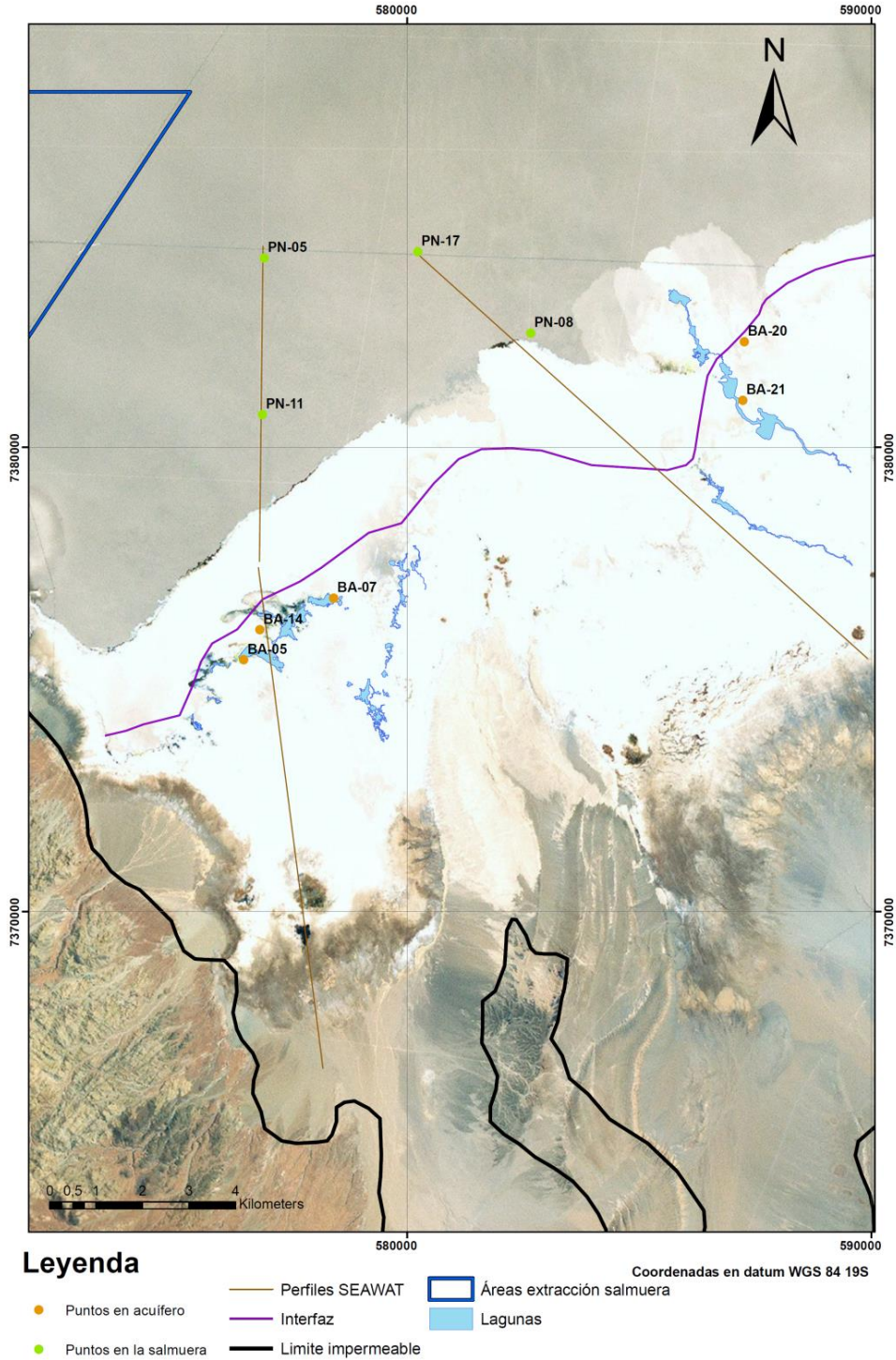
Fuente: elaboración propia

En los pozos ubicados en la salmuera (Figura 7-2) se prevé que existirá un efecto del proyecto sobre la profundidad de sus niveles piezométricos los cuales han sido evaluados mediante los modelos numéricos. De esta manera el PAT permite que exista descenso en el nivel piezométrico de estos puntos mientras que la velocidad de descenso no sea mayor a la prevista. Por el contrario se prevé que el proyecto no afectará la variación de niveles interanual que existe en el acuífero donde se encuentran las lagunas, por lo que en estos puntos de activación el PAT no permitirá ningún efecto sobre ellos (efecto nulo).



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Considerando lo anterior, la activación de medidas será distinta para la superación de sus umbrales en los puntos que se ubican en el núcleo y en el acuífero. Es decir, en el núcleo se considera la activación de medidas preventivas y correctivas; mientras que en el acuífero, donde se prevé un efecto nulo, solamente se considera la activación de medidas preventivas. Esto, porque si existiera un efecto en el acuífero por el proyecto las medidas correctivas ya habrán sido activadas por los puntos ubicados en el núcleo.

Figura 7-2. Puntos de activación Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia sobre imagen Google earth

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	



7.3.2 Ubicación geográfica de Indicadores Bióticos

El PAT considera un total 14 puntos de monitoreo de los Indicadores bióticos para vegetación. Estos puntos serán monitoreados desde la obtención de la RCA y contrastados con la línea de base presentada en el EIA según su periodicidad de medición durante toda la fase de construcción y operación del proyecto.

A continuación se presenta una tabla con las coordenadas de los puntos a monitorear los cuáles establecerán las transectas.

Tabla 7-4. Puntos de monitoreo de Indicadores de Vegetación

CÓDIGO	TRANSECTOS	TIPO PUNTO	Coordenadas UTM- WGS84- Huso 19s		CÓDIGO	TRANSECTOS	TIPO PUNTO	Coordenadas UTM- WGS84-Huso 19s	
			ESTE	NORTE				ESTE	NORTE
PM-1	Inicio	Punto de Monitoreo	573819	7372581	T-2	Inicio	Testigo	580876	7375482
	Termino		573833	7372632		Termino		580825	7375487
PM-2	Inicio	Punto de Monitoreo	575749	7371533	PM-7	Inicio	Punto de Monitoreo	582810	7376144
	Termino		575763	7371584		Termino		582860	7376138
PM-3	Inicio	Punto de Monitoreo	577046	7369584	PM-8	Inicio	Punto de Monitoreo	583572	7373895
	Termino		577032	7369533		Termino		583622	7373889
PM-4	Inicio	Punto de Monitoreo	579338	7369717	T-3	Inicio	Testigo	585723	7373096
	Termino		579324	7369666		Termino		585688	7373132
T-1	Inicio	Testigo	580482	7371175	PM-9	Inicio	Punto de Monitoreo	588671	7374918
	Termino		580532	7371169		Termino		588706	7374882
PM-5	Inicio	Punto de Monitoreo	580357	7373313	PM-10	Inicio	Punto de Monitoreo	592364	7379088
	Termino		580307	7373318		Termino		592329	7379125
PM-6	Inicio	Punto de Monitoreo	591008	7376914	T-4	Inicio	Testigo	592364	7379088
	Termino		590958	7376920		Termino		592329	7379125

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

7.4 UMBRALES DE ACTIVACIÓN

7.4.1 Umbrales de Activación Hídricos

Los umbrales de activación de los indicadores de estado son aquellos valores, para cada punto de activación, que determinan si hay desviación de los pronósticos y, cuando son superados, activan en forma temprana una alerta que conlleva medidas que buscarán, o bien entender el origen de esta desviación y corregir la herramienta que generó el pronóstico, y/o bien modificar la explotación del proyecto para prevenir de forma temprana cualquier efecto sobre los objetos de protección.



De esta manera existen dos tipos de umbrales según la medida que activan:

- *Umbrales preventivos*: activan medidas preventivas como dar aviso a la autoridad e iniciar una mayor frecuencia de monitoreo junto con la revisión de los modelos numéricos.
- *Umbrales correctivos*: activan el cierre parcial y hasta total de las extracciones del proyecto, además de seguir estudiando el área, revisar los modelos numéricos y mantener la frecuencia aumentada de monitoreo. Los umbrales correctivos sólo existen en el núcleo.

En términos generales los umbrales de activación se han determinado mediante dos metodologías de cálculo distintas considerando que en el área existe un comportamiento diferente en la evolución de niveles en el núcleo y en el acuífero, superpuesta en ambos sectores a una variabilidad estacional.

En el cálculo de los umbrales se buscó el cumplimiento de la siguiente condición: los umbrales calculados deben ser valores del nivel piezométrico que, sobrepuestos a los valores históricos previos al inicio del proyecto en evaluación, no debieran haber sido superados prácticamente nunca. Solamente los umbrales preventivos calculados podrían haberse superado en los períodos más secos, pero los umbrales correctivos debieran ser tales que, sin proyecto, no debieran haberse superado nunca.

De esta manera, para los puntos situados en la salmuera, los umbrales de activación preventivos son valores de niveles, que indican una tasa de descenso poco mayor a la predicha por el modelo y que consideran un margen de seguridad para su no activación por las oscilaciones interanuales naturales del nivel. Mientras, los umbrales de activación correctivos corresponden a valores de niveles que indican una tasa de descenso sensiblemente mayor a la

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

predicha por el modelo y que suponen una desviación importante sobre lo simulado. Estos umbrales y la metodología del cálculo de estos se presenta en el Apéndice A.

Para los puntos de activación situados en el acuífero, alrededor de las lagunas (Sistema La Punta-La Brava o en Sistema Peine), los umbrales de activación preventivos corresponden mes a mes al mínimo histórico mensual registrado en la zona menos dos veces la desviación estándar de su variación de niveles mensual como valor de seguridad pero representando el comportamiento natural del sector. Estos umbrales y la metodología del cálculo de estos se presenta también en el Apéndice A. En la Tabla 7-5 se resumen los umbrales definidos para la activación de las medidas preventivas y correctivas.



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Tabla 7-5. Resumen Umbrales de Activación



Pozo		Valor = 2 DE ³ (cm)	Umbral preventivo (Niveles en Cota)	Umbral correctivo (Niveles en Cota)
La Punta – La Brava				
Núcleo	PN-11	9 cm ¹	Nivel medido < (Nivel previsto – 10 cm) (durante dos medidas consecutivas)	Nivel medido < (Nivel previsto – 20 cm) (durante dos medidas consecutivas)
	PN-05			
Acuífero	BA-05	2-10 cm ¹ (Varía según mes del año)	Nivel medido < Nivel mínimo histórico del mes – 2·DE (durante tres medidas consecutivas)	No tiene
	BA-14			
	BA-07			
Sistema Peine				
Núcleo	PN-17	7 cm ²	Nivel medido < (Nivel previsto – 6 cm) (durante dos medidas consecutivas)	Nivel medido < (Nivel previsto – 12 cm) (durante dos medidas consecutivas)
	PN-08			
Acuífero	BA-20	4 -14 cm ² (Varía según mes del año)	Nivel medido < (Nivel mínimo histórico del mes – 2·DE) (durante tres medidas consecutivas)	No tiene
	BA-21			

Fuente: elaboración propia

7.4.2 Umbrales de Activación Bióticos

Para los umbrales de activación bióticos se ha seleccionado la cobertura de la vegetación herbácea. Para este indicador se ha propuesto que se utilice como indicador los siguientes supuestos:

- Se establecerá como umbral una disminución de un 10 % en la vegetación herbácea considerando las mediciones realizadas desde el primer monitoreo para áreas que tienen menos de un 100% de cobertura.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

- Se establecerá como umbral una disminución de un 5% en la vegetación herbácea considerando las mediciones realizadas desde el primer monitoreo para áreas que tienen 100% de cobertura.

En la Tabla 7-6 se muestra el umbral de activación del indicador biótico, la metodología de medición, la frecuencia del monitoreo y las medidas en caso de activación.



Tabla 7-6. Umbral de activación de indicador biótico

Umbrales de Activación	Metodología de medición	Frecuencia Monitoreo	Medidas en caso de activación
Cobertura de la vegetación herbácea			
Se establecerá como umbral una disminución de un 10 % en la vegetación herbácea considerando las mediciones realizadas desde el primer monitoreo para áreas que tienen menos de un 100% de cobertura.. Se establecerá como umbral una disminución de un 5% en la vegetación herbácea considerando las mediciones realizadas desde el primer monitoreo para áreas que tienen 100% de cobertura	Point Quadrat	Anual	Notificar a la autoridad (SMA y Servicios competentes) <ul style="list-style-type: none"> • Aumento frecuencia de monitoreo de todos los indicadores bióticos. • Aviso a la autoridad SMA y Servicios Competentes

Se considera que el PAT sea revisado cada 2 años, es decir, cada vez que se evalúe en su totalidad o antes en caso de ser necesario. El objetivo es incorporar la información nueva que se obtenga del seguimiento de los componentes ambientales hidrogeología, vegetación y fauna.

En particular se considera:

- Revisión de los valores de activación en función de la información histórica recopilada (promedios, desviación estándar, descensos máximos);
- Revisión de los indicadores de estado, de manera de evaluar la necesidad de incluir o excluir algunos indicadores de estado de acuerdo a su relación con el comportamiento del objeto de protección;
- Revisión del modelo hidrogeológico a través de una auditoría externa.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

7.5 PLAN DE CONTINGENCIA

El Plan de Contingencia, que forma parte del Plan de Alerta Temprana, son todas aquellas medidas y acciones de carácter preventivo y correctivo que tomarán cuando la evaluación/verificación mensual que se realizará sobre los niveles medidos en los puntos de activación del PAT indiquen que se han generado efectos no previstos respecto los pronósticos.

Dado que existen umbrales preventivos y umbrales correctivos que activan medidas preventivas y correctivas respectivamente, denominamos Fase I del Plan de Contingencias cuando los umbrales superados corresponden a umbrales preventivos y Fase II del Plan de Contingencias cuando los umbrales superados corresponden a los umbrales correctivos. Las medidas de acción, condiciones de activación y desactivación de cada una de estas dos fases se describen a continuación.

7.5.1 Fase I. Activación de medidas preventivas del Plan de Contingencia

Cuando en al menos un punto de activación se supere su umbral preventivo calculado y propuesto para este PAT, se considera que se habrá producido una situación donde el comportamiento del sistema es distinto al esperado, no obstante no existe un peligro inmediato de causar daños ambientales a los sistemas a proteger. Esta situación activa la denominada Fase I del Plan de Contingencia. Las condiciones de activación y desactivación de esta fase son las siguientes:

- *Condiciones de activación:* Cuando en al menos un punto de activación, los niveles se registren por debajo de su umbral preventivo durante 2 medidas consecutivas (dos meses).
- *Condiciones de desactivación:* Cuando en todos los puntos de activación, los niveles se registren por encima sus umbrales preventivo durante 2 medidas consecutivas (1 mes).

Las medidas que se activan en la Fase I corresponden a las siguientes acciones:

- Dar aviso a la autoridad ambiental de la II Región.
- Aumentar la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas como se recoge en la Tabla 7-7.
- Aumentar la frecuencia de monitoreo de las variables bióticas según se describe a continuación.
- Revisar las diferentes explotaciones que se realizan en el salar de Atacama.
- Revisar los modelos numéricos de MODFLOW y SEAWAT.



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Tabla 7-7. Aumento Frecuencia Monitoreo Fase I

Monitoreo	Frecuencia normal	Frecuencia Fase I
Niveles Piezométricos	Mensual	Quincenal
Muestreo Químicos	Trimestral	Bimestral
Monitoreo interfaz	Trimestral	Bimestral

Fuente: elaboración propia

Es importante remarcar que si se activa la Fase II del Plan de Contingencia, todas las medidas preventivas de esta Fase I del Plan de Contingencias se mantienen.



En el caso que los niveles en el acuífero del Sector Sur del Salar de Atacama, en los sectores de las lagunas La Punta y La Brava, y en el sistema Peine, disminuyan a niveles 2 DE menores que los mínimos históricos establecidos del mes, durante 3 meses consecutivos, se activarán las medidas relacionadas con los Indicadores Bióticos, independientemente de que se hayan detectado efectos detrimentales en la vegetación.

Este enfoque, que puede ser caracterizado como muy conservador, pero que se basa en mediciones históricas sistemáticas de niveles en el acuífero de 10 años, se presenta como un primer paso hacia la definición de otro tipo de umbrales, los que en cualquier caso estarán relacionados, en la mayoría de las veces, con la situación hídrica de la zona. De esto, se exceptúan casos como plagas, contaminación del agua y/o del suelo, que puedan afectar a la vegetación independientemente de los niveles del acuífero.

Este concepto es utilizado en los PAT de otros proyectos existentes en la zona en que todos los efectos en vegetación están vinculados a descensos de niveles en pozos en el área de influencia del Proyecto. En tales casos, debe advertirse, los proyectos consideran la extracción de cantidades significativas de agua dulce de los acuíferos que sustentan la vegetación y fauna del sector; pese a ello los umbrales de los indicadores bióticos están basados en niveles del acuífero exclusivamente.

7.5.2 Fase II. Activación de medidas correctivas del Plan de Contingencia

Para los puntos de activación ubicados en el núcleo, cuando en al menos en uno de ellos se supere su umbral correctivo calculado y propuesto para este PAT, se considera que se habrá producido una situación donde el comportamiento del sistema es distinto al esperado, existiendo un peligro futuro de causar daños ambientales sobre los sistemas a proteger si no se

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

toman medidas para prevenirlo. Esta situación activa la denominada Fase II del Plan de Contingencia. Las condiciones de activación y desactivación de esta fase son las siguientes:

- *Condiciones de activación:* Cuando en al menos un punto de activación, los niveles se registren por debajo del umbral correctivo durante 2 medidas consecutivas (un mes).
- *Condiciones de desactivación:* Cuando en todos los puntos de activación, los niveles se registren por encima sus umbrales correctivos durante 4 medidas consecutivas (dos meses).

Si se activa la Fase II del Plan de Contingencias las medidas y acciones que deberán realizarse son las siguientes:

- Dar nuevo aviso a las autoridades ambientales de la Región de Antofagasta.
- Mantener la frecuencia de monitoreo de las variables Hídricas de la Fase I y de las variables bióticas.
- Activar las medidas de mitigación: reducción del caudal de explotación del proyecto.
- Revisar las diferentes explotaciones que se realizan en el salar de Atacama.
- Revisar y actualizar los modelos numéricos de MODFLOW y SEAWAT.
- Revisar el efecto sinérgico con explotación de terceros.
- Generar informe de investigación y de efectividad de la acción

Las medidas de mitigación consisten en la reducción inmediata del caudal de explotación de salmuera aprobado para el proyecto en evaluación, en forma escalonada, para ir evaluando la efectividad de la acción. La reducción escalonada propuesta se ha definido considerando, en términos generales, la regla de aumento operacional del proyecto de incrementos de 60 en 60 l/s hasta alcanzar los 300 l/s, pero teniendo en cuenta que la explotación mensual no es constante durante todo el año.

De esta manera, la forma de reducción del caudal de explotación que se propone es la siguiente:

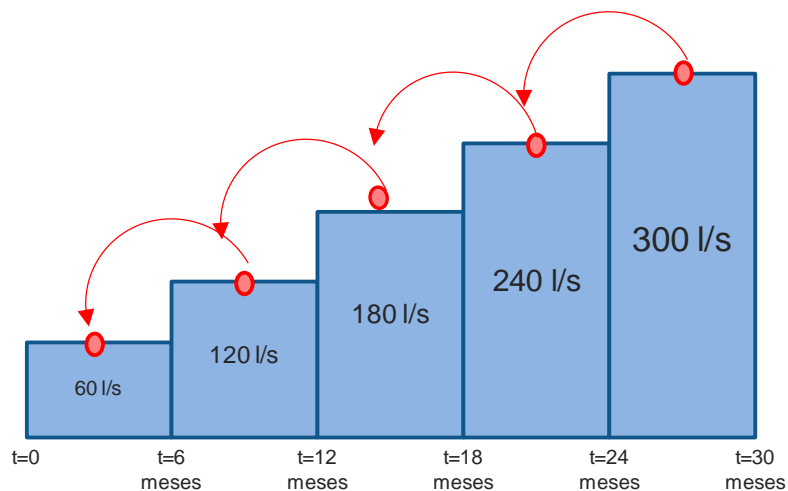
Si la compañía se encuentra todavía en los dos primeros años del proyecto, cuando todavía no ha alcanzado el total de explotación del caudal aprobado (300 l/s), la reducción corresponderá a 60 l/s sobre el promedio de los caudales de extracción de los últimos tres meses de explotación.

Si la activación de la Fase II se produce cuando la compañía ya está explotando el total del caudal aprobado por este proyecto y anteriores, es decir 442 l/s, la reducción corresponderá al 13,5% del caudal promedio de cada mes según la distribución de los caudales dentro del año.

Este porcentaje de 13,5% sobre los 442 l/s equivale al 20% de los 300 l/s, es decir a 60 l/s en promedio.

De forma muy esquemática la Figura 7-3 presenta la reducción propuesta por escalones de caudales promedio según el incremento operacional que se realizará durante los dos primeros años del proyecto.

Figura 7-3. Regla esquematizada de reducción de caudal de extracción





Fuente: elaboración propia

Cada escalón de reducción se mantendrá hasta que se cumplan las medidas de desactivación de la Fase II y se pase a la Fase I del Plan de Contingencia, o hasta que deba realizarse una nueva reducción de caudal según las mismas reglas anteriores y luego del período de tiempo y acciones que se describen a continuación:

Si la Fase II se mantiene activada por un período mayor a 6 meses, al mes siguiente deberá entregarse un informe de investigación que se entregará a las autoridades que pueda responder a la pregunta “¿el efecto o parte de él proviene del bombeo de Rockwood?”. Esta pregunta podrá tener dos respuestas:

- Si el efecto ha sido producido solamente por causas externas se recuperará el caudal de extracción normal del proyecto.
- Al contrario, si la desviación de los pronósticos se debe en parte a la explotación de la compañía, la reducción del caudal se mantendrá por 6 meses más.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Para responde la pregunta anterior se deberá verificar si el origen de los efectos no previstos observados en el nivel piezométrico se debe a efectos de Rockwood, si éstos son causados por los efectos de terceros, si existe un efecto sinérgico entre ambos, o incluso, si existe una efecto natural en este comportamiento, se deberá por un lado, revisar la hidrología del área evaluar los efectos de la recarga sobre los niveles en función de las variaciones anuales en la precipitación, y por el otro, analizar la evolución de los niveles piezométricos de los pozos o piezómetros que se ubican entre la extracción de Rockwood de dichos terceros y las áreas a proteger, que son:

- Los piezómetros P-4, PN-01, S-4 y PN-02, los que permitirán verificar los posibles efectos provenientes de las extracciones de SQM desde el Norte del núcleo del salar.
- Los piezómetros MP-09 y PT-02, los que permitirán verificar los posibles efectos provenientes de las extracciones de MEL al sur del acuífero de Monturaqui-Negrillar.



Estos puntos forman parte del Plan de Seguimiento y se pueden observar en la Figura 5-2.

Al finalizar este primer año de reducción de caudal se evaluará la efectividad de la acción, entregando un informe a las autoridades al mes 13, con el que se responderá a la pregunta “la medida es efectiva?”. Esta pregunta también podrá tener dos respuestas:

- Si existe una tendencia a la recuperación de los niveles, pero no se ha desactivado la Fase II del Plan de Contingencias, la reducción del caudal se mantendrá durante 6 meses más, o hasta que se desactive la Fase II del Plan de Contingencias.
- Si no existe una tendencia a la recuperación, se realizará una nueva reducción del caudal de explotación y se actuará de la misma forma, evaluando a los seis meses el origen del efecto no pronosticado en los niveles y al año la efectividad de la acción de la nueva reducción de caudal.

El flujograma de decisiones del Plan de Contingencias de este Plan de Alerta Temprana se presenta en el siguiente apartado, y se representa en la Figura 7-4.

En cualquier momento en que esté activada la Fase II del Plan de Contingencias puede producirse la condición de desactivación. Si la reducción del caudal de explotación se ha realizado en un solo escalón, el incremento será también en un escalón, hasta el total autorizado del proyecto. En cambio, si se produce la condición de desactivación cuando se ha realizado más de una reducción del caudal de extracción (más de un escalón), el incremento de los caudales se realizará incrementando un escalón de extracción cada 12 meses mientras la condición de desactivación de la Fase II permanezca activa en forma continua.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

7.5.3 Umbrales preventivos y correctivos de los Indicadores Bióticos

Fase Preventiva:

Si por alguna razón el modelo no permite predecir algún impacto sobre la variable hídrica y es activado el plan de contingencia, vale decir, el proyecto debe entrar en la Fase II o correctiva, esto significa que se generará una reducción en los niveles de bombeo del Proyecto en escalones de 60 l/s, cuyo objetivo es volver a restablecer los niveles en la salmuera en los valores previstos por el modelo, o sea, previniendo que se afecten los pozos localizados en el sector Sur del Salar, o sea, en el acuífero. En este caso, los Indicadores Bióticos entrarán en la Fase preventiva, si ya no lo estuvieran, y se incrementará la frecuencia de monitoreo (de anual a semestral), cuyos resultados se cruzarán con la información de niveles en el acuífero y en la salmuera, para evaluar la eficacia de la reducción del bombeo en la Fase II o correctiva.



Adicionalmente a la activación de las medidas señaladas en función de las variables hídricas, el Titular propone la activación del indicador biótico con su correspondiente umbral (Ver Tabla 7-6), el cual corresponde a la cobertura de la vegetación herbácea, aun cuando la ejecución del Proyecto no afectará en forma directa la vegetación y la fauna silvestre porque no hay obras del Proyecto en el sector de las lagunas que constituyen su hábitat, y el caudal a extraer es muy pequeño (4 l/s). Cualquier efecto potencial del proyecto sobre la vegetación ocurriría en forma indirecta a través de los efectos de éste sobre los niveles del acuífero.

Como se ha señalado, la ausencia de efectos del Proyecto sobre el acuífero se demostró mediante el uso de los nuevos modelos hidrogeológicos conceptuales y numéricos MODFLOW y SEAWAT en forma sinérgica, presentados en este Adenda N° 4, los cuales demuestran que el proyecto de extracción de salmuera de 300 l/s adicionales a los autorizados, por 25 años, no generará efectos adversos significativos sobre las lagunas del sector sur del Salar de Atacama (La Punta/La Brava, Sistema Peine, Sistema Aguas de Quelana y Sistema Soncor), o sea, no se producirá alteración de las condiciones hídricas que permiten sustentar especies de fauna y vegetación de vegas, bofedales y humedales, por lo cual el Proyecto no prevé una disminución de la napa freática en los sistemas lagunares que existen al sur del Salar

Fase Correctiva:

En caso que se detecten cambios adversos significativos en los Indicadores Bióticos (Ver Tabla 7-6) sin que se haya activado el correspondiente PAT hídrico en sus Fases I o II, o sea, la vegetación está afectada independientemente de los niveles del acuífero, y habiéndose activado la fase preventiva de variables bióticas, el Titular propone:

- Dar aviso a la autoridad ambiental (SMA) y Servicios competentes.

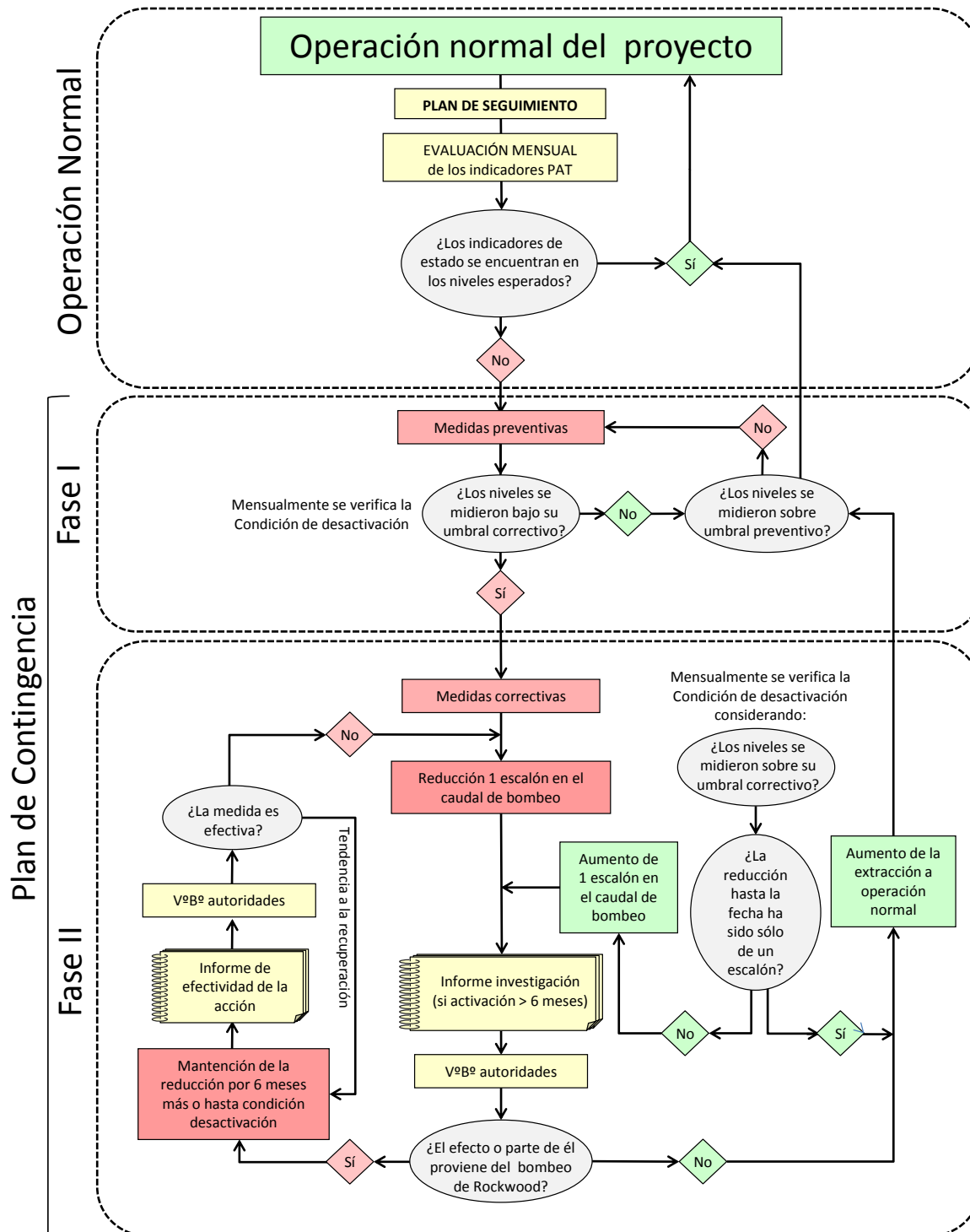
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

- Activar el “Proyecto de Estudio y Monitoreo del Recurso Hídrico de la Cuenca del Salar de Atacama”, establecido en la R.E. 3132/2006 (considerando 3.1.2 b) de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta, con el objeto de constituir una Mesa de Trabajo con todos los actores del sector Este y Sur del Salar, bajo la supervisión de la autoridad ambiental, para estudiar oportunamente el fenómeno y adoptar las medidas que correspondan.
- Analizar los cambios adversos significativos en los Indicadores Bióticos en conjunto con otras variables, entre ellos, registros históricos de meteorología local y regional, monitoreo de variables hidrogeológicas y resultados que aporten otros estudios realizados a nivel local y regional. Estos antecedentes permitirán identificar las variaciones por factores naturales, contaminación del agua y/o del suelo u otros.



7.6 FLUJOGRAMA DE DECISIONES

El funcionamiento de del Plan de Contingencia asociado al Plan de Alerta Temprana y Plan de Seguimiento Ambiental se resume en la Figura 7-4.

Figura 7-4. Funcionamiento Plan de Contingencia asociado al PAT



Fuente: elaboración propia

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

7.7 VALORACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA ACCIÓN DE MITIGACIÓN

Para valorar la eficacia de las medidas correctivas se ha modelado, mediante el modelo numérico MODFLOW un escenario en el que se contempla una reducción de caudal de 60 l/s (20% del caudal del proyecto) después de ocho años de operación del proyecto. En la Tabla 7-8 se observa que esta reducción de caudal provoca una mitigación de entre el 8 y el 50% del descenso causado por el proyecto en los puntos de activación del Plan de Alerta Temprana al final de los 25 años del proyecto.

Además se ha calculado la eficacia de esta acción de mitigación en cuanto a la recuperación del nivel respecto al descenso correspondiente a este escalón de extracción. En este caso la eficacia de la medida correctiva es de entre el 39 y el 100 %. Vale destacar que estas medidas se activan solamente cuando los niveles se midan por debajo de los umbrales definidos sobre los pronósticos. Y por lo tanto, la eficacia será mayor cuanto antes se realice la reducción del caudal (más tiempo habrá para frenar el descenso) y menor cuanto más tarde se ejecute dentro de los 25 años del proyecto. De todas maneras esto significaría que el escenario no previsto se habría producido más temprano en el tiempo, que corresponde a un escenario menos deseado para el proyecto.

Se destaca además que durante el desarrollo del proyecto, con el levantamiento de nueva información del PSA, y la actualización de los modelos numéricos cada dos años, o en el caso de activarse la Fase II del Plan de Contingencia, se dispondrá de una herramienta más robusta que incorporará estos nuevos datos históricos de esta evolución no prevista de los niveles y por lo tanto, será capaz de evaluar con mayor precisión la eficacia de estas medidas.



Tabla 7-8. Efecto reducción caudal de 60 l/s al año 8

Punto Activación	Año de Operación	Descenso Adicional Causado por el proyecto		% de Reducción del Descenso	Eficacia de la Medida
		Sin Reducción	Con Reducción 60 L/s		
PN-05	9	0,14	0,14	0%	0%
	10	0,16	0,15	6%	31%
	15	0,24	0,22	8%	42%
	20	0,30	0,28	7%	33%
	25	0,38	0,35	8%	39%
PN-11	9	0,06	0,06	0%	0%
	10	0,07	0,07	0%	0%
	15	0,11	0,10	9%	45%
	20	0,15	0,13	13%	67%
	25	0,19	0,16	16%	79%
PN-17	9	0,03	0,03	0%	0%
	10	0,07	0,07	0%	0%
	15	0,11	0,10	9%	45%
	20	0,14	0,13	7%	36%
	25	0,18	0,16	11%	56%
PN-08	9	0,01	0,00	100%	100%
	10	0,00	0,00	100%	100%
	15	0,02	0,01	50%	100%
	20	0,02	0,01	50%	100%
	25	0,02	0,01	50%	100%

Fuente: elaboración propia

7.8 ACTUALIZACIÓN DEL PAT CADA DOS AÑOS



El PAT es una herramienta de gestión que debe ser flexible y actualizarse permanentemente con la nueva información disponible para garantizar la preservación de los valores ambientales. Los indicadores de estado, puntos de activación y umbrales son variables que se han definido con la información histórica y con los modelos de simulación y pronósticos disponibles hasta el momento.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Conforme al avance de la explotación del proyecto y el levantamiento de la nueva información durante le ejecución del PSA, sobretodo del comportamiento de los niveles “con proyecto”, será posible lograr un mayor conocimiento del sistema además de corroborar o corregir las predicciones realizadas.

Por lo tanto, se propone realizar cada dos años una revisión exhaustiva de los datos de monitoreo para la revisión y actualización de los modelos numéricos y sus predicciones. Paralelamente se realizará una validación y/o en caso de ser necesario, una recomendación de cambio de los puntos de activación, indicadores de estado y umbrales de este PAT, las que deberán ser validadas por las autoridades de la Región de Antofagasta. Este trabajo de revisión y actualización de los modelos numéricos se considera realizarlo durante un periodo de 6 meses por lo que la primera actualización se entregará después de dos años y medio de iniciado el proyecto, la segunda a los cuatro años y medio y así sucesivamente.

En caso que se produzca la activación de la Fase II del Plan de Contingencias, esta revisión también se llevará a cabo para entender por qué el sistema no se comportó como pronosticado.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

8 BIBLIOGRAFÍA

Benoit, I (Ed). 1989. Libro rojo de la flora terrestre de Chile. CONAF. Santiago, Chile. 157 p.

Braun-Blanquet, J. 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. H. Blume Ediciones. Madrid. 820 p.

CONAF-CONAMA-BIRF. 1997. Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Nacional con Variables Ambientales. Santiago, Chile.



DECRETO SUPREMO N° 151/2006. Chile. Oficializa primera clasificación de especies silvestres según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario Oficial, 24 de marzo de 2007.

DECRETO SUPREMO N° 50/2008. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el segundo proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario oficial, 30 de junio de 2008.

DECRETO SUPREMO N° 51/2008. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el tercer proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario oficial, 30 de junio de 2008.

DECRETO SUPREMO N° 23/2009. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el cuarto proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). Santiago, Chile. Diario oficial, 07 de mayo de 2009.

DECRETO SUPREMO N° 33/2011. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el quinto proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Santiago, Chile. Diario oficial, 27 de febrero de 2012.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

DECRETO SUPREMO N° 41/2011. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el sexto proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Santiago, Chile. Diario oficial, 11 de abril de 2012.

DECRETO SUPREMO N° 42/2011. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el séptimo proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Santiago, Chile. Diario oficial, 11 de abril de 2012.

DECRETO SUPREMO N° 19/2012. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el octavo proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Santiago, Chile. Diario oficial, 11 de febrero de 2013.



DECRETO SUPREMO N° 13/2013. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el octavo proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Santiago, Chile. Diario oficial, 25 de julio de 2013.

DECRETO SUPREMO N° 95/2001. Chile. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Ministerio Secretaria General de la Presidencia de la República. Santiago, Chile. Diario oficial, 7 de diciembre de 2002.

Dirección General de Aguas, 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad “Cuenca Salar de Atacama”, Ministerio de obras Públicas, Diciembre de 2004.

Etienne, M y D. Contreras. 1981. Cartografía de la vegetación y sus aplicaciones en Chile. Bol. Téc. 46. Fac. Cs. Agrarias y Forestales, Univ. Chile 27 p. 10 cartas

Etienne, M. y Prado, C. 1982. Descripción de la vegetación mediante cartografía de ocupación de tierras Conceptos y manual de uso práctico. Ciencias Agrícolas N°10. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. 120 pp.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA	
	ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA	

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile; clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria. Santiago, Chile, 165 pp.

LEY Nº 19.300/1994. Chile. Aprueba la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario Oficial, 9 de marzo de 1994.

Luebert, F. y Pliscoff, P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 316 pp.

Zar, J. 1996. Biostatistical análisis. Third edition. New Jersey. 662 p.



Zuloaga F. O., Morrone, O. y Belgrano, M. J. (eds.). 2008. Catálogo de Plantas Vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). Vol. 1-3. Missouri Botanical Garden, Saint Louis, Missouri.

DGA-GCF Ingenieros Limitada, 2010. Actualización de la Evaluación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos para construir Derechos de Aprovechamiento en las Subcuencas Afluentes al Salar de Atacama. II Región.

DGA – Geohidrología (2012) “Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA”

DGA (2012) – “Análisis Preliminar de Planes de Alerta Temprana con Condicionamiento de Derechos Informe Técnico Nº 335

DGA, Departamento de Administración de Recursos Hídricos, 2012. Evaluación de los recursos Hídricos Subterráneos del Acuífero del Salar de Atacama.

	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MODIFICACIONES Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE POZAS DE EVAPORACION SOLAR EN EL SALAR DE ATACAMA</p>	
	<p>ANEXO 5 – PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA</p>	

SQM-(2011) Informe N°9 del Plan de Seguimiento hidrogeológico Proyecto cambios y mejoras de la operación minera en el salar de Atacama

MEL (2013) Duodécimo Informe Anual Monitoreo Ambiental EIA Lixiviación Óxidos de Cobre y Aumento de la Capacidad de Tratamiento de Mineral Sulfurado