

**Universidad de Valparaíso**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Industrial**



Diseño de subproceso de control de Geosmina para el Sistema de producción de agua potable de la planta Concón de Esva

Por

Claudia Leticia Álvarez Gallardo

Jenny Andrea Galdames Jiménez

Trabajo de Título para optar al Grado de  
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y título de  
Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía Lorena Ordenes Waitters

Enero, 2018

## **Agradecimientos**

*Quiero dedicar este trabajo de título a mi familia que fue parte fundamental en este proceso, es especial a mis padres Leticia y Jorge que siempre me han apoyado en todo y en cada etapa de mi vida, ya que sin su esfuerzo y amor nada de esto hubiera sido posible.*

*Quiero agradecer a mis amigos que siempre han estado para mí, en especial a los que realice en la quinta región, que fueron muchas veces una segunda familia en todo el tiempo que duró la universidad y espero que lo sigan siendo a lo largo de la vida, en especial a Daniela, Jenny, Oriana, Ayleen, Juampi y Ema.*

*También agradecer al equipo de procesos de Esva 2016 quienes tuvieron toda la disposición para la realización de este trabajo de título.*

*Finalmente agradecer a nuestra profesora guía Lorena Ordenes, que gracias a su apoyo y profesionalismo hemos logrado terminar este proceso.*

*“Que tus sueños salgan a volar entre las nubes de la gran ciudad y que mañana vuelvan a ti como una hermosa realidad”.*

*Claudhia Álvarez Gallardo.*

## **Agradecimientos**

*Quiero dedicar este trabajo de título a todas las personas que me apoyaron durante este largo proceso, especialmente a mis padres, José y Denisse, quienes me han entregado todo el amor, valores y apoyo durante toda mi vida, gracias a ellos me he convertido en la persona que soy, gracias por darme la oportunidad de estudiar y formarme profesionalmente, sin su esfuerzo y sacrificio nada hubiera sido posible. A mi abuela María, que es mi segunda madre, muchas gracias por estar siempre para mí, por apoyarme y consentirme en absolutamente todo.*

*Quiero agradecer a mi amiga y compañera de tesis Claudhia, quien desde primer año de universidad ha sido mi amiga y con la cual he vivido muchos momentos y experiencias como lo fue el intercambio.*

*También agradecer a nuestra profesora guía Lorena Ordenes, por sus consejos y ayuda durante toda esta etapa.*

*Para finalizar quisiera agradecer a Dios por su constante apoyo y fuerza en los momentos más difíciles.*

*Jenny Galdames Jiménez.*

## Índice

Abreviaturas .....	7
Lista de Figuras .....	8
Lista de Tablas .....	9
Lista de Gráficos.....	11
Resumen .....	12
Introducción .....	13
Capítulo 1: Descripción de la empresa .....	14
1.1 Antecedentes Generales .....	15
1.1.1 Visión .....	15
1.1.2 Misión.....	15
1.1.3 Valores .....	15
1.2 Organigrama.....	16
1.3 Cobertura .....	17
1.4 Plantas de producción de agua potable y tratamiento de aguas servidas .....	18
1.5 Sistema de producción de agua potable .....	19
Capítulo 2: Descripción del problema .....	21
2.1 Antecedentes.....	22
2.1.1 Diagrama del árbol de la realidad actual.....	22
2.1.2 Reclamos por incumplimientos de los parámetros organolépticos .....	28
2.1.3 Multas.....	31
2.1.4 Costo adicional .....	33
2.2 Objetivos .....	34
2.2.1 Objetivo General.....	34
2.2.2 Objetivos Específicos .....	34
2.3 Metodología Propuesta.....	35
Capítulo 3: Marco teórico.....	36

3.1	Calidad .....	37
3.2	Agua.....	37
3.2.1	Agua cruda .....	38
3.2.2	Agua tratada .....	38
3.2.3	Agua potable .....	38
3.3	Parámetros organolépticos .....	41
3.4	Origen del olor de agua potable.....	41
3.4.1	Tipos de problemas de olor y sabor .....	41
3.4.2	Causa de los problemas de olor y sabor.....	42
3.4.3	Medida y control de la calidad de olor y sabor .....	44
3.4.4	Toxinas de las algas .....	44
3.5	Carbón activado .....	45
3.6	Proceso .....	45
3.7	Levantamiento de procesos.....	45
3.8	Diagramas de flujo.....	46
Capítulo 4: Análisis de la situación actual .....		47
4.1	Descripción de la planta Concón .....	48
4.2	Levantamiento de procesos.....	48
4.2.1	Captación .....	48
4.2.2	Tratamiento .....	50
4.2.3	Conducción y Elevación .....	54
4.2.4	Análisis de levantamiento de procesos.....	56
Capítulo 5: Propuesta de control de Geosmina.....		72
5.1	Cuantificación de Geosmina .....	73
5.1.1	Métodos de extracción.....	73
5.1.2	Método de separación .....	75
5.1.3	Método de cuantificación .....	75

5.1.4	Selección de método de extracción por matriz AHP .....	76
5.1.5	Especificaciones de equipos de laboratorio .....	79
5.2	Dosificación de carbón activado en polvo .....	80
5.2.1	Características del carbón activado en polvo.....	81
5.2.2	Relación entre la concentración de Geosmina y la concentración de carbón activado en polvo .....	82
5.3	Análisis de datos históricos de carbón activado en polvo .....	85
5.3.1	Dosificación de carbón activado en polvo según propuesta.....	87
5.3.2	Correlación de datos.....	89
5.4	Subproceso de Control de Geosmina .....	90
5.4.1	Indicador clave de desempeño (KPI) para el control de Geosmina.....	97
Capítulo 6: Evaluación Económica .....		98
6.1	Costos .....	99
6.2	Beneficios.....	100
6.3	Relación costo – beneficio.....	100
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones .....		102
7.1	Conclusiones .....	103
7.2	Recomendaciones.....	104
Referencias bibliográficas.....		105
Anexos .....		107
Anexo 1: Métodos para el tratamiento de Geosmina .....		107
Anexo 2: Registro de control de GSM .....		111
Anexo 3: Cálculo de volumen gas helio.....		112
Anexo 4: Cotización de equipos de laboratorio.....		113

**Abreviaturas**

AHP: Analytic Hierarchy Process

ARIS: Architecture of Integrated Information Systems

BPMN: Business Process Model and Notation

CCO: Centro de Control Operacional

GSM: Geosmina

NCh: Norma Chilena

PAC: Carbón Activado en Polvo

PTAS: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas

SGD: Sitio de Gestión Documental

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios

SPAP: Sistema Productivo de Agua Potable

## Lista de Figuras

Figura 1: Orgánico Esva Adv. ....	16
Figura 2: Mapa de las localidades donde Esva otorga servicio. ....	17
Figura 3: Sistema de producción de agua potable ....	20
Figura 4: Diagrama del árbol de la realidad actual ....	26
Figura 5: Organigrama de Gerencia de Operaciones.....	27
Figura 6: Organigrama de Subgerencia de Producción ....	28
Figura 7: Planta Concón ....	30
Figura 8: Extracción Superficial ....	58
Figura 9: Extracción Subterránea ....	59
Figura 10: Compra de Agua.....	60
Figura 11: Pretratamiento ....	61
Figura 12: Coagulación y Floculación ....	62
Figura 13: Decantación.....	63
Figura 14: Filtración ....	64
Figura 15: Cloración ....	65
Figura 16: Fluoración.....	66
Figura 17: Elevación agua cruda ....	67
Figura 18: Conducción de agua cruda ....	68
Figura 19: Conducción agua tratada.....	69
Figura 20: Elevación agua potable.....	70
Figura 21: Conducción agua potable ....	71
Figura 22: Control de Geosmina ....	96
Figura 23: Indicador "Porcentaje de muestras con exceso de GSM residual" .....	97

## Lista de Tablas

Tabla 1: Datos de Operación 2016 .....	18
Tabla 2: Zonales SPAP EsvaI .....	18
Tabla 3: Zonales PTAS EsvaI .....	18
Tabla 4: Matriz de Vester .....	23
Tabla 5: Consistencia de Matriz Vester .....	24
Tabla 6: N ° de reclamos por sabor y olor .....	28
Tabla 7: Muestras de Agua Cruda SPAP Concón .....	31
Tabla 8: Multas por incumplimientos de parámetros organolépticos .....	32
Tabla 9: Costo en carbón activado .....	33
Tabla 10: Requisitos Físicos .....	38
Tabla 11: Requisitos Químicos .....	39
Tabla 12: Requisitos Radiactivos .....	40
Tabla 13: Olor, sabor y sus causas .....	42
Tabla 14 : Matriz de comparación de criterios .....	76
Tabla 15: Matriz de comparación de criterios normalizada .....	76
Tabla 16: Consistencia de criterios .....	77
Tabla 17: Matrices de juicios comparando métodos de extracción para cada criterio ..	77
Tabla 18: Pesos de orden de preferencias de métodos según cada criterio .....	78
Tabla 19: Consistencia de métodos de extracción .....	78
Tabla 20: Clasificación general de los métodos de extracción .....	78
Tabla 21: Especificaciones de purga y trampa .....	79
Tabla 22: Especificaciones de cromatógrafo de gases .....	80
Tabla 23: Especificaciones de espectrómetro de masas .....	80
Tabla 24: Coeficientes de ecuación cuadrática y resultados de concentración de PAC .....	83
Tabla 25: Cantidad de PAC a diferentes concentraciones de GSM residual .....	84
Tabla 26: Consumo de PAC en la planta Concón .....	85
Tabla 27: PAC según GSM inicial año 2013 .....	87
Tabla 28: PAC según GSM inicial año 2014 .....	88
Tabla 29: PAC según GSM inicial año 2015 .....	88
Tabla 30: PAC según GSM inicial año 2016 .....	89
Tabla 31: Correlación de datos .....	89

Tabla 32: Informe del Control de Geosmina.....	91
Tabla 33: Costos.....	99
Tabla 34: Beneficios .....	100
Tabla 35: Relación Costo – Beneficio .....	100
Tabla 36: Volumen gas helio .....	112

**Lista de Gráficos**

Gráfico 1: Representación gráfica de la matriz de Vester .....	25
Gráfico 2: N° de reclamos por sabor y olor en el Gran Valparaíso .....	29
Gráfico 3: Problemas de sabor y olor en la planta Concón .....	31
Gráfico 4: Conc. Inicial GSM v/s Conc. PAC 2.....	84
Gráfico 5: Consumo de PAC de planta Concón .....	86

## **Resumen**

El presente trabajo se centra en eliminar los problemas de olor y sabor en el agua potable producida en la planta Concón de Esva, mediante un diseño de control de Geosmina.

El principal problema es la presencia de Geosmina en el agua potable, que tiene como consecuencia multas por parte de la SISS, debido a los incumplimientos en los parámetros organolépticos.

Actualmente Esva cuenta con métodos cualitativos, umbral de olor y perfil de gusto, que solo reconocen la Geosmina por su caracterización de olor y sabor a tierra. Por este motivo se propone un control cuantitativo, que consta en la determinación de la concentración inicial de Geosmina en el agua cruda que ingresa a la planta, a través de equipos de laboratorios, para luego determinar la correcta dosificación de carbón activado en polvo en el agua floculada, logrando que la Geosmina residual sea menor a 10 ng/lit, siendo de esta manera imperceptible por los consumidores.

Finalmente se logra cuantificar la Geosmina y dosificar correctamente el carbón activado en polvo, eliminando los problemas de olor y sabor en el agua potable, generando un ahorro al disminuir la cantidad de carbón activado empleado y al disminuir significativamente las multas.

## **Introducción**

El agua es el recurso natural más abundante en la tierra y está relacionado con todos los elementos de los ecosistemas, permitiendo el desarrollo de diferentes formas de vida. Para el ser humano es un elemento esencial e indispensable, ya que debe ser consumido diariamente para el correcto desarrollo de su organismo. El mal o indiscriminado uso del agua puede provocar la contaminación de éste, con el consecuente deterioro de la calidad de los demás recursos naturales, desequilibrio ecológico y pérdida irremediable de ecosistemas y también del paisaje. La calidad del agua tiene directa relación con la salud de las personas, de allí nace la importancia de potabilizar este recurso, generando agua potable que cumpla con los estándares de calidad exigidos por las autoridades sanitarias.

Es común la existencia de microorganismos en el agua provenientes de fuentes superficiales, en el río Aconcagua que abastece a la planta Concón de agua potable de Esva, existe un metabolito denominado Geosmina, que causa problemas de olor y sabor con caracterización a tierra, alterando los parámetros organolépticos exigidos por la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Este problema es percibido por los clientes en el consumo de agua potable, los cuales realizan reclamos por la calidad que presenta, teniendo finalmente como consecuencia para Esva multas de elevados montos. Además, en la actualidad no se mide la cantidad de Geosmina que contiene el agua cruda al ingreso de los procesos de captación y tratamiento, al no contar con esta información, no se puede controlar este problema. También Esva dedica todos sus esfuerzos en entregar agua potable, preocupándose principalmente de cumplir las normas, enfocándose en lograr un buen resultado final, siendo eficaz y dejando de lado la eficiencia, ya que dosifica carbón activado en la etapa de coagulación y floculación sin tener conocimiento de las cantidades necesarias para eliminar efectivamente el problema, lo que provoca altos costos y poca confiabilidad en el proceso.

Por lo tanto en este trabajo de título se espera encontrar soluciones que controlen la causa raíz del problema, permitiendo elevar el nivel de los servicios entregados al cliente, mejorar la calidad del agua potable que se produce, ahorrar los recursos que se gastan en carbón activado con el fin de lograr la eficiencia en los procesos de la empresa y disminuir las multas.

## **Capítulo 1: Descripción de la empresa**

## **1.1 Antecedentes Generales**

Esval es una empresa sanitaria que se constituye en el año 1989. Se dedica a la producción y distribución de agua potable, y a la recolección, descontaminación y disposición de aguas servidas, servicios prestados a las comunas de la Región de Valparaíso. Efectúa además prestaciones relacionadas con dichas actividades, en los términos establecidos en el DFL N° 382 de 1988, del Ministerio de Obras Públicas, y otras normas que le sean aplicables.

En el año 1998 se convierte en la primera sanitaria en abrirse a la incorporación de capital privado, por medio de un proceso de licitación internacional. Aguas Puerto (Enersis 72% y Anglian Water Chile 28%), se adjudica el 40% de la propiedad de la empresa.

El 25 de noviembre del año 2003, Esval se adjudica en licitación pública, el derecho de explotación por 30 años de las concesiones operadas por ECONSSA CHILE S.A., sanitaria de la Región de Coquimbo. Para tales efectos, el día 4 de diciembre del año 2003 se constituye una sociedad anónima filial denominada Aguas del Valle S.A., la que está sometida a las normas que rigen a las sociedades anónimas abiertas.

El ente que regula la actividad de Esval y el sector sanitario en su conjunto es la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), quien tiene como objeto garantizar a la población que los servicios que presta son eficientes, de calidad y tienen un precio justo, posibles de sostener en el largo plazo. Además, asegura que el agua una vez utilizada, será tratada y dispuesta en consonancia con el desarrollo sustentable.

### **1.1.1 Visión**

Ir más allá de las expectativas de nuestros clientes, generando valor en forma sostenible. (Esval, 2016)

### **1.1.2 Misión**

Mejorar la calidad de vida de las personas, contribuyendo al desarrollo regional, con un equipo comprometido con la excelencia en la gestión integral del agua. (Esval, 2016)

### **1.1.3 Valores**

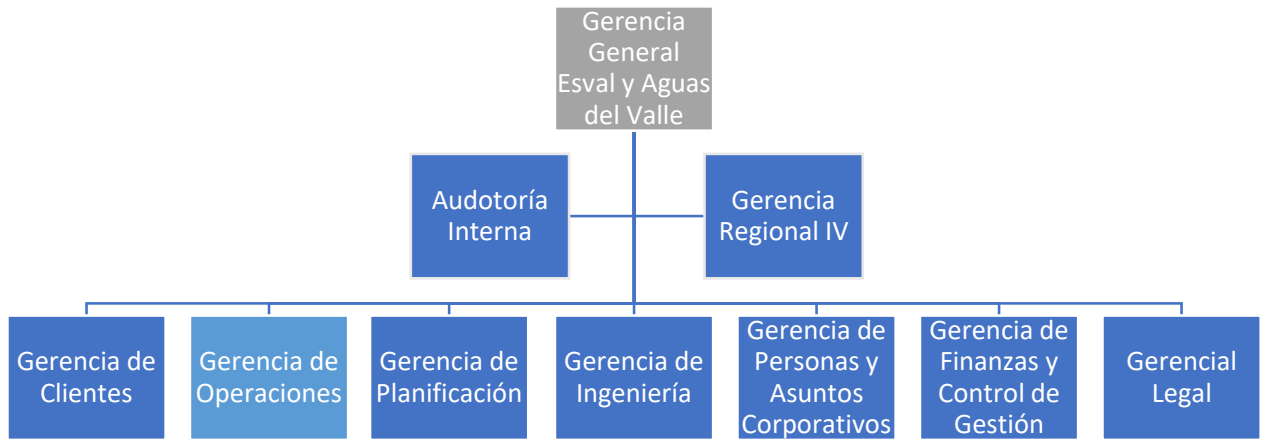
Eficiencia - Compromiso - Transparencia – Empatía

## 1.2 Organigrama

Esva es dirigida por un Gerente General, el cual debe encargarse de interrelacionar todas las gerencias de la empresa, con el fin de entregar un buen servicio a la comunidad de la quinta región.

De acuerdo al artículo 50 Bis de la ley de Sociedades Anónimas, Esva S.A. no cuenta con un comité de directores.

Figura 1: Orgánico Esva Adv.



Fuente: Departamento Procesos Esva

### 1.3 Cobertura

La cobertura se refiere al área geográfica delimitada en extensión territorial y cota, donde existe obligatoriedad de servicio para las concesionarias de distribución de agua potable y de recolección de aguas servidas.

Esva otorga servicios en las comunas de la región de Valparaíso, con excepción de Panquehue, Olmué, Santo Domingo, Juan Fernández e Isla de Pascua.

Adicionalmente, la compañía presta servicios de agua potable a otras localidades, fuera del área de concesión en la comuna de Algarrobo, en base a convenios suscritos con las comunidades de Algarrobo Norte, Mirasol y Las Brisas.

*Figura 2: Mapa de las localidades donde Esva otorga servicio.*

- 1) Petorca
  - 2) Los Andes
  - 3) San Felipe
  - 4) Quillota
  - 5) Marga - Marga
  - 6) Valparaíso
  - 7) San Antonio
- Sectores fuera del área :  
Panquehue, Olmué,  
Sto. Domingo.



*Fuente: Reporte Integrado Corporativo 2013 Esva*

A diciembre del 2016, el servicio de Esva está dirigido a 622.656 clientes de agua potable y a 571.049 clientes de alcantarillado, los que representan respectivamente al 99,9% y al 93,8% de la población ubicada dentro de las áreas de concesión de las comunas donde opera Esva S.A. en la Región de Valparaíso.

Tabla 1: Datos de Operación 2016

Datos de Operación 2016	Esva	Aguas del Valle	Consolidado
<b>Población Urbana Abastecida</b>	1.658.026	662.084	2.320.110
<b>Clientes Agua Potable</b>	622.656	240.441	863.097
<b>Clientes Alcantarillado</b>	571.049	232.104	803.153
<b>Cobertura Agua Potable (%)</b>	99.9%	100%	99.9%
<b>Cobertura Alcantarillado</b>	93.8%	97%	94.7%

Fuente: Memoria Anual Esva 2016

#### 1.4 Plantas de producción de agua potable y tratamiento de aguas servidas

Actualmente Esva cuenta con 59 plantas de producción de agua potable, las que están distribuidas en cuatro subgerencias:

Tabla 2: Zonales SPAP Esva

Subgerencia Zonal	N° de Plantas
<b>Subgerencia Zonal Valparaíso</b>	4
<b>Subgerencia Zonal San Felipe- Los Andes</b>	14
<b>Subgerencia Zonal Litoral Sur</b>	4
<b>Subgerencia Zonal Quillota</b>	37

Fuente: Elaboración propia

Además posee 34 plantas de tratamiento de agua servidas, clasificadas en lagunas aireadas, emisarios submarinos y lodos activados, las cuales están distribuidas en 4 Subgerencias:

Tabla 3: Zonales PTAS Esva

vSubgerencia Zonal	N° de Plantas
<b>Subgerencia Zonal Valparaíso</b>	5
<b>Subgerencia Zonal San Felipe- Los Andes</b>	12
<b>Subgerencia Zonal Litoral Sur</b>	5
<b>Subgerencia Zonal Quillota</b>	12

Fuente: Elaboración propia

## **1.5 Sistema de producción de agua potable**

El proceso productivo tiene como objetivo potabilizar el Agua Cruda en forma eficiente y oportuna, con la calidad requerida por la Norma (NCh 409) y en la cantidad suficiente para atender la demanda de los clientes, desde que ingresa agua cruda al SPAP (Sistema Productivo de Agua Potable), donde es tratada para obtener Agua Potable, hasta que queda disponible para la distribución.

La producción de agua potable cuenta con 4 procesos siendo estos: captación, tratamiento, regulación y conducción y elevación.

### **A) Captación**

El propósito de este proceso es captar agua desde las fuentes autorizadas tanto superficiales como subterráneas, en virtud de las acciones y/o derechos de aprovechamiento de agua de propiedad de la empresa, cumpliendo los requisitos de calidad, cantidad y continuidad que les exige la normativa vigente, con el propósito de disponer agua cruda al proceso de tratamiento. Desde que el agua cruda superficial y/o subterránea se encuentra disponible para su extracción, hasta que es dispuesta para su conducción y/o elevación.

### **B) Tratamiento**

Proceso que se lleva a cabo sobre agua cruda para transformarla en agua potable y de esta manera hacerla absolutamente apta para el consumo humano. La finalidad de este proceso es clarificar y potabilizar el agua cruda extraída, con la cantidad, eficiencia y calidad requerida por la norma, para disponer agua potable a la distribución. Desde que el agua cruda es conducida a la planta de tratamiento, hasta la obtención de agua potable dispuesta para su conducción y/o elevación. Este proceso está compuesto por los siguientes subprocesos: pretratamiento, coagulación y floculación, decantación, filtración, cloración y fluoración.

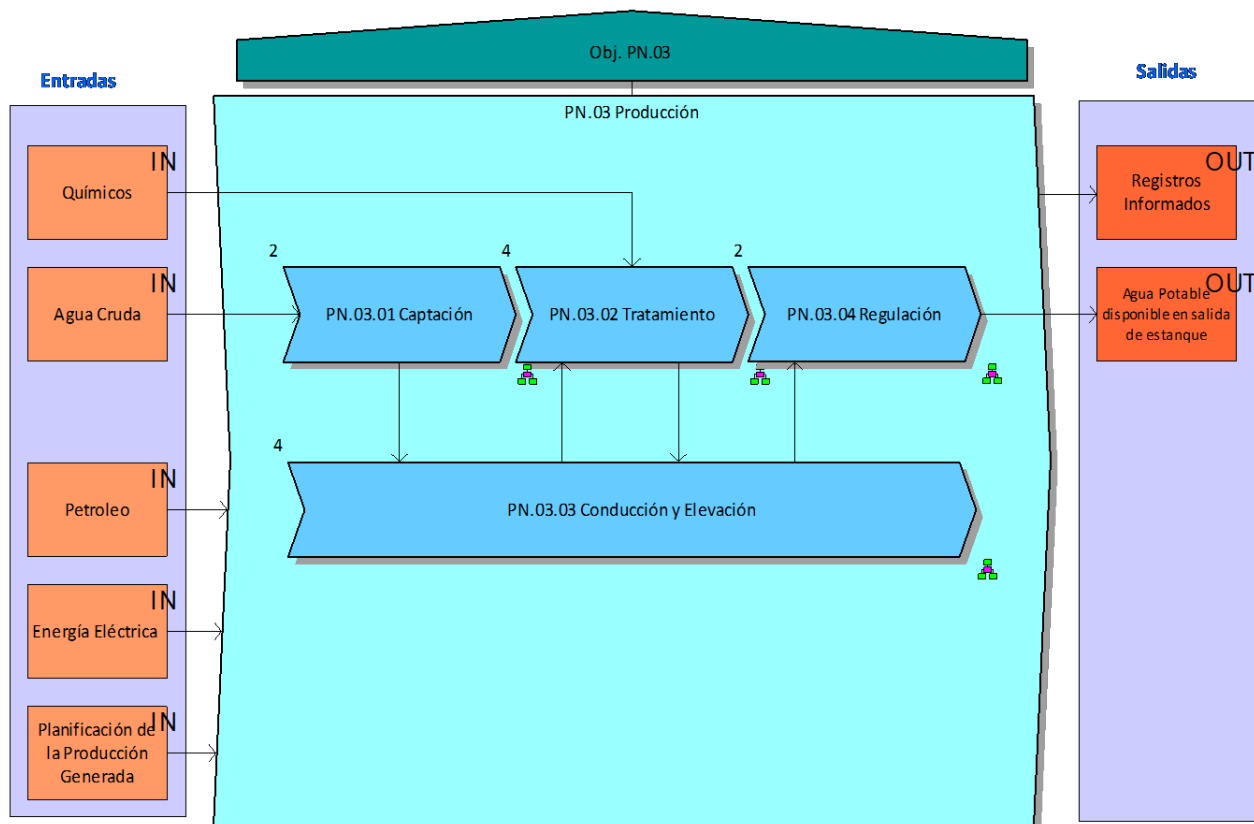
### **C) Regulación**

Tiene como fin regular el agua potable en los estanques con la eficiencia y calidad requerida por la norma (NCh 409) asegurando la continuidad para la distribución. Desde que el agua potable está disponible en el estanque de regulación, hasta que ésta es controlada para la distribución.

## D) Conducción y elevación

El objetivo de este proceso es conducir y/o elevar el agua cruda, tratada o potable para la continuidad de la producción. Desde que el agua cruda es extraída, hasta que el agua potable es elevada y/o conducida.

Figura 3: Sistema de producción de agua potable



Fuente: Departamento de Procesos EsvaI

## **Capítulo 2: Descripción del problema**

## 2.1 Antecedentes

La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), es un organismo normativo y fiscalizador de las empresas sanitarias que prestan servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas. En el caso de la producción de agua potable, fiscaliza el cumplimiento de la norma NCh 409/1 y NCh 409/2, y establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable en todo el territorio nacional, estos están agrupados de la siguiente manera:

- Tipo I: Microbiológicos y Turbiedad

- Tipo II: Sustancias Químicas de importancia para la salud: Estas se subdividen en: Elementos esenciales, Elementos no esenciales, Sustancias orgánicas, Plaguicidas, Productos secundarios de desinfección

- Tipo III: Elementos Radiactivos

- Tipo IV: Parámetros Organolépticos

- Tipo V: Parámetros de Desinfección

Además existen parámetros críticos que son característicos de las fuentes de abastecimiento o del servicio, de tipo tóxico u organoléptico (Tipo II o Tipo IV), que en ausencia o falla del tratamiento, superan el límite máximo especificado por la norma.

En el caso de Esva, los parámetros organolépticos no cumplen con la normativa, generando reclamos y multas, por parte de los clientes y de la SISS respectivamente. Por lo anterior se realizará el árbol de la realidad actual para identificar donde se está produciendo el problema y sus respectivas causas.

### 2.1.1 Diagrama del árbol de la realidad actual

Con el fin de determinar la causa raíz del problema se utiliza en un principio la matriz de Vester, que permite identificar las causas y los efectos indeseables de éste. Para ello se realiza una lluvia de ideas de los problemas, colocando cada uno de ellos en las filas de la matriz y también en las cabeceras de las columnas, siguiendo el mismo orden en ambas. Una vez realizado lo anterior, se desarrolla el análisis relacional de cada problema respecto a los demás, es decir se comienza con el problema 1 de las filas versus el problema 2 de las columnas, asignando una ponderación de 0 a 3, al responder la pregunta ¿problema 1 causa problema 2?, según el siguiente criterio:

- 0: No lo causa.
- 1: Lo causa indirectamente o tiene una relación de causalidad muy débil.
- 2: Lo causa de forma semi-directa o tiene una relación de causalidad media.
- 3: Lo causa directamente o tiene una relación de causalidad fuerte.

Luego se suman las filas y las columnas de cada problema, obteniendo respectivamente el “total activos” y el “total pasivos”, como se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4: Matriz de Vester

Problemas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total Activos
1 Multas por incumplimientos.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Mala calidad del agua potable.	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
3 Incumplimientos en los parámetros organolépticos.	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
4 Sabor y olor terroso en el agua potable.	2	3	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	10
5 Presencia de Geosmina en el agua potable.	1	2	2	3	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	11
6 Proliferación de algas y bacterias en la fuente del recurso hídrico.	2	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	12
7 Altas temperaturas en el ambiente	1	1	1	2	2	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	12
8 Bajo flujo de agua (sequía) y estancamiento.	1	1	1	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
9 Dosificación del carbón activado no eficaz.	2	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
10 Dosis de carbón activado no establecida.	1	1	2	2	2	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	13
11 No existe relación entre la dosis de carbón activado y la presencia de Geosmina inicial.	1	1	1	2	2	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	12
12 Falta de control de la Geosmina.	1	2	2	2	3	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	14
13 Método de medición de toma de muestra de Geosmina cualitativa.	1	1	2	1	2	0	0	0	2	1	2	3	0	3	3	21
14 Error en medición por umbral olor.	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	9
15 Error en medición por perfil de gusto.	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	9
<b>Total Pasivos</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	

Fuente: Elaboración propia

Para verificar el correcto llenado de la matriz Vester, se debe calcular que no más del 30% de los valores de las celdas tengan un valor 3, siendo de esta forma consistente. En este caso resultó ser de un 8%, por lo cual es consistente (Tabla 5).

*Tabla 5: Consistencia de Matriz Vester*

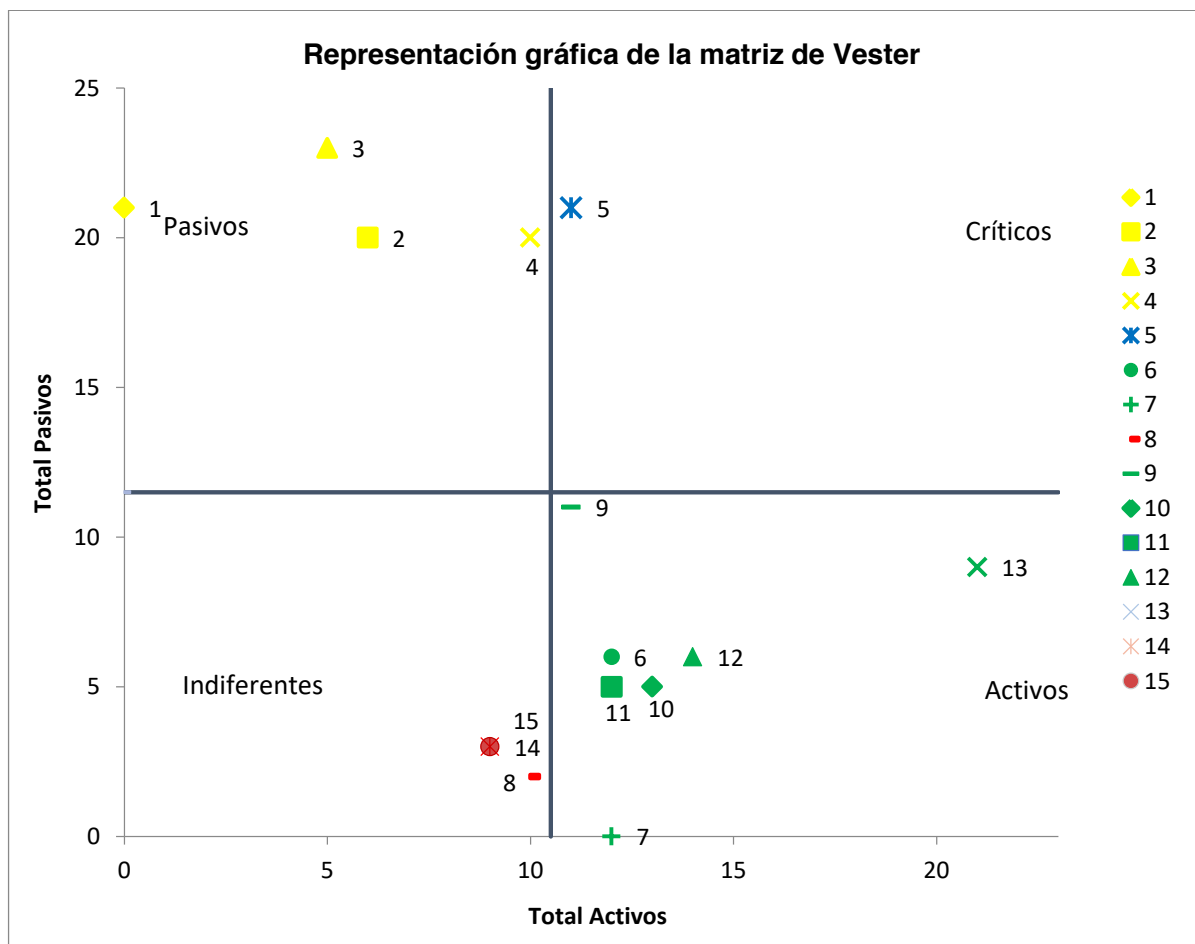
Total de ponderaciones asignadas	215
N° de ponderaciones con valor 3	18
Coefficiente obtenido (%)	8%
<b>Resultado</b>	<b>Consistente</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Luego se grafica estos valores en un plano cartesiano (Gráfico 1), ubicando en el eje X los problemas activos y en el eje Y los problemas pasivos, paralelos a estos se trazan dos ejes, cuyos valores se obtienen al dividir el valor mayor de cada total en dos, formando cuatro cuadrantes:

- Cuadrante I: Críticos, representan problemas de gran causalidad y son causados por la mayoría.
- Cuadrante II: Pasivos, representan problemas que no influyen de manera importantes sobre otros, pero sí son causados por la mayoría.
- Cuadrante III: Indiferentes, representan problemas de baja influencia y no son causados por la mayoría.
- Cuadrante IV: Activos, representan problemas de alta influencia sobre la mayoría, pero no son causados por otros.

Gráfico 1: Representación gráfica de la matriz de Vester

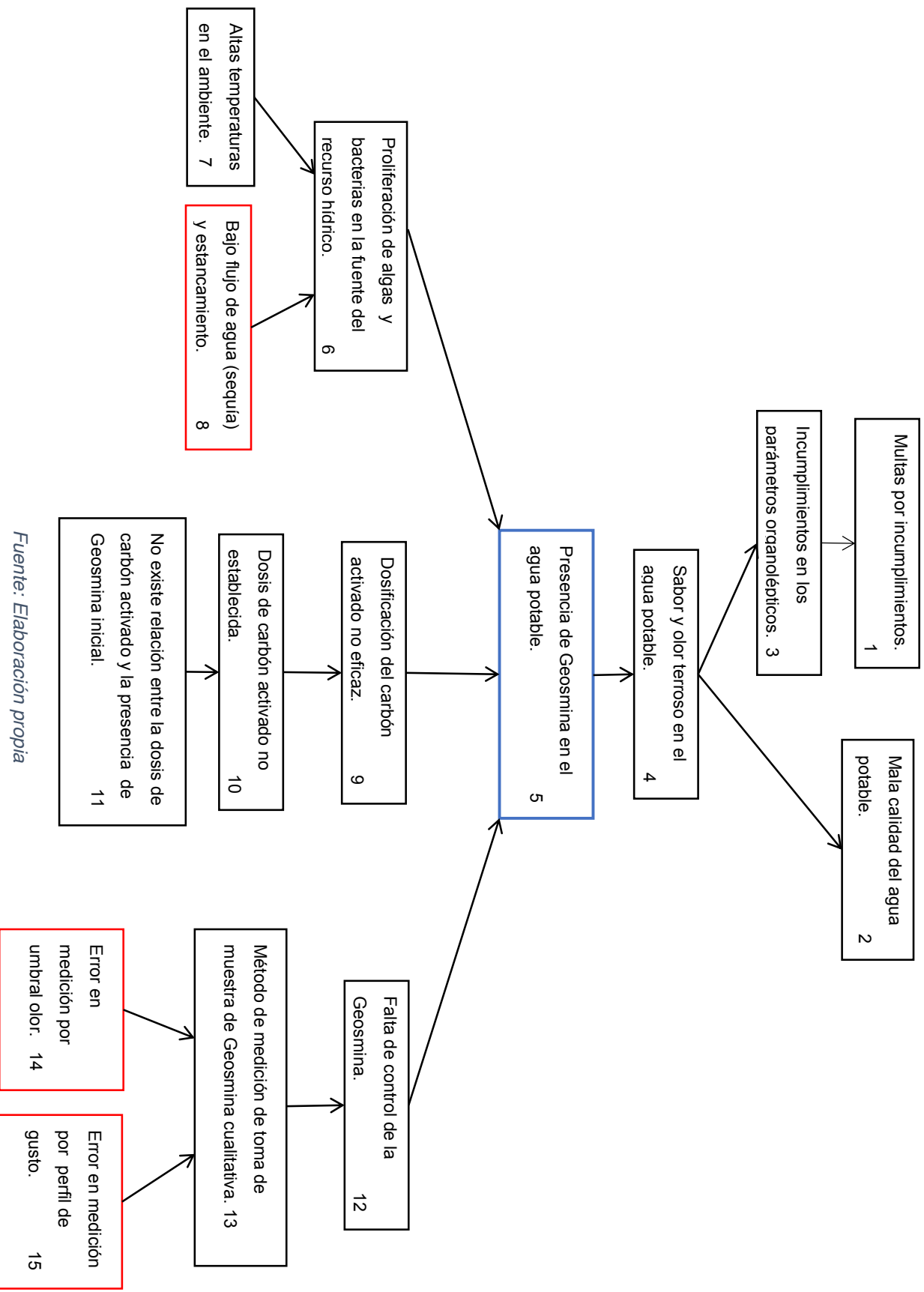


*Fuente: Elaboración propia*

A partir de lo anterior, se jerarquiza los problemas en un árbol de la realidad actual (Figura 4) ubicando en la parte superior los problemas pasivos, es decir las consecuencias. En el centro se ubica el problema crítico, el cual es el tronco del árbol, por ser el más influyente y dependiente de todos los problemas analizados. En la parte inferior se sitúa los problemas activos, que corresponde a las causas primarias y secundarias.

Cabe mencionar que los problemas indiferentes al no ser influyentes sobre el contexto general, no deben ser incluidos en el árbol de la realidad actual, pero en este caso sí serán considerados sólo para visualizar las relaciones entre las situaciones identificadas.

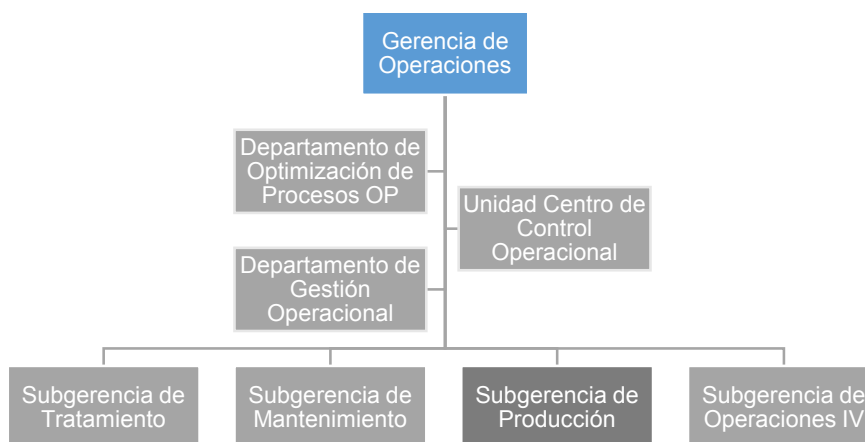
Figura 4: Diagrama del árbol de la realidad actual



Fuente: Elaboración propia

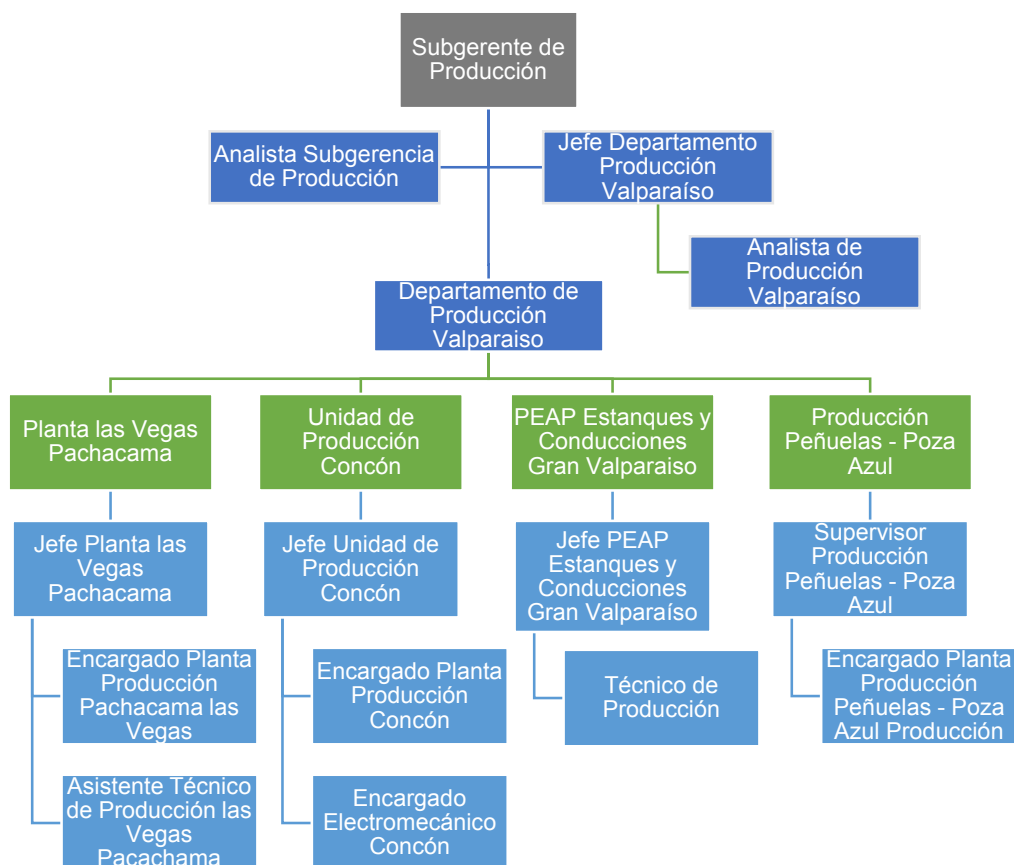
Considerando lo anterior, el problema se sitúa al comienzo del sistema de producción de agua potable, en el proceso de captación, siendo el único que utiliza agua cruda en todo su desarrollo, proveniente del Río Aconcagua, que presenta olor y sabor a tierra, fenómeno que ocurre principalmente en las estaciones de primavera-verano por las altas temperaturas y en períodos de sequía. La causante de esta caracterización es la Geosmina, metabolito secundario generado principalmente por cianobacterias, cuya presencia en el agua se percibe a partir de 10 (ng/l), concentraciones que no tienen ningún efecto sobre la salud, pero de igual manera afectan la calidad del agua, necesitando tratamientos adicionales para lograr el cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor) de la NCh409/1. Estos inconvenientes se identifican en la Subgerencia de Producción (Figura 6) perteneciente a la Gerencia de Operaciones de Esva (Figura 5), en el ámbito de la “Calidad en la producción de agua potable”.

*Figura 5: Organigrama de Gerencia de Operaciones*



*Fuente: Departamento Procesos Esva*

Figura 6: Organigrama de Subgerencia de Producción



Fuente: Departamento Procesos Esval

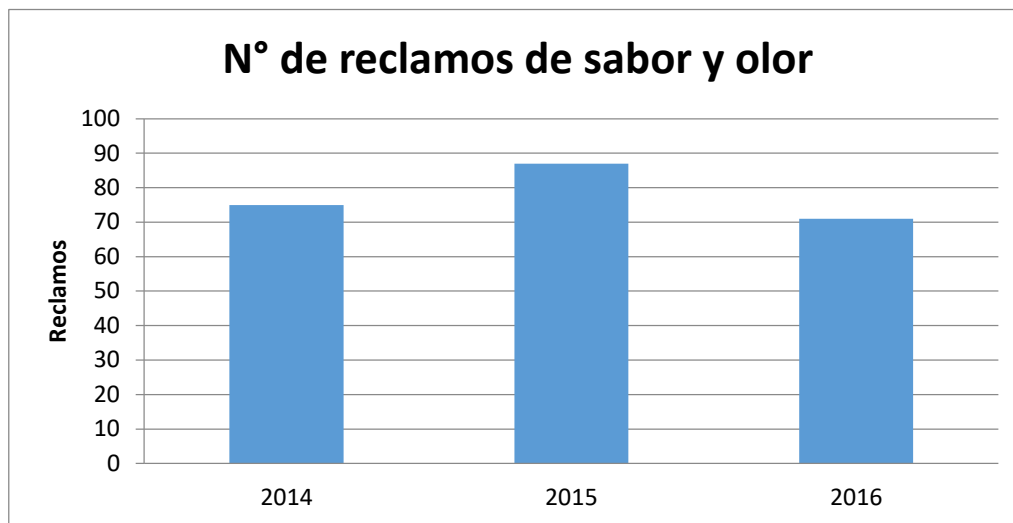
### 2.1.2 Reclamos por incumplimientos de los parámetros organolépticos

Los incumplimientos se ven reflejados en el indicador “Número de reclamos por sabor y olor de agua potable del sistema Gran Valparaíso”. La Tabla 6 representa el número de reclamos acumulados durante los años 2014 a 2016, que emiten los clientes en Esval.

Tabla 6: N ° de reclamos por sabor y olor

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
2014	3	2	8	6	2	5	7	1	5	11	9	16	75
2015	20	6	5	15	4	6	7	5	1	2	5	11	87
2016	9	4	12	5	5	4	2	4	3	4	6	13	71

Fuente: Elaboración propia

*Gráfico 2: N° de reclamos por sabor y olor en el Gran Valparaíso*

*Fuente: Elaboración propia*

En el zonal de Valparaíso solo existen dos plantas que consideran los parámetros organolépticos como críticos, estas son Poza Azul y Concón. La primera distribuye agua potable a la localidad de Quilpué y parte de la demanda que no alcanza abastecer la planta Las Vegas. Concón distribuye a las localidades de: Quintero, Valparaíso, Viña del Mar, Reñaca, Concón y al igual que la anterior lo que no alcanza a cubrir Las Vegas. Por esta razón se decidió estudiar la planta Concón (Figura 7), pues distribuye a una mayor cantidad de sectores, además presenta la mayor cantidad de problemas en sus muestras afectando a una mayor cantidad de personas.

Figura 7: Planta Concón



Fuente: Departamento Procesos Esvál

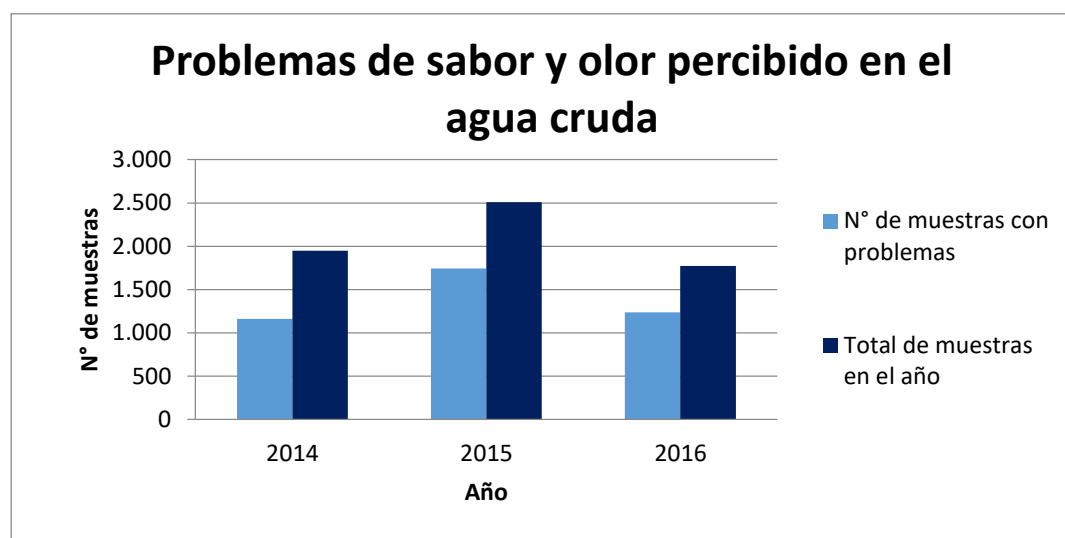
En la Tabla 7 se observa el número de muestras de agua cruda con problemas del total de muestras realizadas durante los años 2014 a 2016. En promedio el 66% de las muestras de agua cruda presenta problemas de sabor y olor.

*Tabla 7: Muestras de Agua Cruda SPAP Concón*

Año	N° de muestras con problemas	Total de muestras en el año
2014	1.162	1.947
2015	1.743	2.510
2016	1.238	1.774

*Fuente: Elaboración propia*

*Gráfico 3: Problemas de sabor y olor en la planta Concón*



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.1.3 Multas

Al no cumplir con los parámetros organolépticos exigidos por la normativa, se generan multas por parte de la SISS. En este caso se analizan las multas desde el año 2012 al 2016 (Tabla 8) para visualizar que la cantidad y valor de las multas varían por año, las cuales son por problemas de sabor y olor en el agua potable en las localidades que distribuye la planta Concón, incurriendo en un gasto de \$1.042.262.956, por no cumplir con la calidad estipulada de agua potable. Cabe mencionar que en el año 2014 no existen multas debido al excesivo

uso de carbón activado, esta medida fue tomada para evitar el problema que aconteció en el año 2013 por el gran aumento de Geosmina.

*Tabla 8: Multas por incumplimientos de parámetros organolépticos*

Organismo	Designación	Año Multa	Aplicación multa		Total
			Monto UTA	Monto \$	
SISS	Mal olor agua planta Concón	2012	110	\$ 51.507.720	\$172.125.720
SISS	Calidad agua potable estanque Santa Inés, Viña del Mar	2012	90	\$ 43.422.480	
SISS	Olor y sabor agua potable Concón	2012	160	\$ 77.195.520	
SISS	Deficiencia en la calidad de agua potable diversas localidades	2013	476	\$ 232.889.664	\$ 325.849.824
SISS	Olor y sabor agua potable Concón octubre 2013	2013	190	\$ 92.960.160	
SISS	Incumplimiento PR-014-001 calidad agua potable Quillota y Concón primer trimestre 2015	2015	164	\$ 88.471.440	\$ 180.179.640
SISS	Olor y sabor agua potable Concón segundo semestre 2014	2015	75	\$ 40.459.500	
SISS	Incumplimiento PR-014-001 Puchuncaví, Curauma, La Laguna, La Calera, Quillota, San Pedro y Concón año 2014	2015	95	\$ 51.248.700	
SISS	Olor y sabor agua potable Concón primer semestre 2016	2016	95	\$ 52.648.620	\$ 364.107.772
SISS	Olor y sabor agua potable Concón segundo semestre 2016	2016	85	\$ 47.107.660	
SISS	Deficiencia en la calidad de agua potable diversas localidades	2016	80	\$ 44.335.680	
SISS	Deficiencia en la calidad de agua potable en los sectores de Viña del Mar y Valparaíso	2016	105	\$ 58.190.580	
SISS	Deficiencia en la calidad de agua potable Concón	2016	112	\$ 62.069.952	
SISS	Incumplimiento PR-014-001 calidad agua primer semestre año 2016	2016	87	\$ 48.215.052	
SISS	Olor y sabor agua potable Quillota, Viña del mar, Valparaíso	2016	93	\$ 51.540.228	
<b>Total</b>					<b>\$ 1.042.262.956</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.1.4 Costo adicional

Los procesos convencionales de tratamiento de agua (pretratamiento, coagulación y floculación, decantación, filtración, cloración y fluoración) no son capaces de remover eficientemente la Geosmina, por lo que Esva como medida correctiva, utiliza carbón activado para abatir el problema de olor y sabor del agua cruda pretratada. Este procedimiento se lleva a cabo en la etapa de tratamiento, específicamente en el subproceso de coagulación y floculación, una vez desarenada el agua.

El encargado electromecánico dosifica el carbón activado en la sala de dosificación donde se dispone de un tornillo sinfín que se ajusta mediante un variador de frecuencia. Dicha administración de carbón se ajusta según los parámetros entregados por el laboratorio, resultado de una muestra de olor realizada cada dos horas. Es decir, el laboratorio informa cuando se debe agregar carbón activado, pero no establece la cantidad necesaria para eliminar el olor y sabor. Por lo tanto se debe agregar carbón activado hasta que el laboratorio informe que la muestra de agua es inodora e insípida.

Se deben comprar grandes cantidades de carbón activado para lograr controlar el parámetro organoléptico, lo cual provoca un considerable costo a la empresa (Tabla 9).

*Tabla 9: Costo en carbón activado*

	2013	2014	2015	2016
<b>Cantidad de carbón activado (kg)</b>	301.628	657.641	205.759	165.855
<b>Costo en carbón activado</b>	\$ 305.699.978	\$ 678.356.692	\$ 228.495.370	\$ 196.471.833

*Fuente: Elaboración propia*

Esva actualmente no cuenta con un equipo que detecte y controle la Geosmina, sólo la reconoce en las muestras de agua por su caracterización de olor y sabor a tierra. Por esta razón se propone transformar el control cualitativo de la Geosmina a uno cuantitativo y de esta manera poder detectarla y controlarla de manera oportuna.

## **2.2 Objetivos**

### **2.2.1 Objetivo General**

Diseñar un subproceso de control de Geosmina para el sistema productivo de agua potable de la planta Concón del zonal Valparaíso.

### **2.2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar los indicadores que están relacionados con la calidad en la producción de agua potable, determinando las causas de sus desviaciones.
- Realizar un levantamiento de procesos para determinar la situación actual de la producción de agua potable.
- Identificar y desarrollar una metodología que permita detectar y controlar la Geosmina del sistema productivo de agua potable.
- Generar una propuesta para controlar la dosificación de carbón activado.
- Crear indicador de desempeño para realizar seguimiento de la Geosmina.
- Evaluar económicamente la propuesta.

### **2.3 Metodología Propuesta**

En esta etapa se explica la metodología propuesta para la realización de este trabajo de título, especificando el procedimiento a ocupar junto con las herramientas necesarias.

En un inicio, se desarrolla una metodología investigativa y descriptiva, la cual consta de consulta de material bibliográfico de identidades gubernamentales (SISS), información proveniente de Esva y bibliografía especializada, para el cumplimiento de los objetivos propuestos. Posteriormente se determina la situación actual de la empresa, mediante el levantamiento de proceso de “producción de agua potable”, con el fin de identificar dónde se sitúa el problema, los actores responsables y ejecutores, el objetivo y alcance del proceso. Se utiliza la herramienta de modelamiento de procesos “ARIS” (Architecture of Integrated Information Systems), para crear los diagramas BPMN, que permiten gestionar y analizar de manera integrada los procesos de negocios, logrando la mejora continua del funcionamiento de las actividades empresariales, así como la descripción y documentación.

Lo siguiente, es definir la causa raíz que genera el problema de sabor y olor en el agua potable, con la finalidad de determinar en qué aspecto enfocarse para encontrar una posible solución, mediante el Árbol de la realidad actual, herramienta que permite describir el problema de forma jerarquizada, visualizando la relación entre las causas y efectos

Una vez identificadas las causas del problema, se propone crear un control de Geosmina para el sistema productivo de agua potable de la planta Concón del zonal Valparaíso, planteando métodos para cuantificar la Geosmina y a su vez determinar la dosificación de carbón activado, solucionando el problema de calidad del agua potable y con esto las multas producidas por los incumplimientos. Con el control ya confeccionado, se plantea un indicador de desempeño que permita efectuar un seguimiento de la Geosmina en el proceso de captación y tratamiento, y se evalúa económicamente la propuesta.

Finalmente se desarrollan las conclusiones y recomendaciones sobre la solución propuesta a la compañía.

### **Capítulo 3: Marco teórico**

Para la realización de este trabajo de título es necesario definir algunos conceptos teóricos relacionados con la calidad en el sistema de producción de agua potable.

### **3.1 Calidad**

La definición de calidad es un término relativamente subjetivo debido a que depende del enfoque que se tenga. Es sumamente difícil definir calidad de un producto o servicio en términos de una simple característica o agente.

Según Reyes Benítez (2010), la calidad puede definirse como el conjunto de características que posee un producto o servicio obtenidos en un sistema productivo, así como su capacidad de satisfacción de los requerimientos del usuario. La calidad supone que el producto o servicio debe cumplir con las funciones y especificaciones para los que ha sido diseñado y que deberán ajustarse a las expresadas por los consumidores o clientes del mismo. La competitividad exigirá que todo ello se logre con rapidez y al mínimo costo.

Calidad es la orientación hacia el cliente, consiguientemente la calidad se observa cuando el producto satisface las características que le permiten desempeñar la función para lo cual fue adquirido por el cliente. De acuerdo a esto la empresa deberá centrar su atención en las expectativas de los clientes para intentar satisfacerlas o superarlas con su producto. Esta definición de calidad se enfoca hacia los agentes externos de la organización, y por tanto es especialmente sensible a los cambios del mercado. (CAMISÓN, 2007)

Al aplicar el concepto de calidad a los servicios sanitarios, el que mejor se acerca es el de calidad como conformidad de las especificaciones, pues las normativas asociadas, imponen requisitos que debe cumplir la empresa, esta definición debe ser complementada con la satisfacción de las expectativas del cliente, por lo cual la calidad viene dada por el cumplimiento de las especificaciones técnicas impuestas por las autoridades sanitarias y el cumplimiento de la satisfacción del cliente.

### **3.2 Agua**

Es el compuesto más abundante y más ampliamente distribuido en la naturaleza; cubre las 3/4 partes de la superficie de la tierra. Se encuentra en forma: Sólida, Líquida y Gaseosa. El 70% del cuerpo humano es agua y constituye el 83% de la sangre. Ayuda a digerir los alimentos ingeridos, transporta los residuos dentro del organismo, mantiene la temperatura corporal y ayuda a lubricar las articulaciones.

Sin la presencia de agua en los organismos vivos es imposible que se verifiquen muchas reacciones indispensables para la vida.

Históricamente, el agua ha tenido gran influencia en el desarrollo de las ciudades, del transporte, la agricultura, la industria, para la limpieza y como solvente para muchos reactivos y también es empleada como materia prima. El uso de agua es muy amplio, pues en la vida diaria es indispensable como bebida, para preparar los alimentos, en la limpieza y en una infinidad de actividades productivas.

### 3.2.1 Agua cruda

Agua que no ha recibido tratamiento alguno, como el agua de los ríos, de una quebrada, de un manantial, o de un acueducto donde no se ha realizado ningún procedimiento de potabilización.

### 3.2.2 Agua tratada

Agua sometida a un tratamiento después de ser captada. Es el agua que recibe tratamiento en una planta, alterando el estado físico - químico y bacteriológico mediante la adición de coagulantes y/o desinfectantes para eliminar las impurezas y las bacterias que contiene.

### 3.2.3 Agua potable

Se considera agua potable, aquella que cumple con los requisitos físicos, químicos, radiactivos y bacteriológicos prescritos en la NCh 409/1, que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano.

#### 3.2.3.1 Requisitos Físicos

El agua potable debe cumplir con los requisitos físicos indicados en la Tabla 1, los cuales se deben determinar según la NCh412.

*Tabla 10: Requisitos Físicos*

REQUISITO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO
Turbiedad	Unidades nefelométricas (formazina)	5
Color verdadero	Unidades de escala platino-cobalto	20
Olor	—	inodora
Sabor	—	insípida

*Fuente: Norma Chilena 409/1*

### 3.2.3.2 Requisitos Químicos

El agua potable no debe contener elemento o sustancias químicas en concentraciones totales mayores que las indicadas en la Tabla 11.

Tabla 11: Requisitos Químicos

SUBSTANCIA	EXPRESADO COMO	LIMITE MAXIMO
Amoniaco	N	0,25
Arsénico	As	0,05
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN <sup>-</sup>	0,20
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250*)
Cobre	Cu	1,0*)
Compuestos fenólicos	Fenol	0,002
Cromo hexavalente	Cr	0,05
Detergente	SAAM	0,50
Flúor	F <sup>-</sup>	1,5
Hierro	Fe	0,3*)
Magnesio	Mg	125
Manganeso	Mn	0,10*)
Mercurio	Hg	0,001
Nitratos	N	10*)
Nitritos	N	1,0
Plomo	Pb	0,05
Residuos sólidos filtrables	-	1 000*)
Selenio	Se	0,01
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	250*)
Zinc	Zn	5,0*)

Fuente: Norma Chilena 409/1

### 3.2.3.3 Requisitos Radiactivos

El agua potable no debe contener sustancias en concentraciones mayores que las indicadas en la Tabla 12.

Tabla 12: Requisitos Radiactivos

ELEMENTOS RADIATIVOS	LIMITE MAXIMO, pCi/l*)
Estroncio 90	10,00
Radium 226	3,00
Actividad Beta total (excluyendo Sr-90, Ra-226 y otros emisores alfa)	1 000
Actividad Beta total (incluyendo Sr-90, corregida para el K-40 y otros radioemisores naturales)	50,00
Actividad Alfa total (incluyendo Ra-226 y otros emisores alfa)	15,00

Fuente: Norma Chilena 409/1

#### 3.2.3.4 Requisitos Bacteriológicos

El agua potable debe estar exenta de microorganismo de origen fecal, cuya presencia se establece en base a la determinación de gérmenes del grupo coliforme. Sin embargo, cuando se trate de agua distribuida por redes, se considera como potable desde el punto de vista bacteriológico, a aquella que cumpla simultáneamente con las condiciones que se indican a continuación.

- **De todas las muestras que se analicen mensualmente en un servicio de agua potable, puede indicar la presencia de gérmenes del grupo coliforme:**
  - a) El 10% de las muestras, cuando se haya analizado 10 o más muestras en el mes.
  - b) Una muestra, cuando se haya analizado menos de 10 muestras en el mes.
- De todas las muestras que se analicen mensualmente en un servicio de agua potable, puede indicar la presencia de gérmenes del grupo coliforme en una concentración igual o superior a 5 gérmenes por 100 ml:
  - a) El 5% de las muestras, cuando se haya analizado 20 o más muestras en el mes.

- b) Una muestra, cuando se haya analizado menos de 20 muestras en el mes.

En los puntos correspondientes a muestras que hayan evidenciado la presencia de gérmenes del grupo coliforme, se deben realizar pruebas diarias hasta que, por lo menos en 2 muestras consecutivas, no se detecte la presencia de dichos gérmenes. Estas muestras de repetición se hacen sin perjuicio del programa de muestreo rutinario establecido en la norma NCh409/2 y se incluyen en la evaluación mensual que deben realizar los servicios de agua potable según los puntos mencionados anteriormente.

La determinación de gérmenes del grupo coliforme se debe efectuar por la técnica de tubos múltiples o por la técnica de filtración por membrana, de acuerdo a lo establecido en NCh1620/1 o NCh1620/2; respectivamente.

### **3.3 Parámetros organolépticos**

Características físicas del agua que se pueden percibir mediante los sentidos. Estos parámetros afectan al gusto, olor, aspecto y tacto, distinguiéndose: temperatura, sabor, olor, color y turbidez.

### **3.4 Origen del olor de agua potable**

Las algas y las bacterias son las principales causas de problemas con el olor y el sabor del agua potable. Sin embargo, los vertidos químicos y de aguas residuales también generan productos químicos que pueden alterar el olor y el sabor, tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas.

#### **3.4.1 Tipos de problemas de olor y sabor**

Hay cuatro sabores básicos: ácido, dulce, salado y amargo. El agua también puede oler a tierra, moho, productos químicos o cloro. La

Tabla 13 muestra diversos tipos de olor y sabor y sus posibles causas.

Tabla 13: Olor, sabor y sus causas

Olor y sabor	Causa
Tierra	Geosmina
Moho	MIB, isopropilmetoxipirozina (IPMP), isobutilmetoxipirazina (IBMP)
Aguarrás, aceite	Éter metil terbutílico (MTBE)
Pescado / rancio	2,4-heptadienal, decadienal, octanal
Cloro	Cloro
Medicinas	Clorofenoles, yodoformo
Aceite, gas, pintura	Hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles (COV)
Metálico	Hierro, cobre, zinc, manganeso
Hierba	Algas verdes

Fuente: Trojan UV FactSheet / Tratamiento de contaminantes medioambientales

### 3.4.2 Causa de los problemas de olor y sabor

Las células de algunas algas y bacterias generan de forma natural productos químicos con olor, como la Geosmina (trans-1, 10-dimetiltrans - 9-decalol). Muchas personas detectan el olor a tierra de la Geosmina en concentraciones de 10 partes por trillón. Cuando se producen brotes de algas y bacterias en un acuífero, las concentraciones de los compuestos que alteran el olor y sabor aumentan hasta niveles por encima de este umbral y pueden generar problemas.

#### 3.4.2.1 Cianobacterias (algas verdeazuladas)

Las cianobacterias se conocen también como “algas azules”, “algas verdeazuladas” o “cianofitas”. Los biólogos no las consideran algas (plantas pluricelulares) sino bacterias, aunque el nombre de “algas verdeazuladas” se mantuvo hasta la llegada de los potentes microscopios. Se trata de bacterias fotosintéticas que, además de verdeazuladas, también pueden ser rojas, marrones o amarillas. Se encuentran con frecuencia en aguas eutróficas (aguas con altos niveles de nutrientes) y embalses poco profundos, y aparecen como espuma superficial, depósitos bénticos (en el fondo) y en plantas acuáticas. En los años 60 y 70 se descubrió que las cianobacterias generan Geosmina como subproductos

intracelulares. Cuando se producen floraciones, las bacterias mueren y liberan productos químicos con olor.

#### **3.4.2.2 Actinomicetos**

Los actinomicetos son bacterias que producen esporas y crecen en el agua como filamentos. Son similares a las cianobacterias y tienen células simples. También pueden vivir en tierra. De hecho, la variedad que genera Geosmina en tierra es la que causa el típico olor "a tierra." Otras especies producen antibióticos. Los actinomicetos acuáticos crecen en limo aeróbico, en plantas en descomposición y en los excrementos de mejillón cebra. Las bacterias ayudan a degradar la celulosa y otras partes de plantas, por lo que proliferan con los brotes de algas (Hoehn, 2002). Al igual que las cianobacterias, los actinomicetos generan Geosmina.

#### **3.4.2.3 Otras algas y causas naturales**

Los brotes de algas verdes en embalses causan un olor a hierba o pescado. Las algas marrones, sobre todo la *Synura*, producen olor a pepino, melón o pescado. La actividad biológica en aguas superficiales genera 2,4-heptadienal y decadienal, que huelen a pescado rancio. Además, metales como zinc, manganeso o cobre causan un sabor metálico al disolverse.

#### **3.4.2.4 Productos químicos artificiales**

Los productos químicos artificiales también pueden alterar el olor y sabor del agua. El éter metil terbutílico (MTBE), un aditivo de la gasolina presente en aguas subterráneas y superficiales de uso recreativo, tiene un umbral de olor de sólo 5 partes por billón y disuelto en agua huele como el aguarrás. Los fenoles industriales pueden causar problemas de olor. Los hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles, como combustibles y disolventes, generan olores a aceite, pintura y medicinas.

#### **3.4.2.5 Tipos de brotes de bacterias**

En un acuífero superficial se produce un brote cuando las condiciones de luz, temperatura y nutrientes son más favorables a un tipo de bacteria que a otros y permiten que un organismo pase a ser dominante, en un desequilibrio ecológico a menudo debido a la

contaminación. Las plantas de tratamiento y los vertidos procedentes de actividades agrícolas o ganaderas liberan nitratos, fósforo orgánico y amoníaco en los acuíferos. Las condiciones que favorecen los brotes son estacionales: en verano y en otoño son favorables para bacterias que generan Geosmina con olor a tierra. En general, los brotes son más frecuentes en septiembre.

### **3.4.3 Medida y control de la calidad de olor y sabor**

Existen muchos métodos para medir la calidad del olor y sabor, pero muy pocas normativas. El sistema de medida más habitual es el umbral de olor (TON), que se basa en la persistencia de un olor después de la dilución. Otros métodos son el análisis de perfil de gusto y la medida analítica de concentraciones químicas. Hay pocos límites legales. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA) ha marcado un límite secundario de concentración máxima (MCL) que limita TON a 3. Los valores de MCL para hierro, manganeso, cobre y zinc oscilan entre 0,5 y 5 partes por millón. No obstante, el consumidor es el principal regulador del olor y el sabor.

### **3.4.4 Toxinas de las algas**

Además de generar productos químicos que alteran la calidad estética del agua, algunas especies de cianobacterias producen toxinas (cianotoxinas) que pueden ser nocivas para animales y humanos. Un brote puede incluir tanto cianobacterias tóxicas como inocuas, y ambos tipos son idénticos cuando se observan al microscopio. Existen muchas clases de cianotoxinas, como microcistina, cilindrospermopsina o anatoxina-a. Las cianotoxinas pueden estar presentes en cualquier brote, lo que ha llevado a diversos órganos reguladores a publicar directrices. Investigaciones realizadas en los Estados Unidos y Canadá han demostrado que un alto porcentaje de agua sin tratar tomada de fuentes con brotes de cianobacterias contiene cianotoxinas, además de otros productos químicos que alteran el olor y sabor (Carmichael, 2001). En los Estados Unidos, la USEPA ha incluido cianobacterias y sus toxinas en la Lista de Posibles Contaminantes. También Nueva Zelanda, Alemania y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido niveles de microcistina de 1,0 ppb, mientras que Canadá ha marcado un límite de 1,5 ppb.

### **3.5 Carbón activado**

El carbón activado es un término general que denomina a toda una gama de productos derivados de materiales carbonosos. Es un material sólido que tiene un área superficial excepcionalmente alta y posee dos propiedades que lo han hecho muy útil en el tratamiento de aguas. La primera consiste en que atrapa todo tipo de contaminantes orgánicos en sus paredes, con una avidez tal que puede dejar un agua prácticamente libre de estos compuestos. La segunda, es que destruye el cloro libre residual que no ha reaccionado después de que dicho compuesto haya realizado una acción desinfectante.

### **3.6 Proceso**

Según Thomas H. Davenport (1993), es una secuencia específica de actividades de trabajo, ordenada en el tiempo y en el espacio, con un comienzo y un término que toma una entrada a la que le adiciona valor produciendo salidas claramente definidas. Así mismo la ISO 9000 (2015) lo define como “conjunto de actividades que están interrelacionadas o que interactúan entre ellas”. Están interconectadas porque la salida de un proceso es la entrada del otro. Utilizan recursos para transformar entradas en salidas. Una salida puede ser casi cualquier cosa, lo mismo que las entradas.

En un proceso de trabajo se incorpora valor a las entradas transformándolos con la finalidad de producir algo nuevo, se puede considerar como entradas a los materiales, equipamiento, información, recursos humanos, monetarios o condiciones medio ambientales necesarios para llevar a cabo un proceso, la salida es el producto creado en el desarrollo del proceso.

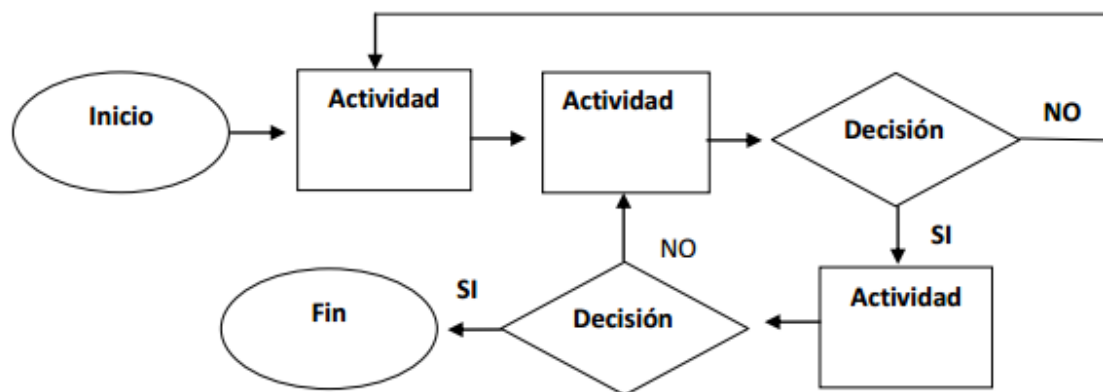
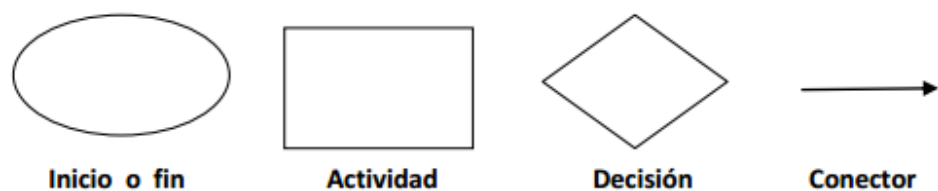
### **3.7 Levantamiento de procesos**

El levantamiento y descripción de los procesos es una forma de representar la realidad de la manera más exacta posible, a partir de la identificación de las diferentes actividades y tareas que se realizan en un proceso para lograr un determinado resultado o producto. Éste constituye un elemento clave del trabajo en calidad. A partir de aquí podemos ver lo que hacemos y cómo lo hacemos, utilizando y aplicando sobre esta información el análisis, los cambios y rediseños orientados a mejorar los resultados.

### 3.8 Diagramas de flujo

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de la sucesión de operaciones que componen un sistema. Cada paso del proceso es representado por un símbolo que contiene una breve descripción de la etapa de proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están interrelacionados con flechas que indican la dirección de flujo del proceso, para conducir a un resultado específico.

Figura 7: Simbología de un diagrama de flujo



Fuente: Universidad Nacional Abierta y a Distancia Colombia, 2016

## **Capítulo 4: Análisis de la situación actual**

## **4.1 Descripción de la planta Concón**

Actualmente la planta de Concón cuenta con 3 plantas. La planta N°1, construida en el año 1917 con una capacidad de tratamiento de agua superficial de 700 l/s. La planta N°2 está en funcionamiento desde el año 1994, para suplir el déficit de demanda que se produce principalmente en los periodos de verano, teniendo una capacidad de tratamiento de agua superficial de 500 l/s. La planta N°3, fue construida en el año 2012, con una capacidad de tratamiento de agua subterránea de 250 l/s.

## **4.2 Levantamiento de procesos**

El levantamiento de procesos es fundamental para tener una visión global de la planta, permitiendo comprender su funcionamiento y a la vez proporcionando una visión detallada de las actividades que se ejecutan en cada proceso, facilitando la identificación del problema dentro de la empresa.

### **4.2.1 Captación**

#### **4.2.1.1 Extracción Superficial:**

Ingresa por la bocatoma agua cruda proveniente del río Aconcagua, el encargado electromecánico gestiona el caudal de entrada a partir del registro “Programación de la producción” y las condiciones de calidad del agua cruda superficial. Además determina los momentos en que la rejilla será verificada durante el día. Una vez realizadas estas tareas, un operario externo verifica el estado de la rejilla por medio de una inspección visual. Si la rejilla se encuentra limpia se capta el agua cruda superficial, en caso contrario, el operario externo solicita la limpieza mediante un aviso al jefe de operaciones (de forma verbal), dejando un registro de la solicitud en el libro de planta. Luego el operario externo realiza el trabajo de limpieza de rejillas, eliminando los componentes que dificulten o impidan el ingreso de agua cruda según los parámetros ya definidos. Cada dos horas, el operario externo realiza muestras de agua cruda superficial y opera equipos del laboratorio para determinar los resultados de las muestras extraídas y las analiza, completando las planillas de verificación, parámetros fisicoquímicos y organolépticos, registrándolas en el sistema de gestión documental, para estar disponible para todos los usuarios. Después se informan los parámetros de captación, los cuales son utilizados para la gestión de la planta de producción. Si la rejilla se encuentra en óptimas condiciones se inicia la captación de agua cruda superficial y cada dos horas el encargado electromecánico registra los datos en el libro

de planta. En el caso que el caudal disponible sea inferior al caudal de demanda requerido, el encargado electromecánico activa la recirculación, actividad que consiste en recircular el agua del río, por medio de cañerías ubicadas en el embalse posterior a la boca toma de entrada.

#### **4.2.1.2 Extracción Subterránea**

Una vez que el agua cruda subterránea se encuentra disponible, el Jefe de unidad de producción gestiona la captación subterránea según los parámetros requeridos por el sistema de producción del Gran Valparaíso establecido en el "programa de producción". Con el control de extracción subterránea requerida, el centro de control operacional (CCO) inicia el monitoreo del sistema de captación subterránea, específicamente en los sondajes por medio de SCADA. Si la operación de sondaje es solicitada, el CCO habilita o deshabilita la operación de los sondajes, informando los cambios en sondaje al encargado de planta. En paralelo, el encargado electromecánico verifica los monitores de extracción subterránea, revisando el nivel estático y dinámico del pozo, altura de la napa del agua, caudal instantáneo, en forma manual y automática por medio de un computador, registrando los resultados en los registros "fuente SPAP Concón" y "mediciones de pozos y canales". Luego se evalúan las condiciones de captación, para captar el agua cruda subterránea de los sondajes mediante la utilización de bombas. El encargado electromecánico es el que controla la correcta operación de los pozos. Si se identifica un cambio de oferta o demanda, solicita la operación de sondajes, con el propósito de regular la operación. En el caso que detecte un problema en los pozos de extracción, llama al CCO para informar del problema detectado y además debe avisar al jefe de producción. Si el problema lo puede solucionar el CCO, este realiza el reajuste de los sondajes e informa que el problema ha sido resuelto. En el caso de que no pueda resolverlo, el problema lo verifica el encargado electromecánico con el propósito de determinar la causa de la falla y la gravedad que será calificada como mayor o no. En el caso de que no sea mayor, éste deberá generar las soluciones pertinentes. Si el problema es mayor debe llamar a mantenimiento informando sobre la falla, para que se encargue de la solución. Paralelo a todo esto, un operador externo cada dos horas realiza muestras de agua cruda, opera los equipos de laboratorio y analiza las muestras según el instructivo "operar equipos de laboratorio", registrando los resultados en la planilla de control e informa los parámetros de captación que son utilizados para la gestión de la planta de producción.

### **4.2.1.3 Compra de agua**

Cuando existe la necesidad de agua cruda, el jefe de unidad de producción realiza una inspección de los pozos para conocer las condiciones en que se encuentra, con el fin de incorporar variables al modelo de compra de agua cruda, además incorpora las variables de condiciones de agua cruda como sondajes Concón, nivel de demanda, medición canal, fuentes SPAP Concón y condiciones meteorológicas disponibles. El jefe de la unidad de producción verifica la necesidad de compra de agua cruda por medio de los informes de demanda generado por el centro operacional (CCO) y verifica que el caudal efectivamente no logra cubrir la demanda solicitada con el fin de validar que la demanda sea mayor a la oferta. En el caso de que efectivamente la demanda sea mayor a la oferta, el jefe de unidad de producción pide mediante correo electrónico al jefe de departamento de producción la solicitud de agua cruda, el cual reevalúa la decisión de compra de agua revisando los datos. Si no se acepta la compra de agua cruda se vuelve a verificar el caudal y el informe de demanda para enviar la solicitud de compra. En el caso que se acepte la compra de agua cruda, el jefe de departamento de producción envía una solicitud de compra de agua cruda por medio de un correo electrónico al director de la DOH. Si el director de la DOH no acepta la venta de agua cruda se reevalúa la compra de agua cruda. Una vez aceptada la venta de agua cruda por el director de la DOH, éste le informa al jefe de unidad de recursos hídricos quien a su vez informa la compra generada a la subgerencia de abastecimiento por SAP, para que genere la GES que inicia el proceso de pago. Luego un operario abre la llave de paso del embalse y el agua se encuentra disponible para su utilización, siendo monitoreada por el jefe de departamento de producción para asegurar que el agua entregada sea la correcta según la orden de compra.

## **4.2.2 Tratamiento**

### **4.2.2.1 Pretratamiento**

Una vez que el agua cruda superficial haya sido extraída, el encargado electromecánico añade gas cloro al agua cruda captada, según los parámetros informados (hierro y manganeso) y el control del agua a la salida de los filtros y con estos datos se ajusta eventualmente la dosificación, disponiendo de un equipo de pre-cloración por cada planta, con la finalidad de abatir elementos metálicos que presenta en forma natural la fuente. Esto se registra en la planilla “Controladores de cloradores”.

La empresa externa se encarga de verificar el abatimiento de manganeso, realizando mediciones en terreno doce veces al día con un equipo espectro fotómetro, con el fin de evaluar la cantidad de manganeso que está presente en el agua cruda, lo que permite estimar la cantidad de oxidante, permanganato de potasio o bien gas cloro o hipoclorito de sodio a aplicar. También, se encarga de verificar la turbiedad del agua, para ello toma una muestra del agua cruda que ingresa al sistema de tratamiento y se realizan las mediciones con un turbidímetro de terreno. Luego de haber verificado el abatimiento del manganeso, si el manganeso no logra ser abatido el encargado electromecánico ajusta el rotámetro para mejorar la dosificación, en caso de ser posible modifica el caudal manipulando las válvulas y ajustando los diámetros, obteniendo como resultado agua cruda pretratada.

#### **4.2.2.2 Coagulación y Floculación**

El encargado electromecánico verifica el stock de productos químicos en la bodega de la planta mediante una inspección visual, si el stock de productos químicos es bajo, el jefe de unidad de producción Concón, con ciertos días de anticipación, realiza la solicitud de químicos por SAP al área de abastecimiento, registrando en la planilla “Detalle de químicos Concón”, el consumo diario de los productos químicos según las dimensiones especificadas en la planilla. Además, carga los químicos en tolva, tacho o estanque de preparación en forma manual y realiza el proceso de agitación de la mezcla a preparar, efectuando los ajustes necesarios al equipo dosificador. En el caso que haya una anomalía en el equipo de operación de productos químicos, avisa al jefe de unidad de producción Concón vía teléfono o presencial, el cual levanta el problema y encuentra la solución utilizando los recursos que se encuentren disponibles. Con los equipos de dosificación en aptas condiciones, el encargado electromecánico, realiza la mezcla de sulfato de aluminio granular con polielectrolito catiónico para clarificar el agua, dosificando este producto mediante bombas de émbolo, esta operación de dosificación de productos químicos se registra en el “Libro de planta SPAP Concón”.

Paralelamente se encarga de la mantención de limpieza en las salas, sectores, bodegas y equipos de dosificación de la planta y realiza reordenamiento, acomodo de las patas o pallets donde se disponen los productos químicos para facilitar su contabilización durante los inventarios.

Una vez realizado lo anterior determina la utilización de las plantas de tratamiento dependiendo de las condiciones de la planta y de la oferta o demanda informada, utilizando

documentos o registros de parámetros organolépticos, fisicoquímicos, programación de la producción y la planilla de verificación diaria. Una vez que la mezcla de productos químicos y la planta N°1 estén disponibles, el encargado electromecánico realiza la carga de carbón activado de forma manual en el equipo dosificador cuando lo estime conveniente y aplica la mezcla madre (coagulante). En el caso de la planta n°2, el encargado electromecánico inspecciona visualmente que el agua pre-clorada ingrese a la cámara de repartición, la cual tiene como función repartir el agua a los seis distintos desarenadores, que permiten retener las partículas de cierto tamaño. Luego realiza la carga de carbón activado de forma manual en el equipo dosificador, cuando lo considere necesario, dosificando el carbón activado según los parámetros entregados por el laboratorio. Además, dosifica la mezcla madre en la canaleta Parshall, justo en el punto donde se produce la mayor turbulencia, en este caso sulfato de aluminio en solución. Una vez que el agua con productos químicos haya sido dosificada, gestiona el uso de los floculadores y sus futuras mantenciones. Con los floculadores de la planta N°1 disponibles, el encargado electromecánico opera los agitadores que consiguen la floculación mecánica con agitación forzada que mejoran el proceso, generando agua cruda floculada. En el caso de la planta n°2, los floculadores permiten formar el floculo mediante una mezcla lenta.

#### **4.2.2.3 Decantación**

Luego de que el agua haya sido floculada, y la planta N°1 y 2 se encuentren disponibles, el encargado electromecánico, inspecciona visualmente la operación de los decantadores y evalúa el tamaño del flog. Los decantadores de la planta N°1 son de baja tasa de decantación, esto hace que las partículas tomen peso y se vayan al fondo a través de un proceso físico. En el caso de la planta N°2 los decantadores son de alta tasa de decantación, es decir poseen un menor espacio por ende el tiempo de decantación es mayor.

La empresa externa se encarga de la toma de muestra del agua decantada, de operar los equipos de laboratorio para determinar los parámetros de la calidad del agua decantada, de analizar la toma de muestra de agua decantada y de registrar los resultados en las planillas de parámetros organolépticos, de parámetros fisicoquímicos, de verificación y en el sitio de gestión documental, informando al jefe de planta o al jefe de unidad de producción.

#### **4.2.2.4 Filtración**

Cuando el agua subterránea pre-tratada captada y/o el agua decantada se encuentren disponibles, el encargado electromecánico verifica, define y ve las condiciones en que se encuentran los filtros, tomando la decisión de utilizar, lavar o distribuir el agua en los distintos filtros que posee la planta. En el caso que se requiera lavar filtros ya sea de la planta N° 1, 2 y/o 3, ejecuta el lavado de filtros según el "instructivo I-OPE-0026". Con los filtros disponibles, ajusta los filtros a ocupar abriendo o cerrando las válvulas de este y los pone en operación, según los documentos de parámetros organolépticos, fisicoquímicos y planilla de verificación. Una vez que los filtros de la planta N°1 estén disponibles, el encargado electromecánico define que filtros operar y maniobra las válvulas, en este caso utiliza los filtros de lecho único los cuales son del tipo mecánicos con agitación forzada. Los filtros de arena filtran el agua, las partículas que no quedan atrapadas en decantación quedan atrapadas en este lecho. En la planta N°2, utiliza los filtros de lecho mixto, estos cuentan con nueve filtros de lecho mixto de carbón y arena, con el objetivo de separar partículas y microorganismos, funcionan con tasa declinante y sistema de auto lavado. En la planta N°3 también se utiliza filtros de lecho mixto, pero cuentan con cinco filtros de lecho mixto de carbón y arena. Luego una empresa externa está a cargo de la toma de muestras de agua filtrada, de su posterior análisis, de operar los equipos de laboratorio para determinar los parámetros de la calidad del agua filtrada y de registrar los resultados en las planillas mencionadas en un principio y en el sitio de gestión documental (SGD), informando al jefe de planta o al jefe de unidad de producción.

#### **4.2.2.5 Cloración**

El encargado electromecánico verifica el cloro libre a la salida del estanque con medidor de cloro libre residual (CLR), si éste se encuentra fuera de rango, corrige la dosificación hasta el rango establecido, registrándolo en el "Cuadro de Control de Parámetros Diarios Concón". Si se encuentra dentro del rango, revisa el stock de cloro en la planta y estima la durabilidad del producto existente de acuerdo al consumo y la cantidad de contenedores de cloro conectados. Si el contenedor de gas cloro se encuentra en un nivel bajo de cloro o vacío, procede a realizar el cambio de contenedor por uno lleno, registrando el cambio de envase en la planilla "stock de envases" y "control de contenedores". Con los contenedores de gas cloro disponibles, procede a dosificarlo operando el rotámetro de gas cloro, registrando los cambios realizados en "Registro de dosificación de cloro". Finalizada la actividad se obtiene como resultado agua clorada.

#### **4.2.2.6 Fluoración**

El encargado electromecánico, verifica el agua a producir, pues la cantidad de flúor a adicionar es proporcional al agua a producir. La verificación se hace por medio del medidor de caudal o por medio de la información otorgada por un operador de telemetría. Luego el agua clorada disponible se almacena en un estanque de mezcla. En paralelo, revisa el stock de flúor en la planta mediante una inspección visual o según el registro de “Detalle de químicos” y estima el siguiente pedido, de acuerdo al consumo y la cantidad de flúor disponible.

Una vez realizado lo anterior, adiciona flúor a través de bombas dosificadoras en el estanque de mezcla, según el agua a conducir, guiándose con la verificación que realizó del medidor de caudal o de la información otorgada por el operador de telemetría, obteniendo como resultado agua potable. Luego una empresa externa se encarga de la toma de muestra de agua potable, de operar los equipos de laboratorio para determinar los parámetros de la calidad del agua potable, de analizar la muestra de agua potable, y de registrar los resultados en las planillas de parámetros organolépticos, fisicoquímicos, planilla de verificación y en el sitio de gestión documental, informando al jefe de planta o al jefe de unidad de producción, para que se verifique y evalúe la correcta dosificación de flúor. En caso que no corresponda con los parámetros exigidos por la norma se corrige la dosificación, en caso contrario no se realizan cambios.

### **4.2.3 Conducción y Elevación**

#### **4.2.3.1 Elevación agua cruda**

Cuando el agua cruda superficial es captada, el encargado electromecánico define el número de bombas de la planta baja a utilizar según la demanda que se genere en el Gran Valparaíso. El Centro de Control Operacional (CCO) informa y regula el número de bombas de baja presión para mantener la sentina de la planta de alta con un nivel sobre 150 cm. La planta de baja corresponde a 3 bombas de 550 l/s y 2 de 250 l/s, estas son del tipo vertical con una configuración en paralelo. En caso que haya un cambio de la oferta o demanda, regula la operación de las bombas de baja presión según indicaciones generadas desde el CCO. Una vez realizado lo anterior opera la Planta elevadora de agua cruda (PEAC), mediante seis grupos de elevación. En paralelo el personal del CCO monitorea en el sistema

de la sala de CCO los niveles de caudal en las pantallas “Sondajes Concón” y “Operador Concón”. Este subproceso termina con la elevación de agua cruda a una cota más alta para su posterior tratamiento.

#### **4.2.3.2 Conducción agua cruda**

El encargado electromecánico toma la decisión según las condiciones del agua cruda subterránea, conducir esta hacia la bocatoma, donde se junta con el agua cruda superficial. Luego toma la decisión de conducirla hacia la planta N°1, 2 y 3 para iniciar su tratamiento. Según las condiciones de las plantas N°1, 2 y 3 y las condiciones del agua cruda, regula el caudal a conducir a las diferentes plantas, mediante el reajuste de válvulas, obteniendo como resultado agua cruda conducida.

#### **4.2.3.3 Conducción agua tratada**

El encargado electromecánico controla que la conducción de agua tratada se realice correctamente entre los diferentes subprocesos del tratamiento de agua potable, al encontrar alguna anomalía, debe informarle al jefe de planta.

#### **4.2.3.4 Elevación agua potable**

El CCO, monitorea constantemente la demanda y niveles de agua de acuerdo del Gran Valparaíso. En el caso que haya un cambio en la demanda, envía una orden de activación o desactivación de bombas elevadoras de agua potable, según la demanda y niveles de aporte de estaciones de producción, registrando la información del cambio de bombas elevadoras por hora en la planilla de control y en el SGD. En el caso que no existan cambios en la demanda, el encargado electromecánico debe asegurar que haya carga eléctrica disponible en la planta para elevar el agua potable y prevenir la discontinuidad del servicio, verificando los niveles eléctricos y también los niveles de petróleo para el uso del grupo generador en caso que existan cortes eléctricos. Además debe asegurar que la infraestructura se encuentre en óptimas condiciones, mediante una inspección de los grupos electrógenos y los equipos relacionados con la elevación de agua potable, como las bombas elevadores de agua potable.

Una vez recibida la información de la desactivación o activación de las bombas elevadoras de agua potable, el encargado electromecánico realiza las maniobras necesarias para ejecutar la orden entregada por el CCO, registrando en la planilla que bombas operaron y por cuánto tiempo.

#### **4.2.3.5 Conducción agua potable**

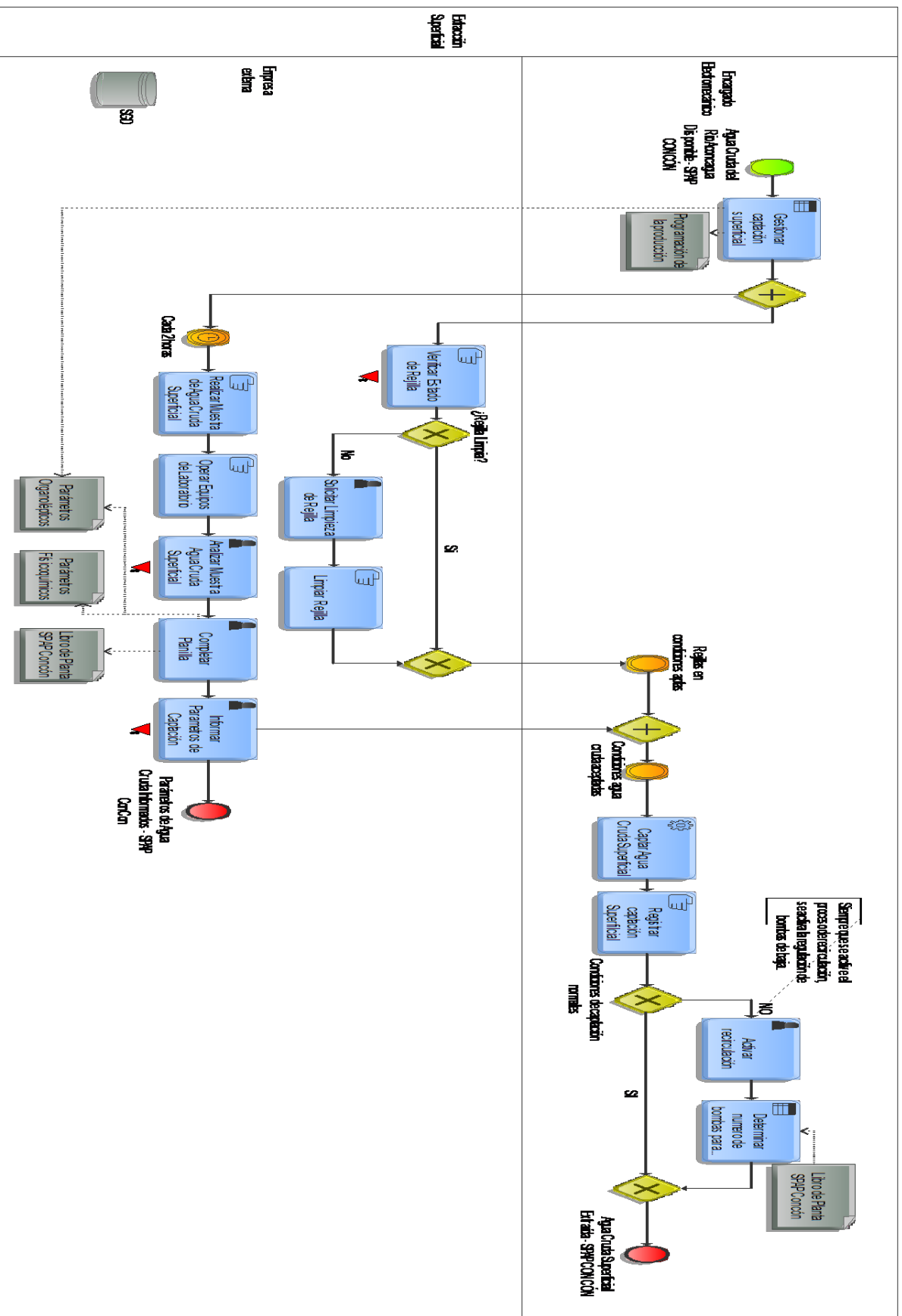
El operador de la CCO debe monitorear centralizadamente en los sistemas de telemetría y en forma local en el resto, el caudal y presión en las líneas de conducción con el objetivo de controlar que la presión en la línea no sobrepase la presión de trabajo establecida y que el caudal conducido sea igual al caudal producido en la Etapa de Captación, detectando posibles fallas, pérdidas o roturas en la conducción. En el caso que exista una anomalía en la conducción de agua potable, el personal de la CCO debe verificarla utilizando sus recursos disponibles en sistemas de telemetría. Si el problema no se puede solucionar con un simple reajuste, el personal de la CCO debe informar al encargado electromecánico, guardia móvil, jefe de planta o persona que se encuentre disponible para inspeccionar en terreno la anomalía de la conducción de agua potable, evaluando si es un problema simple o más bien complejo y de esta manera tomar las medidas pertinentes para cada caso. Si es un problema complejo, el guardia móvil se comunica con la CCO para informar del problema mayor y solicitar una OT, para que el departamento de mantención realice la reparación, quedando registro de esto en el SAP y paralelamente se realiza un plan de acción, según proyecciones de rebase, secado o magnitud del problema. En el caso que la anomalía sea simple, el guardia móvil realiza las maniobras necesarias para solucionar el problema y se comunica con el centro de control operacional para informar de la reparación, a su vez procede a registrarlo en la "planilla de registro de reparaciones". Una vez solucionados los problemas, se realiza el reajuste de las bombas de conducción, si fuese necesario, los cuales se registran por hora en planilla del control y se carga al SGD. Luego se conduce el agua potable por medio de la planta elevadora de alta presión con una configuración en paralelo, a los estanques elevados, según el control de los niveles de estanque entregados por telemetría. El personal de CCO proyecta el almacenamiento y distribución del agua en estanques, obteniendo como resultado agua potable conducida y disponible en los estanques de regulación.

#### **4.2.4 Análisis de levantamiento de procesos**

Al analizar los procesos de la producción de agua potable, se puede distinguir que el problema se sitúa inicialmente en el subproceso de extracción superficial (Figura 8), ya que el agua cruda se extrae directamente del Río Aconcagua, no pudiendo evitar que traiga consigo problemas de sabor y olor a tierra, pues no se puede manipular directamente la fuente de recurso hídrico, al existir la posibilidad de alterar el ecosistema, debiendo abordar el problema una vez que el agua cruda se encuentre en las dependencias de la planta,

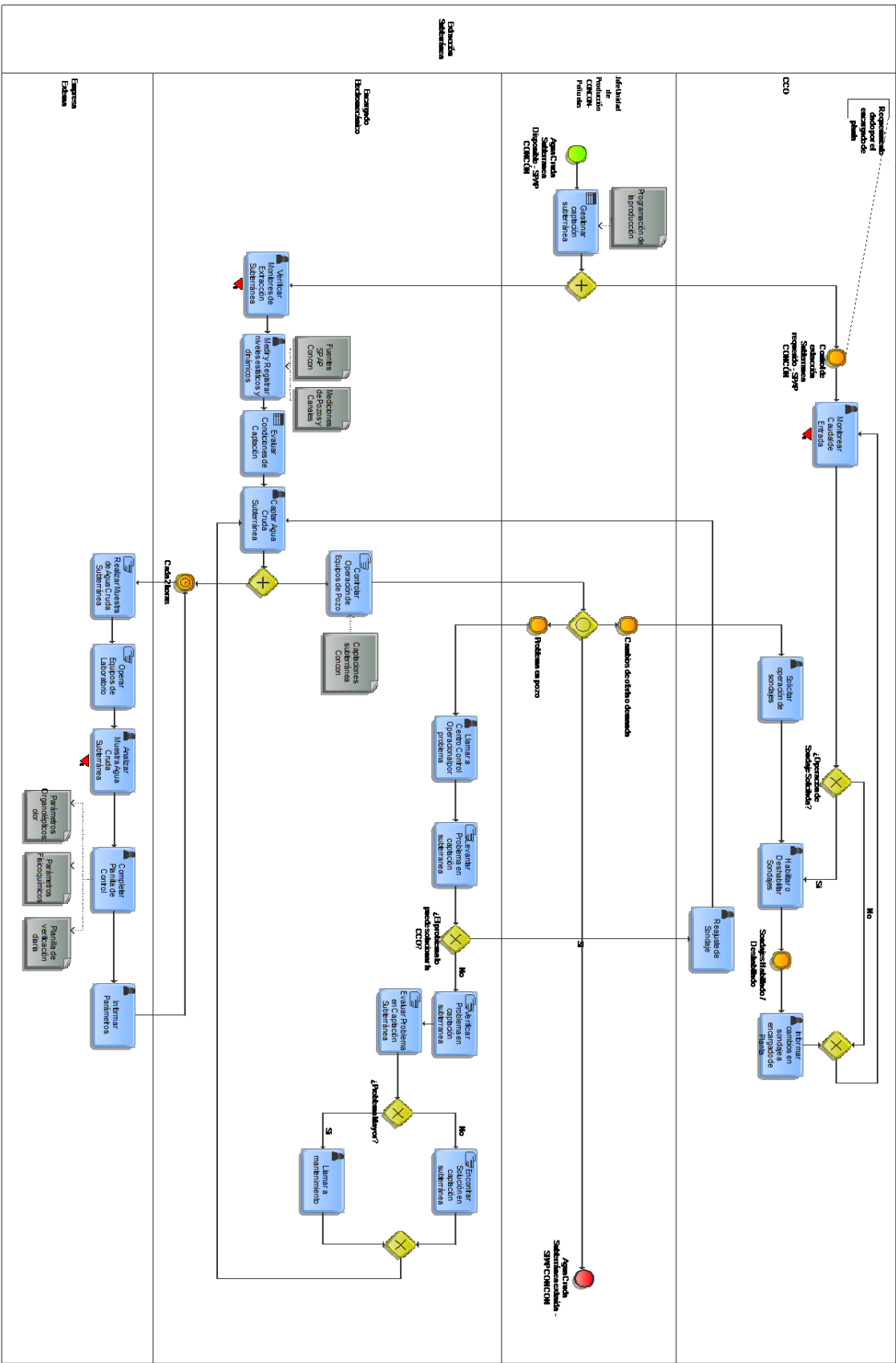
intentando solucionarlo en el proceso de tratamiento, específicamente en la etapa de coagulación y floculación (Figura 12), dosificando carbón activado, sin tener conocimiento alguno de la cantidad que controla efectivamente el problema, agregando carbón activado hasta que el laboratorio informe que la muestra de agua es inodora e insípida. Esto produce que no exista un verdadero control de la problemática, al no saber la cantidad de carbón activado necesaria o si el método utilizado es realmente el apropiado para solucionar el problema de los parámetros organolépticos.

Figura 8 : Extracción Superficial



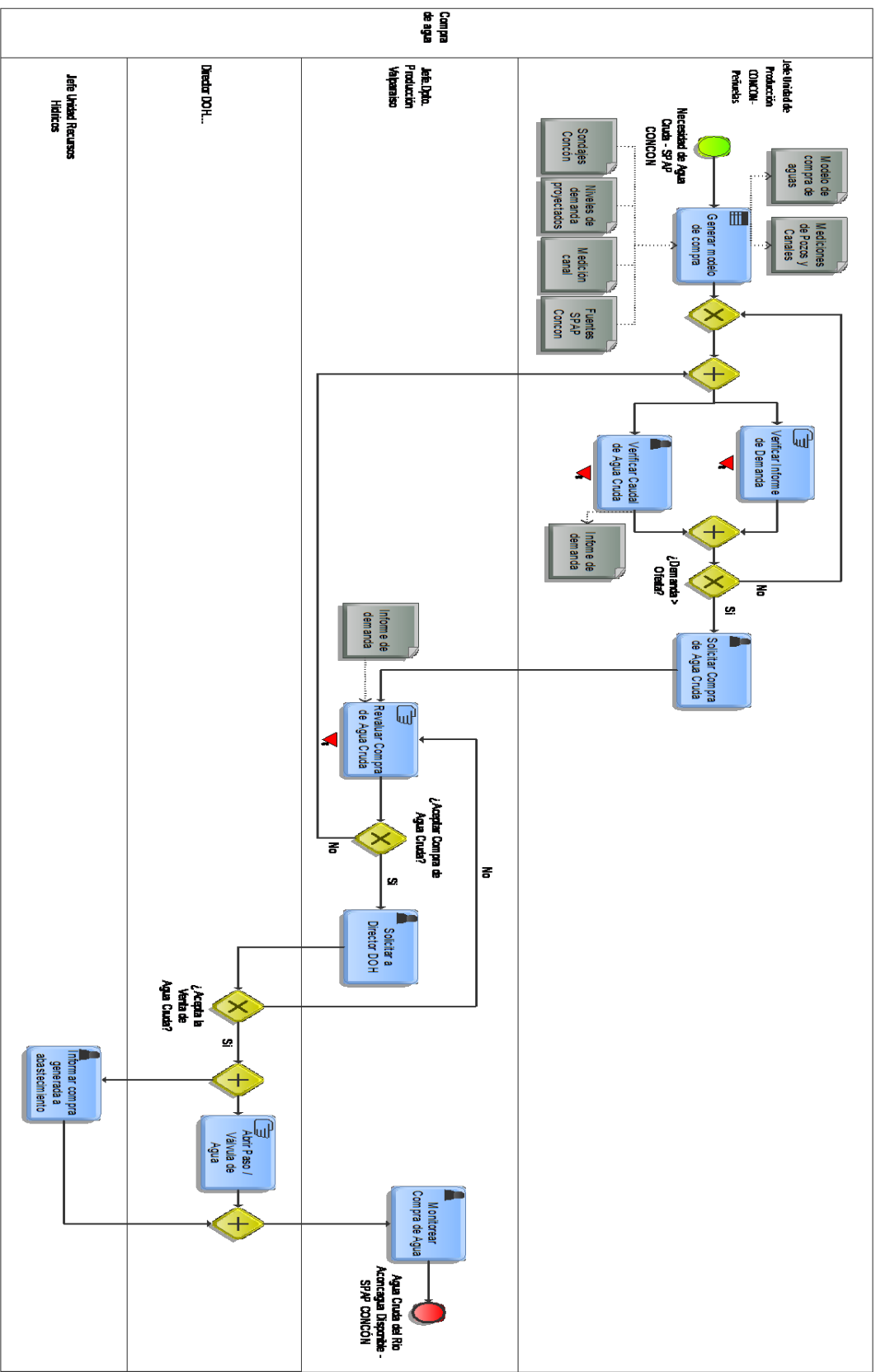
Fuente: Elaboración propia

Figura 9: Extracción Subterránea



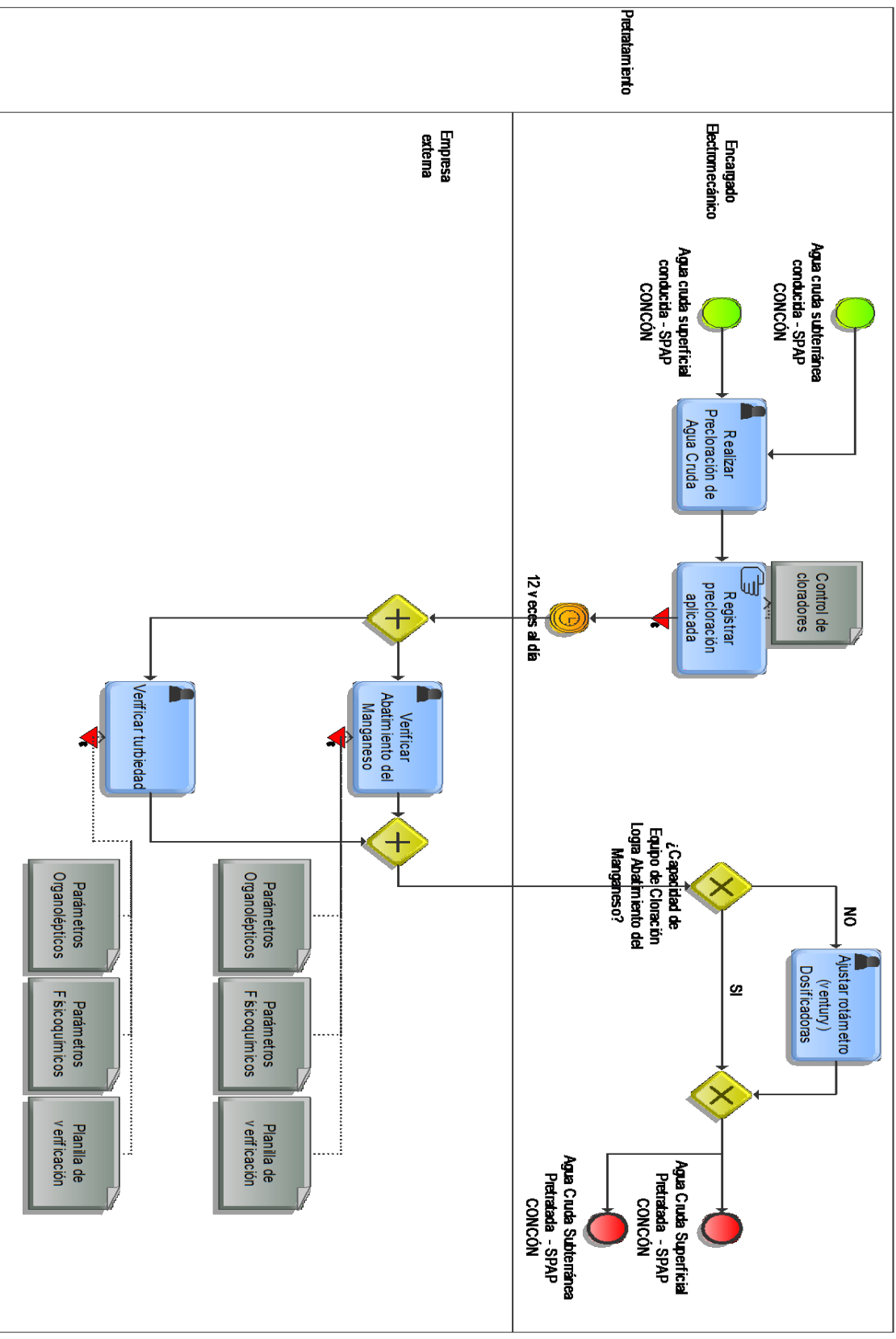
Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Compra de Agua



Fuente: Elaboración propia

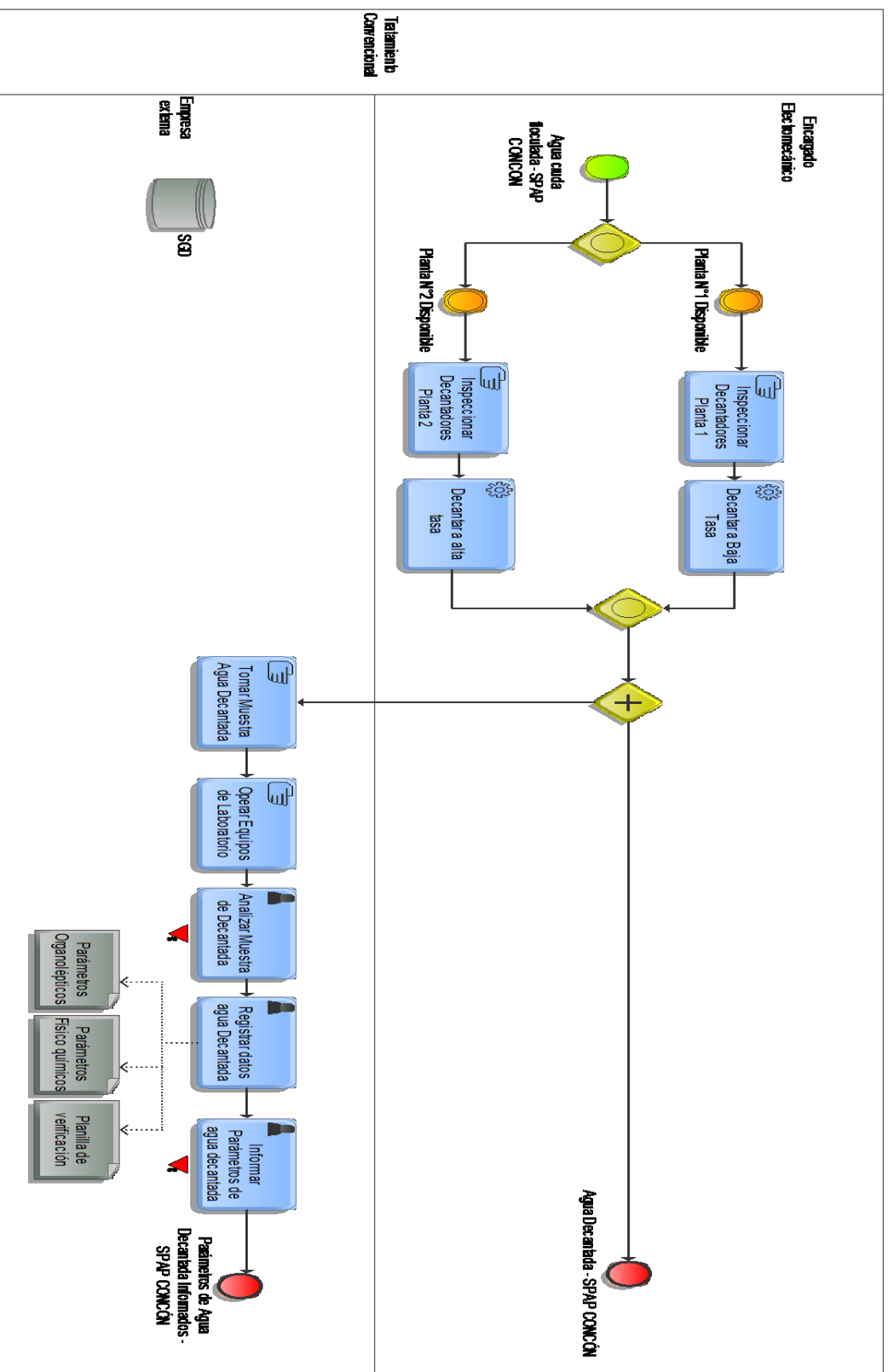
Figura 11: Pretratamiento



Fuente: Elaboración propia



Figura 13: Decantación

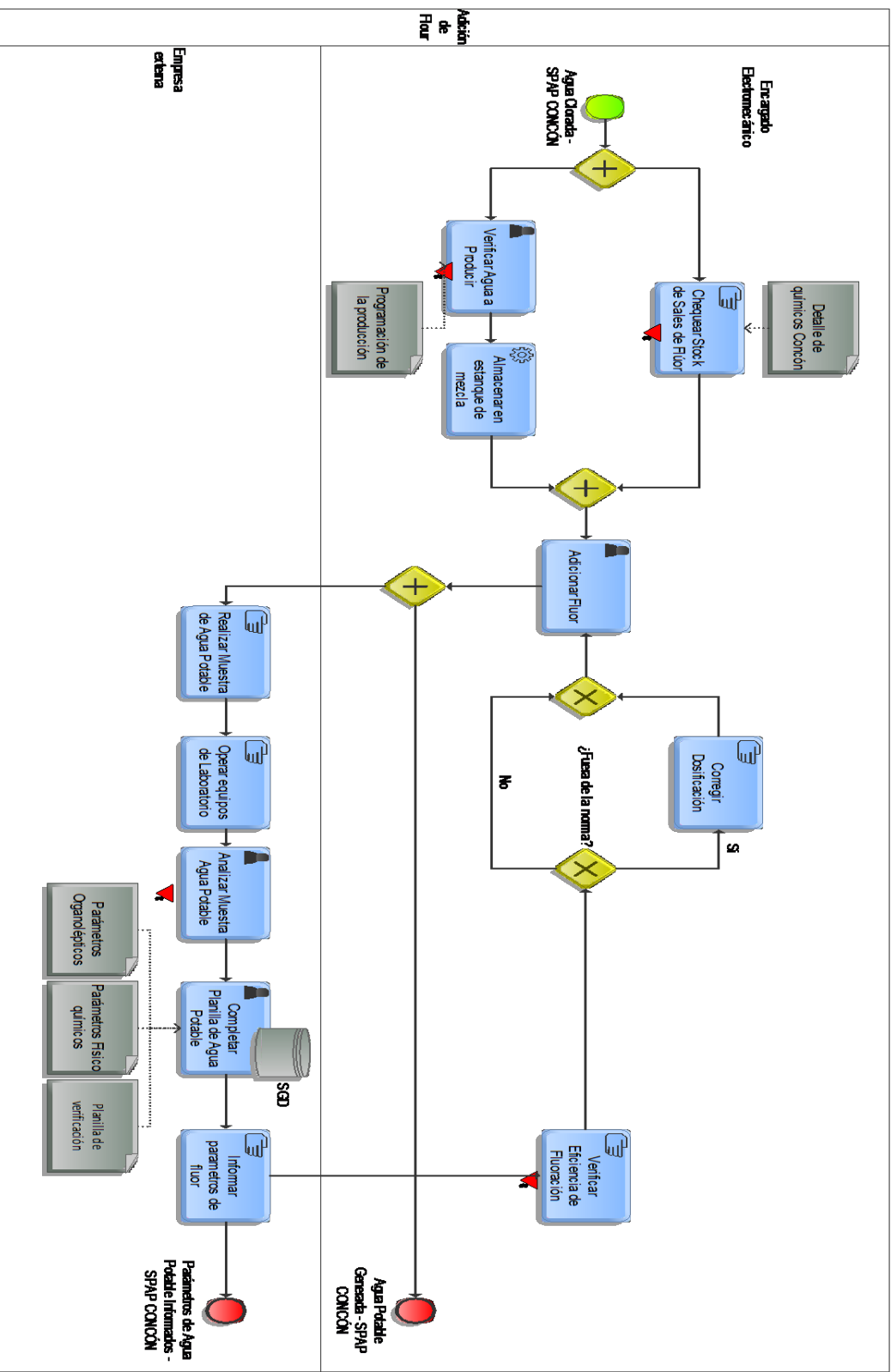


Fuente: Elaboración propia



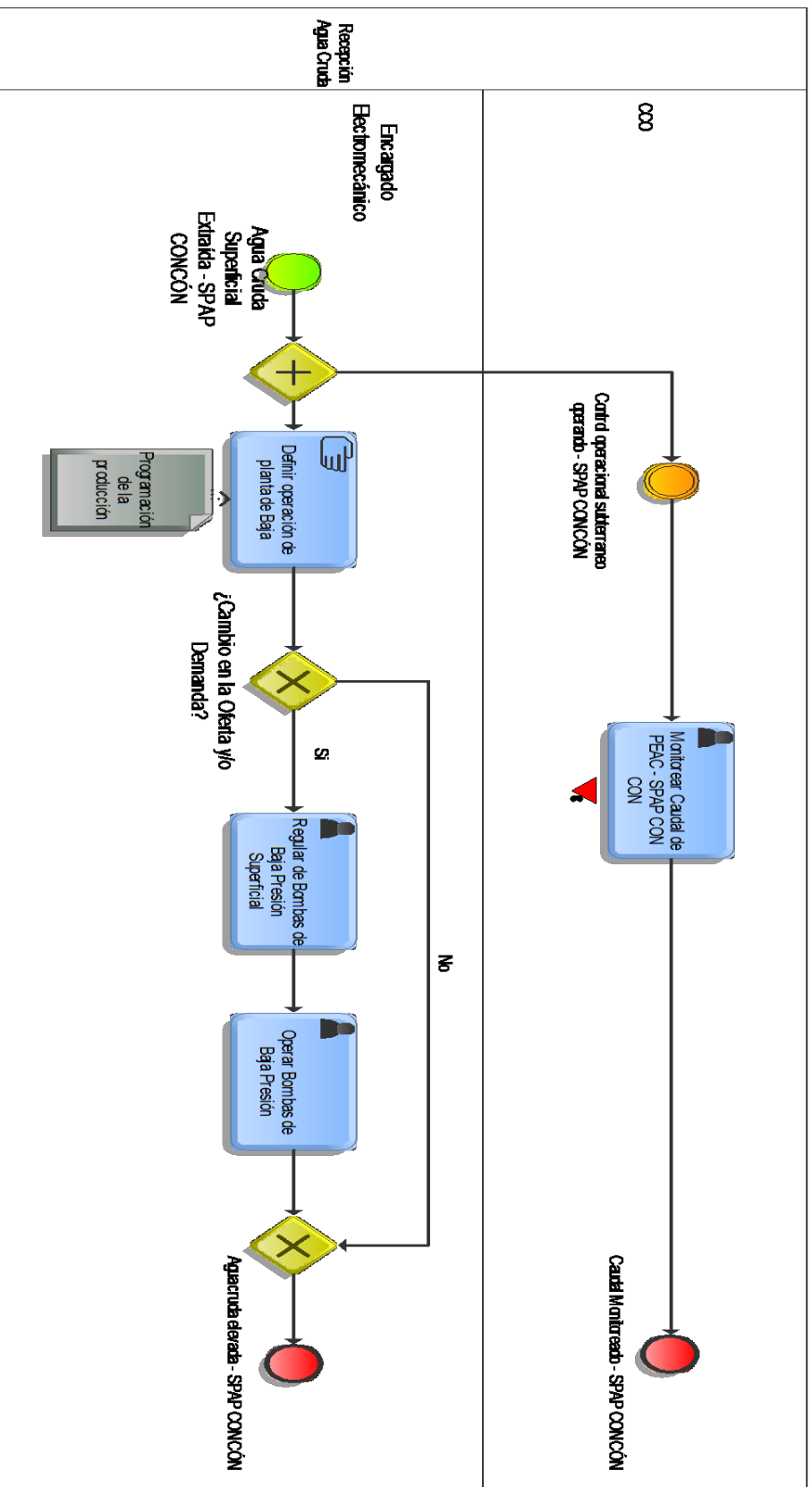


Figura 16: Fluoración



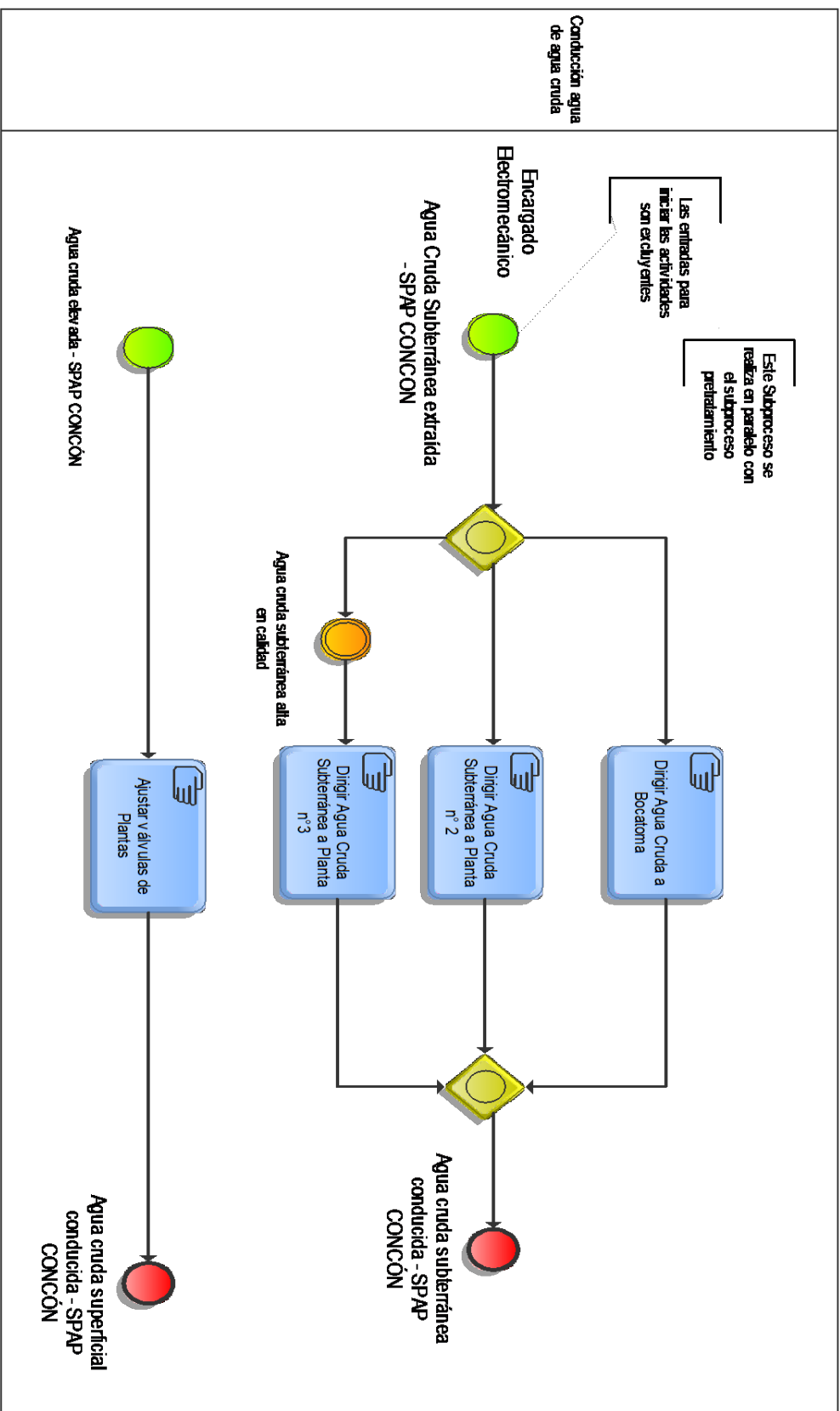
Fuente: Elaboración propia

Figura 17: Elevación agua cruda



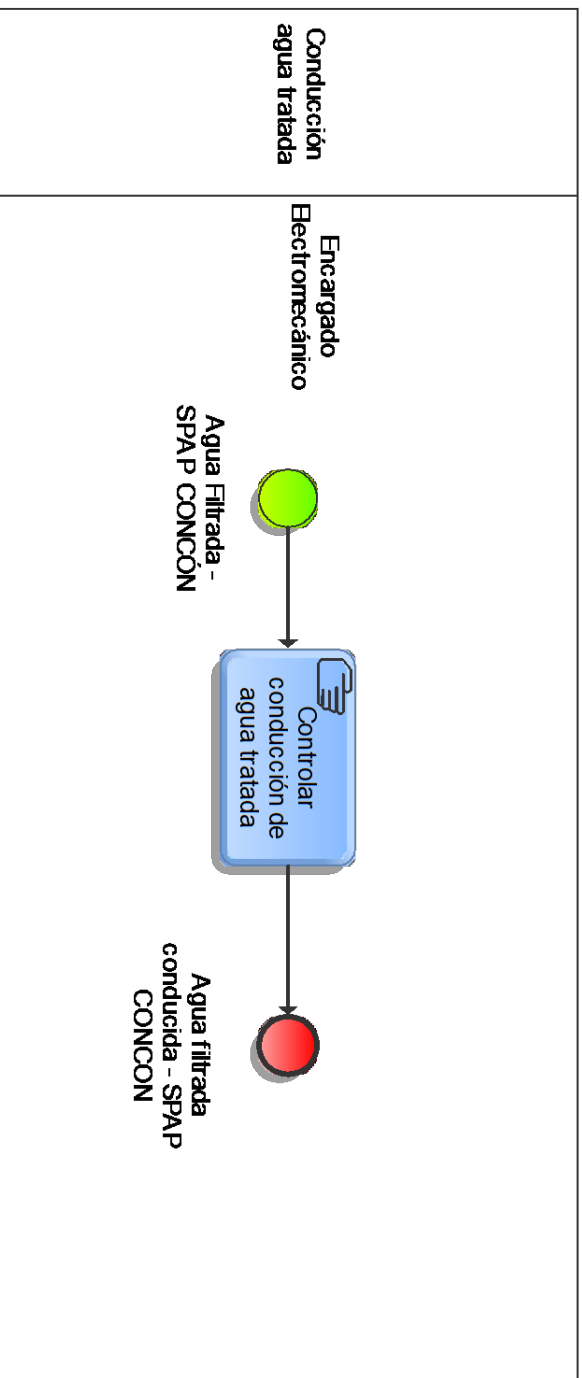
Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Conduccion de agua cruda



Fuente: Elaboración propia

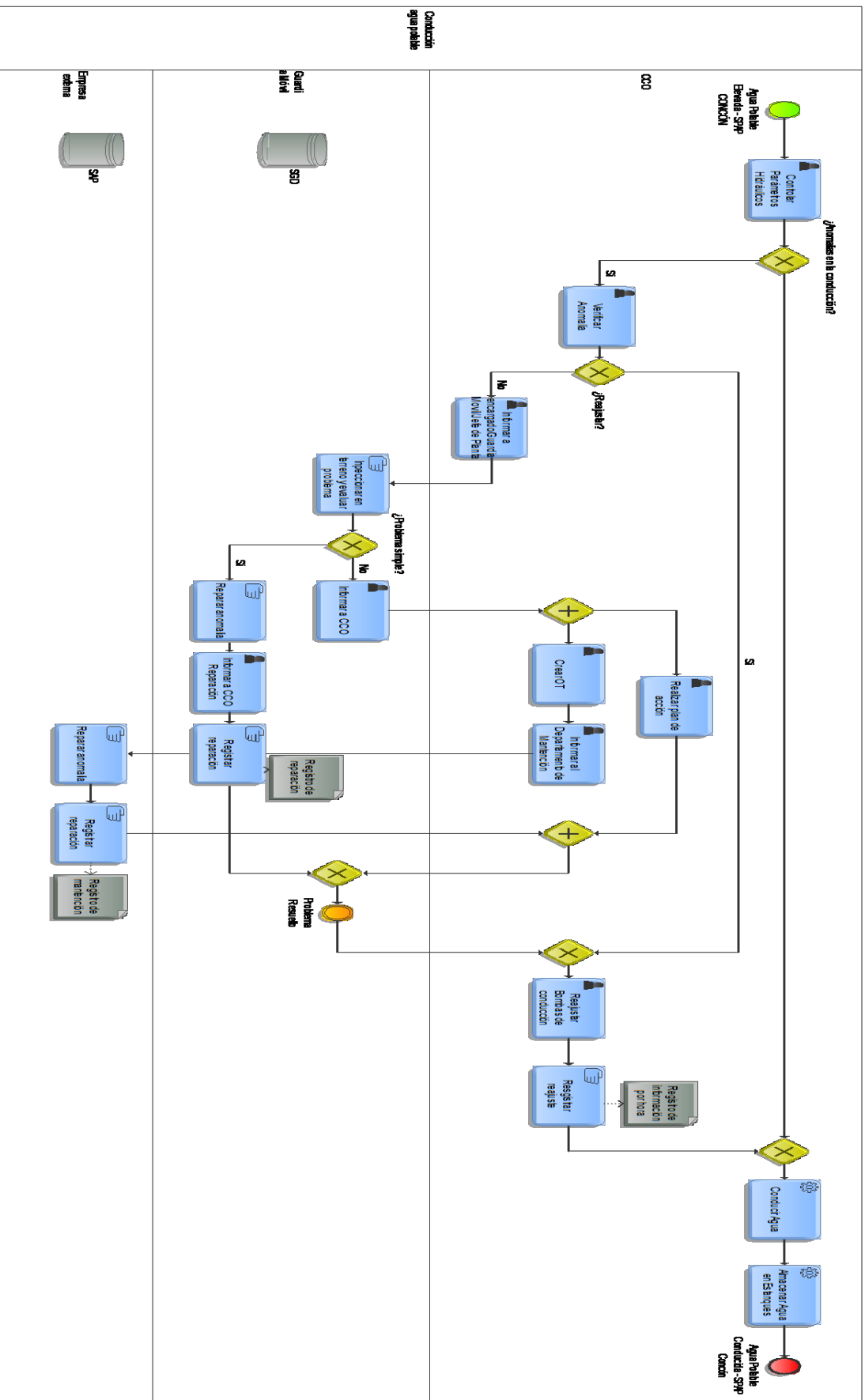
Figura 19: Conducción agua tratada



Fuente: Elaboración propia



Figura 21: Conducción agua potable



Fuente: Elaboración propia

## **Capítulo 5: Propuesta de control de Geosmina**

Luego de definir la situación actual mediante el levantamiento de procesos, se plantea una propuesta para eliminar el sabor y olor que causa la Geosmina en el agua potable, a través de la correcta dosificación de carbón activado en polvo. Es importante mencionar que los factores más influyentes en el método a utilizar son: la concentración inicial de Geosmina y la concentración de carbón activado en polvo.

Cabe destacar que existen otros métodos de eliminación de Geosmina (Anexo 1) que fueron descartados por las siguientes razones:

- Ozonización, método que produce subproductos nocivos y posee un gran costo inicial.
- Tecnología de control ultrasónico de algas, método que interviene la fuente de agua superficial, lo cual no es viable, ya que el problema se debe abordar en las dependencias de la planta.
- Oxidación por rayos UV, método en que los organismos pueden invertir los efectos destructivos de la radiación UV, por lo tanto no es eficaz.

## **5.1 Cuantificación de Geosmina**

Para saber la concentración inicial de Geosmina, es necesario extraer, separar y cuantificar, para ello existen diferentes métodos que se explicarán a continuación:

### **5.1.1 Métodos de extracción**

#### **5.1.1.1 Método de extracción purga y trampa**

La técnica de purga y trampa se emplea generalmente para la extracción de compuestos orgánicos volátiles no polares, con puntos de ebullición inferiores a los 220°C (Michael L. C., Pellizarl E., 1988). Resulta fácil adaptar los dispositivos de purga y trampa a un cromatógrafo de gases. La técnica consiste en hacer pasar a través de la muestra de agua, un gas inerte, lo cual ocasiona que los compuestos orgánicos purgables pasen de la fase acuosa a la fase de vapor, dichos compuestos serán atrapados en un adsorbente. La trampa que contiene el material adsorbente se encuentra dentro de una cámara de calentamiento, la cual, al activarse, permite la desorción de los compuestos atrapados (U.S.E.P.A, 1986).

#### **5.1.1.2 Método de destilación y extracción simultánea (SDE)**

Este procedimiento utiliza el aparato “Likens - Nickerson”, que permite la extracción de compuestos volátiles a partir de un medio acuoso hacia un medio solvente orgánico no miscible al agua, sin que haya contacto entre el solvente orgánico y la muestra tratada. Así el sistema evita extraer sustancias indeseables del medio tratado, tales como, lípidos, pigmentos u otras sustancias que no forman parte de la fracción volátil deseada, lo que podría producirse en el caso de un contacto directo con el solvente. Este aparato no permite sin embargo trabajar a escala preparativa y no procura la flexibilidad de utilización deseada.

#### **5.1.1.3 Método extracción líquido – líquido**

Este método consiste en un proceso de transferencia de una o varias sustancias desde una fase líquida a otra líquida inmisible con la primera, la que se consigue mediante el contacto directo entre las dos fases líquidas. Una de las fases es dispersada en la otra para aumentar la superficie interfacial y aumentar el caudal de materia transferida.

El volumen de extracción que generalmente se obtiene por este procedimiento es muy grande para introducirse directamente al cromatógrafo de gases pues esto disminuiría la sensibilidad, por lo que se recomienda agregar un paso de evaporación-concentración, el cual debe realizarse con extremas precauciones para evitar la contaminación de la muestra y la pérdida de analitos volátiles (Heyer L., Tchownowou P. B., Abdelghani A. A., 1998).

#### **5.1.1.4 Método de micro – extracción fase sólida (SPME)**

La micro-extracción en fase sólida es un método de extracción, donde los analitos de una muestra se unen a una fibra de sílice recubierta por un material adsorbente, el cual, es un polímero con características según la naturaleza de la muestra.

Dicha fibra se encuentra protegida dentro de una aguja hueca de acero inoxidable, la cual, a su vez, está contenida en el extremo de un dispositivo tipo jeringa. Al presionar el émbolo del dispositivo, la fibra sale de la aguja para ser expuesta a la matriz de la muestra; al retraer el émbolo, la fibra se introduce nuevamente en la aguja quedando protegida al igual que los analitos atrapados en ella. Posteriormente los analitos son desorbidos térmicamente al exponer la fibra al calor del inyector del cromatógrafo de gases, siendo barridos hacia la columna por el gas de arrastre. (Lord Heather L., Pawliszyn Janusz, 1998).

#### **5.1.1.5 Método de extracción de barras magnéticas (SBSE)**

Este método se basa en la extracción por sorción sin el uso de disolventes (o con volúmenes menores a 1 ml.) donde los analitos son extraídos desde una matriz líquida hacia una fase no miscible para posteriormente ser desorbidos y analizados. Sin embargo, la mayor limitación de esta técnica, es la disponibilidad y polaridad selectiva de los recubrimientos que existen de manera comercial. Siendo el polidimetilsiloxano (PDMS) selectivo para compuestos no polares y el poliacrilato (PA) selectivo para compuestos polares. Es por ello que aún existe la necesidad de un material versátil que permita una mejor recuperación de compuestos tanto polares como no polares, ampliando así las aplicaciones de la SBSE. (Burgos Tan, M.J., Muñoz Rodríguez, D., Carrera Figueiras, C., 2013)

### **5.1.2 Método de separación**

#### **5.1.2.1 Cromatografía de gases**

En cromatografía de gases, la muestra se inyecta en la fase móvil, la cual es un gas inerte (generalmente He). En esta fase, los distintos componentes de la muestra pasan a través de la fase estacionaria que se encuentra fijada en una columna. Actualmente, las más empleadas son las columnas capilares. La columna se encuentra dentro de un horno con programación de temperatura. La velocidad de migración de cada componente (y en consecuencia su tiempo de retención en la columna) será función de su distribución entre la fase móvil y la fase estacionaria. (M.C. Gutiérrez, M. Droguet, 2002)

### **5.1.3 Método de cuantificación**

#### **5.1.3.1 Espectrometría de masas**

La espectrometría de masas está basada en la obtención de iones a partir de moléculas orgánicas en fase gaseosa; una vez obtenidos estos iones, se separan de acuerdo con su masa y su carga, y se obtiene una gráfica de intensidad relativa del ion como función de la relación masa/carga ( $m/z$ ). El espectro de masas es frecuentemente representada como un histograma simple. Esta forma de registro de iones y sus intensidades sirven para establecer el peso molecular y estructura del compuesto a ser analizado. Debido a que ocurre la fragmentación del analito, las fracciones del ion aparecen en el espectro a valores  $m/z$  menores que la molécula completa ionizada (ion molecular) a partir de estos datos se deduce la estructura y peso molecular de la molécula completa.

### 5.1.4 Selección de método de extracción por matriz AHP

Para elegir el método de extracción adecuado, se utiliza la técnica Analytic Hierarchy Process (AHP), que permite tomar decisiones en situaciones que presentan múltiples criterios, priorizando la mejor alternativa con respecto a las demás, de manera más rigurosa y reduciendo la subjetividad de los criterios de evaluación.

En un inicio se define los criterios de evaluación, siendo estos: El costo del equipo necesario en cada método (C), la duración de extracción (D), y la eficiencia de extracción (EE). Según la importancia otorgada a cada criterio, se obtiene la siguiente Tabla 14:

Tabla 14 : Matriz de comparación de criterios

	Comparación Criterios		
	C	D	EE
C	1,000	0,200	0,143
D	5,000	1,000	0,333
EE	7,000	3,000	1,000
Suma	13,000	4,200	1,476

Fuente: Elaboración propia

Luego se normaliza los valores de la matriz, es decir se expresan en el rango de [0, 1]; para hacer esto se divide cada valor en la suma de su respectiva columna, con estos valores se obtiene  $P_i$ , promedio de cada fila, que indica la preferencia de cada criterio, siendo el mayor la eficiencia de extracción (Tabla 15).

Tabla 15: Matriz de comparación de criterios normalizada

	C	D	EE	$P_i$
C	0,077	0,048	0,097	0,074
D	0,385	0,238	0,226	0,283
EE	0,538	0,714	0,677	0,643

Fuente: Elaboración propia

Para validar la consistencia de los juicios de la matriz, se calcula la razón de consistencia (CR), que mide cuán consistente han sido los juicios de comparación (CI) respecto a valores promedios de juicios aleatorios (RI). El CR debe ser menor a 0,1 para considerar los juicios consistentes, en caso contrario existe cierto grado de azar en las asignaciones de los valores, siendo no válidos y debiendo repetir el proceso. En este caso es consistente, pues CR tiene un valor de 0,083 (Tabla 16).

Tabla 16: Consistencia de criterios

$\lambda$	3,097
N	3
CI	0,048
RI(3)	0,580
CR	0,083

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se comparan de a pares los métodos de extracción según cada criterio de evaluación, los cuales son: purga y trampa (A), destilación y extracción simultánea (B), extracción líquido – líquido (C), Micro-extracción en fase sólida (D), extracción de barras magnéticas (E), obteniendo las siguientes matrices de juicios (Tabla 17).

Tabla 17: Matrices de juicios comparando métodos de extracción para cada criterio

	C						D						EE				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
A	1,000	0,111	0,143	0,143	0,143	A	1,000	9,000	2,000	0,333	5,000	A	1,000	9,000	7,000	5,000	3,000
B	9,000	1,000	3,000	3,000	3,000	B	0,111	1,000	0,143	0,143	0,333	B	0,111	1,000	0,333	0,200	0,143
C	9,000	0,333	1,000	2,000	3,000	C	0,500	7,000	1,000	0,333	5,000	C	0,143	3,000	1,000	0,333	0,200
D	7,000	0,333	0,500	1,000	2,000	D	3,000	7,000	3,000	1,000	7,000	D	0,200	5,000	3,000	1,000	0,333
E	7,000	0,333	0,333	0,500	1,000	E	0,200	3,000	0,200	0,143	1,000	E	0,333	7,000	5,000	3,000	1,000
suma	33,000	2,111	4,976	6,643	9,143	suma	4,811	27,000	6,343	1,952	18,333	suma	1,787	25,000	16,333	9,533	4,676

Fuente: Elaboración propia

Una vez elaboradas las matrices de juicio, se calcula el Pi de cada método para los diferentes criterios de evaluación, con el fin de observar su preferencia con respecto a los demás, como se puede observar en la Tabla 18.

Tabla 18: Pesos de orden de preferencias de métodos según cada criterio

	C							D							EE					
	A	B	C	D	E	Pi		A	B	C	D	E	Pi		A	B	C	D	E	Pi
A	0,030	0,053	0,029	0,022	0,016	0,030	A	0,208	0,333	0,315	0,171	0,273	0,260	A	0,560	0,360	0,429	0,524	0,642	0,503
B	0,273	0,474	0,603	0,452	0,328	0,426	B	0,023	0,037	0,023	0,073	0,018	0,035	B	0,062	0,040	0,020	0,021	0,031	0,035
C	0,273	0,158	0,201	0,301	0,328	0,252	C	0,104	0,259	0,158	0,171	0,273	0,193	C	0,080	0,120	0,061	0,035	0,043	0,068
D	0,212	0,158	0,100	0,151	0,219	0,168	D	0,624	0,259	0,473	0,512	0,382	0,450	D	0,112	0,200	0,184	0,105	0,071	0,134
E	0,212	0,158	0,067	0,075	0,109	0,124	E	0,042	0,111	0,032	0,073	0,055	0,062	E	0,187	0,280	0,306	0,315	0,214	0,260

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el caso de los criterios, se calcula el CR de los métodos de extracción para validar su consistencia, resultando en los tres métodos consistentes (Tabla 19).

Tabla 19: Consistencia de métodos de extracción

C		D		EE	
$\lambda$	5,388	$\lambda$	5,436	$\lambda$	5,374
N	5	N	5	N	5
CI	0,097	CI	0,109	CI	0,093
RI(5)	1,120	RI(5)	1,120	RI(5)	1,120
CR	0,087	CR	0,097	CR	0,083

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se calculan los pesos de orden de preferencia de cada método de extracción para cada criterio, ponderado por el peso de los criterios mismos. Se obtiene la clasificación general de los métodos, resultando con el mayor peso de preferencia el método "A" que corresponde a la extracción por purga y trampa (Tabla 20).

Tabla 20: Clasificación general de los métodos de extracción

Métodos	Criterios de Comparación			×	Peso Criterios	=	Orden de los pesos de preferencia multivariada de los métodos
	C	D	EE				
A	0,030	0,260	0,503		0,074		0,399
B	0,426	0,035	0,035		0,283		0,064
C	0,252	0,193	0,068		0,643		0,117
D	0,168	0,450	0,134				0,226
E	0,124	0,062	0,260				0,194

Fuente: Elaboración propia

Según lo anterior, el método de purga y trampa es el que cumple de mejor manera con los tres criterios, particularmente con la eficiencia de extracción (EE), que tiene mayor prioridad sobre los demás, con un peso de 0,643, siendo seleccionado como método de extracción de la Geosmina en el agua potable.

Tras efectuar una lectura detallada de estudios provenientes de diversos países como Argentina<sup>1</sup>, México<sup>2</sup> y España<sup>3</sup>, se propone ocupar para la siguiente etapa, la cromatografía de gases como método de separación y la espectrometría de masas como método de cuantificación, pues son utilizados en la mayoría de los experimentos analizados por su efectividad al ser ejecutados.

### 5.1.5 Especificaciones de equipos de laboratorio

*Tabla 21: Especificaciones de purga y trampa*

Especificaciones de purga y trampa	
<b>Marca</b>	OI Analytical
<b>Modelo</b>	4552
<b>Dimensiones</b>	43, 2 cm alto X 54,6 cm ancho X 53,3 cm largo
<b>Temperatura de operación</b>	15° - 35° C
<b>Humedad relativa</b>	10 – 90%
<b>Capacidad de muestra</b>	51 viales de 40 ml
<b>Tamaño de la muestra</b>	1 – 25 ml (capacidad de autodilución)
<b>Gas</b>	Helio

*Fuente: Elaboración propia*

<sup>1</sup> Determinación de Geosmina en aguas utilizando SPME con GC-MS de Aguas Cordobesas S.A y Carbón activado para la remoción de metabolitos algales en planta potabilizadora de Aguas de Corrientes S.A.

<sup>2</sup> Estudio de la presencia de Geosmina en agua mineral embotellada de Bebidas Mexicanas.

<sup>3</sup> Eliminación de Geosmina mediante el empleo de carbón activo en polvo de Acciona Agua S.A.

Tabla 22: Especificaciones de cromatógrafo de gases

Especificaciones de cromatógrafo de gases	
<b>Marca</b>	SHIMADZU
<b>Modelo</b>	GCMS - QP2020Ultra
<b>Temperatura de entrada</b>	250°C
<b>Temperatura de detector de masas</b>	280°C
<b>Gas acarreador</b>	Helio
<b>Columna capilar</b>	HP5 (30 mt longitud. X 0,25 mm diámetro interno X 0.25 $\mu$ m espesor de película)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23: Especificaciones de espectrómetro de masas

Especificaciones de espectrómetro de masas	
<b>Marca</b>	SHIMADZU
<b>Modelo</b>	GCMS - QP2020Ultra
<b>Voltaje</b>	70 eV
<b>Modo de detección</b>	Ión específico
<b>Ión específico de GSM</b>	112 m/z

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Dosificación de carbón activado en polvo

Es fundamental determinar la correcta cantidad de carbón activado para controlar la Geosmina según las diferentes concentraciones que se presentan en el agua potable durante las diversas estaciones del año.

Al evitar el empleo excesivo de este material, se logra un ahorro en los recursos destinados a la adquisición de este producto, así mismo esto se ve reflejado en la disminución de las multas, al obtener los parámetros organolépticos requeridos por la SISS.

### 5.2.1 Características del carbón activado en polvo

Esval utiliza el carbón activado en polvo Co-850 de origen vegetal, el cual es una sustancia negra, inodora, infusible e insoluble, con excelentes propiedades adsorbentes. Este material actúa por contacto y posee una alta superficie interna y una buena distribución de poros, propiedades que le permiten atrapar una gran diversidad de moléculas.

Las especificaciones técnicas más relevantes del carbón activado en polvo son las siguientes:

- Índice de Yodo: Este índice puede ser usado para estimar el área superficial relativa y la medición de la porosidad. (Tongpoothorn, Sriuttha, Homchan, Chanthai, & .Ruangviriyachai, 2011). En este caso tiene un valor de 1050 (mg/gr).
- Azul de metileno: Es un método rápido de conocer la capacidad de adsorción de un carbón activado frente a moléculas grandes (macroporos), el cual tiene un valor de 22% en este tipo de carbón.
- Índice de Fenol: Capacidad de remoción del carbón activado sobre los fenoles, que son altamente tóxicos, resistentes (a la degradación química) y pobremente biodegradables, teniendo un valor de 5 (gr)/ 100 (gr) en este caso.
- Humedad (al empacar): Ésta se especifica ya que mientras mayor es su contenido, menor es el porcentaje de carbón neto que recibe el comprador, siendo para este caso de 3 % (p/p).

Ventajas del uso de carbón activado en polvo

- Gran capacidad de adsorción de compuestos orgánicos como disolvente, hidrocarburos, pesticidas y sustancias inorgánicas el cloro, arsénico, mercurio y cromo.
- No es tóxico y tampoco genera problemas ecológicos.
- Flexibilidad de dosis que le permite cambios en su concentración en respuesta a los niveles del contaminante.
- Es empleado como medio para minimizar la formación de subproductos de la desinfección.

Desventajas del uso de carbón activado en polvo:

- No puede ser reutilizado en el proceso.
- Produce grandes cantidades de lodos.

### 5.2.2 Relación entre la concentración de Geosmina y la concentración de carbón activado en polvo

Se debe determinar la concentración inicial de Geosmina (GSM), para establecer la concentración de carbón activado en polvo (PAC) necesario para lograr que la concentración residual de GSM esté por debajo de los límites perceptibles (10 ng/l).

Esval al no contar con un método de cuantificación, no posee datos de la concentración inicial de GSM, por lo que es esencial estimar estos valores, como también definir la concentración residual de GSM, en este caso se utilizará el valor de 9,5 (ng/l), para calcular la concentración del PAC, considerando una holgura que asegure que la GSM sea imperceptible.

Para efectuar lo antes mencionado se usará la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Conc. Residual GSM} \left( \frac{\text{ng}}{\text{l}} \right) = & \\ & 7,43547 + 0,540105 \times \text{Conc. Inicial GSM} \left( \frac{\text{ng}}{\text{l}} \right) - 0,936561 \times \text{Conc. PAC} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) + 0,00478667 \times \\ & \text{Conc. Inicial GSM} \left( \frac{\text{ng}}{\text{l}} \right)^2 - 0,0320292 \times \text{Conc. Inicial GSM} \left( \frac{\text{ng}}{\text{l}} \right) \times \text{Conc. PAC} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) + 0,0360762 \times \\ & \text{Conc. PAC} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)^2 \quad (\text{Enrique Ferrero, Susana Navea, Carme Repollés, Jorge J. Malfeito, 2016}) \end{aligned}$$

Se despeja el PAC de la ecuación obteniendo:

$$\begin{aligned} 0,0360762 \times \text{Conc. PAC} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)^2 - 0,0320292 \times \text{Conc. Inicial GSM} \left( \frac{\text{ng}}{\text{l}} \right) \times \text{Conc. PAC} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) - 0,936561 \times \\ \text{Conc. PAC} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = -0,00478667 \times \text{Conc. Inicial GSM} \left( \frac{\text{ng}}{\text{l}} \right)^2 - 0,540105 \times \text{Conc. Inicial GSM} \left( \frac{\text{ng}}{\text{l}} \right) + \\ \text{Conc. Residual GSM} \left( \frac{\text{ng}}{\text{l}} \right) - 7,43547 \end{aligned}$$

A partir de la ecuación anterior, se reemplazan los valores de concentración residual de GSM, así como la concentración inicial de ésta, cuyos valores 20<sup>4</sup>, 50<sup>5</sup> y 463<sup>6</sup> (ng/Lt), fueron extraídos de estudios de Argentina y España, tomados de ríos y embalses de dichos países. Además se incluyen otros valores de concentración inicial de GSM, para observar la concentración de PAC a utilizar en dichos casos, obteniendo una ecuación cuadrática con dos resultados de concentración de PAC, siendo la de menor concentración el PAC 2, que cumple con mantener la GSM residual menor a 10 (ng/Lt) (Tabla 24).

Tabla 24: Coeficientes de ecuación cuadrática y resultados de concentración de PAC

Conc. Inicial GSM (ng/Lt)	a	b	c	Conc. PAC 1 (mg/Lt)	Conc. PAC 2 (mg/Lt)
10	0,0361	-1,2569	3,8152	31,4794	<b>3,3595</b>
15	0,0361	-1,4170	7,1140	33,3683	<b>5,9097</b>
20	0,0361	-1,5771	10,6522	35,3687	<b>8,3484</b>
25	0,0361	-1,7373	14,4298	37,4860	<b>10,6701</b>
30	0,0361	-1,8974	18,4466	39,7230	<b>12,8722</b>
35	0,0361	-2,0576	22,7028	42,0792	<b>14,9552</b>
40	0,0361	-2,2177	27,1983	44,5510	<b>16,9225</b>
50	0,0361	-2,5380	36,9074	49,8148	<b>20,5369</b>
100	0,0361	-4,1395	99,8127	80,2789	<b>34,4638</b>
250	0,0361	-8,9439	432,1286	182,1588	<b>65,7570</b>
350	0,0361	-12,1468	773,3393	251,4459	<b>85,2520</b>
463	0,0361	-15,7661	1.274,1177	329,9988	<b>107,0228</b>

Fuente: Elaboración propia

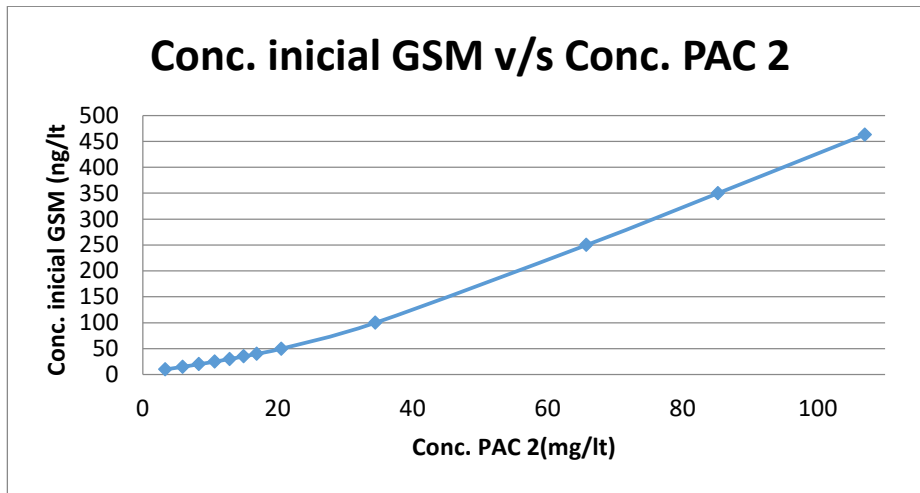
Como se puede observar en el Gráfico 4, a mayor concentración de GSM inicial, mayor es la concentración de PAC necesario para hacerla imperceptible, considerándose una relación directamente proporcional.

<sup>4</sup> Concentración inicial de Geosmina de Aguas Cordobesas S.A del estudio "Determinación de Geosmina en aguas utilizando SPME con GC-MS", Argentina.

<sup>5</sup> Concentración inicial de Geosmina de Acciona Agua S.A del estudio "Eliminación de Geosmina mediante el empleo de carbón activo en polvo", España.

<sup>6</sup> Concentración inicial de Geosmina de Aguas de Corrientes S.A del estudio "Carbón activado para la remoción de metabolitos algales en planta potabilizadora", Argentina.

Gráfico 4: Conc. Inicial GSM v/s Conc. PAC 2



Fuente: Elaboración propia

A continuación se analizan las cantidades de PAC, variando la concentración de Geosmina residual y manteniendo la concentración inicial de Geosmina en 44 (ng/Lt). Para calcular este valor, se multiplica la concentración de PAC 2 con el caudal promedio de la planta Concón del año 2016 de 2.031.156 (m<sup>3</sup>/mes). Se puede observar en la Tabla 25 que a mayor concentración de GSM residual, menor es la cantidad de PAC utilizado, siendo una relación inversamente proporcional.

Tabla 25: Cantidad de PAC a diferentes concentraciones de GSM residual

Conc. Inicial GSM (ng/Lt)	Conc. GSM residual (ng/Lt)	Conc. PAC 2 (mg/Lt)	PAC (kg)
44,00	9,50	18,42	37.408,17
	15,00	13,77	27.976,99
	20,00	10,38	21.088,77

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que es preferible gastar en PAC, manteniendo la concentración de GSM residual menor a 10 (ng/Lt), logrando que sea imperceptible a los sentidos del cliente, así evitar recibir multas por parte de la SISS al dejar la concentración de GSM residual sobre los 10 (ng/Lt), pues al reducir la concentración de GSM residual de 20 a 9,5 (ng/Lt) se requieren 16.319,4 (kg/mes) más de PAC, que equivalen aproximadamente a \$18.000.000 millones, pero al no realizar esto, se arriesgan a ser multados por montos sobre los \$40.000.000 millones.

### 5.3 Análisis de datos históricos de carbón activado en polvo

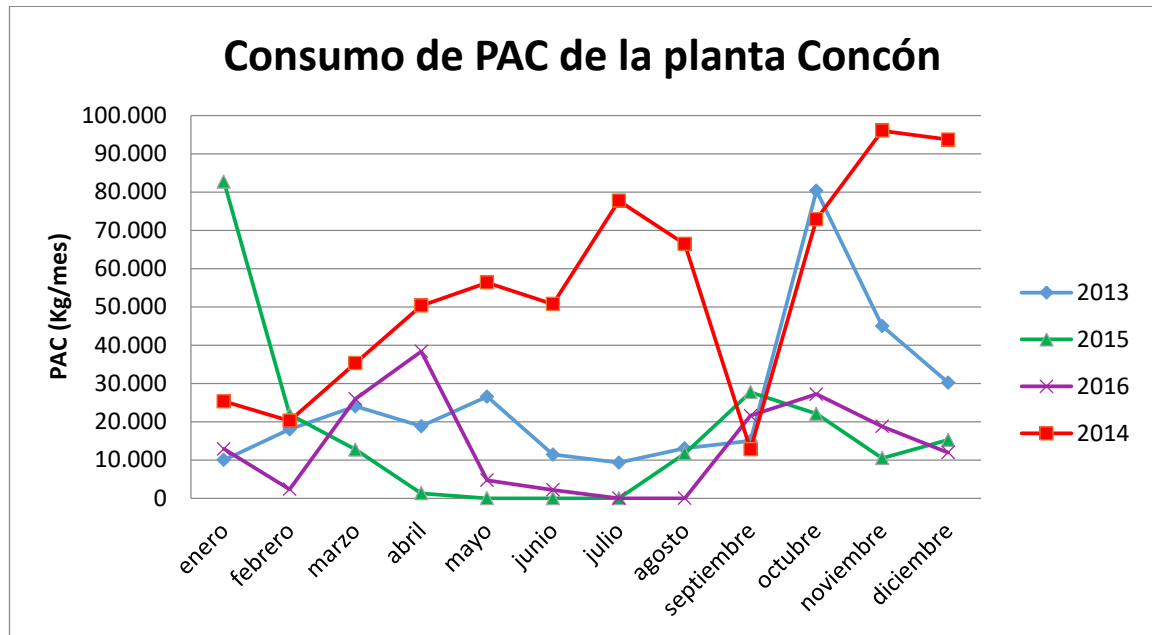
A continuación se analiza el carbón activado en polvo consumido en la planta Concón desde el año 2013 al 2016.

*Tabla 26: Consumo de PAC en la planta Concón*

Mes	Consumo 2013 (kg)	Consumo 2014 (kg)	Consumo 2015 (Kg)	Consumo 2016 (kg)
Enero	10.000	25.308	82.705	12.855
Febrero	18.000	20.245	21.896	2.350
Marzo	24.000	35.300	12.725	25.975
Abril	18.825	50.325	1.300	38.375
Mayo	26.550	56.350	0	4.700
Junio	11.400	50.700	0	2.175
Julio	9.275	77.700	0	0
Agosto	13.050	66.400	11.713	0
Septiembre	15.000	12.743	27.690	21.575
Octubre	80.350	72.870	22.040	27.175
Noviembre	44.976	96.005	10.465	18.750
Diciembre	30.202	93.695	15.225	11.925
<b>Total</b>	<b>301.628</b>	<b>657.641</b>	<b>205.759</b>	<b>165.855</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Gráfico 5: Consumo de PAC de planta Concón



Fuente: Elaboración propia

En el año 2013 hubo un peak de Geosmina que provocó multas de montos elevados, es por ello que en el año 2014 para evitar esta misma situación se utilizó una cantidad desmedida de PAC, pues el consumo aumenta considerablemente incluso en los meses de invierno donde normalmente se utilizan cantidades mínimas o hasta cero.

Los años 2013, 2015 y 2016 se comportan de manera similar, exceptuando desde octubre hasta diciembre del 2013, donde los valores de PAC son elevados, al producirse un aumento de Geosmina por la floración de cianobacterias y en enero de 2015 donde no se ha regularizado aun el consumo excesivo del año 2014 (Gráfico 5).

En los meses de septiembre a febrero se encuentran las concentraciones más elevadas de Geosmina, por lo que existe un mayor consumo de PAC en estos meses, produciéndose el peak en el mes de octubre. Por el contrario se produce un menor consumo de PAC en los meses de junio, julio y agosto.

### 5.3.1 Dosificación de carbón activado en polvo según propuesta

Según la concentración inicial de Geosmina, se analiza la concentración PAC real que se empleó versus la concentración de PAC ideal, calculado con la ecuación anteriormente mostrada.

Las concentraciones iniciales de GSM se estimaron a partir de estudios que han sido mencionados anteriormente en esta tesis, teniendo en consideración que en primavera y verano las concentraciones de GSM son mayores con respecto a otoño e invierno. Además, cabe mencionar que en los años 2013 y 2014 se utilizaron concentraciones de GSM más elevadas por los acontecimientos ocurridos en estos años, ya explicados anteriormente.

La concentración de PAC se determina al multiplicar la producción mensual de cada año por la cantidad de PAC ocupado del mismo año, realizando las conversiones de unidades correspondientes. Luego se calculan las concentraciones de PAC ideal, y se procede a restar ésta con la concentración de PAC real, obteniendo el déficit de concentración de PAC, el cual se convierte en cantidad y finalmente en dinero, donde los resultados positivos indican el costo adicional de PAC que se debe emplear para que la GSM residual sea igual a 9,5 (ng/lt), y los resultados negativos indican la cantidad de PAC que se utilizó en exceso, siendo esto un ahorro para Esval.

Tabla 27: PAC según GSM inicial año 2013

Mes	Conc. Inicial GSM (ng/lt)	Producción Concón (m <sup>3</sup> /mes)	PAC (kg/mes)	Conc. PAC real (mg/lt)	Conc. PAC ideal (mg/lt)	Déficit conc. PAC (mg/lt)	Déficit PAC (kg)	Déficit PAC (\$)
Enero	28	3.386.780	10.000	2,95	12,01	9,5	30.660,93	\$31.074.850
Febrero	25	3.384.778	18.000	5,32	10,67	5,35	18.115,95	\$18.360.512
Marzo	20	3.233.963	24.000	7,42	8,35	0,93	2.998,28	\$3.038.760
Abril	15	2.545.270	18.825	7,40	5,91	-1,49	-3.783,34	\$-3.834.416
Mayo	13	1.910.978	26.550	13,89	4,90	-8,99	-17.181,31	\$-17.413.254
Junio	13	1.652.914	11.400	6,90	4,90	-1,99	-3.296,48	\$-3.340.985
Julio	13	1.754.074	9.275	5,29	4,90	-0,39	-675,54	\$-684.659
Agosto	16	1.949.667	13.050	6,69	6,41	-0,29	-559,41	\$-566.966
Septiembre	30	2.439.002	15.000	6,15	12,87	6,72	16.395,39	\$16.616.729
Octubre	74	3.087.480	80.350	26,02	27,85	1,83	5.646,68	\$5.722.915
Noviembre	44	2.786.823	44.976	16,14	18,42	2,28	6.349,42	\$6.435.138
Diciembre	30	2.851.712	30.202	10,59	12,87	2,28	6.505,89	\$6.593.718
<b>Total</b>							<b>61.176,46</b>	<b>\$62.002.340</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: PAC según GSM inicial año 2014

Mes	Conc. Inicial GSM (ng/lit)	Producción Concón (m <sup>3</sup> /mes)	PAC (kg/mes)	Conc. PAC real (mg/lit)	Conc. PAC ideal (mg/lit)	Déficit conc. PAC (mg/lit)	Déficit PAC (kg)	Déficit PAC (\$)
Enero	28	3.469.017	25.308	7,30	12,01	4,71	16.340,25	\$16.854.964
Febrero	25	3.235.541	20.245	6,26	10,67	4,41	14.278,57	\$14.728.347
Marzo	20	3.087.337	35.300	11,43	8,35	-3,09	-9.525,80	\$-9.825.866
Abril	15	2.584.376	50.325	19,47	5,91	-13,56	-35.052,24	\$-36.156.384
Mayo	12	1.828.006	56.350	30,83	4,39	-26,43	-48.320,55	\$-49.842.648
Junio	12	1.578.464	50.700	32,12	4,39	-27,73	-43.766,65	\$-45.145.304
Julio	12	1.904.740	77.700	40,79	4,39	-36,40	-69.333,50	\$-71.517.504
Agosto	15	1.697.229	66.400	39,12	5,91	-33,21	-56.369,97	\$-58.145.622
Septiembre	30	1.583.820	12.743	8,05	12,87	4,83	7.644,29	\$7.885.088
Octubre	50	2.583.200	72.870	28,21	20,54	-7,67	-19.819,17	\$-20.443.473
Noviembre	44	2.747.969	96.005	34,94	18,42	-16,52	-45.395,16	\$-46.825.108
Diciembre	27	3.317.643	93.695	28,24	11,57	-16,68	-55.325,27	\$-57.068.020
<b>Total</b>							<b>-344.645,21</b>	<b>\$-355.501.530</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: PAC según GSM inicial año 2015

Mes	Conc. Inicial GSM (ng/lit)	Producción Concón (m <sup>3</sup> /mes)	PAC (kg/mes)	Conc. PAC real (mg/lit)	Conc. PAC ideal (mg/lit)	Déficit conc. PAC (mg/lit)	Déficit PAC (kg)	Déficit PAC (\$)
Enero	25	3.472.096	82.705	23,82	10,67	-13,15	-45.657,36	\$-50.702.499
Febrero	20	3.059.340	21.896	7,16	8,35	1,19	3.644,47	\$4.047.181
Marzo	15	2.806.707	12.725	4,53	5,91	1,38	3.861,66	\$4.288.374
Abril	12	2.064.310	1.300	0,63	4,39	3,76	7.767,41	\$8.625.705
Mayo	10	1.489.700	0	0,00	3,36	3,36	5.004,57	\$5.557.578
Junio	10	1.382.595	0	0,00	3,36	3,36	4.644,76	\$5.158.005
Julio	10	1.053.983	0	0,00	3,36	3,36	3.540,80	\$3.932.062
Agosto	15	1.135.327	11.713	10,32	5,91	-4,41	-5.003,61	\$-5.556.512
Septiembre	30	1.396.358	27.690	19,83	12,87	-6,96	-9.715,76	\$-10.789.353
Octubre	44	1.507.763	22.040	14,62	18,42	3,80	5.728,74	\$6.361.769
Noviembre	27	2.189.982	10.465	4,78	11,57	6,79	14.862,92	\$16.505.277
Diciembre	25	2.815.721	15.225	5,41	10,67	5,26	14.819,05	\$16.456.552
<b>Total</b>							<b>3.497,65</b>	<b>\$3.884.138</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: PAC según GSM inicial año 2016

Mes	Conc. Inicial GSM (ng/lit)	Producción Concón (m <sup>3</sup> /mes)	PAC (kg/mes)	Conc. PAC real (mg/lit)	Conc. PAC ideal (mg/lit)	Déficit conc. PAC (mg/lit)	Déficit PAC (kg)	Déficit PAC (\$)
Enero	25	3.280.674	12.855,00	3,92	10,67	6,75	22.150,15	\$26.239.063
Febrero	20	2.838.932	2.350,00	0,83	8,35	7,52	21.350,42	\$25.291.710
Marzo	15	2.206.660	25.975,00	11,77	5,91	-5,86	-12.934,41	\$-15.322.100
Abril	12	1.536.969	38.375,00	24,97	4,39	-20,58	-31.623,92	\$-37.461.695
Mayo	10	1.457.779	4.700,00	3,22	3,36	0,14	197,34	\$233.764
Junio	10	1.348.238	2.175,00	1,61	3,36	1,75	2.354,34	\$2.788.949
Julio	10	1.284.267	0,00	0,00	3,36	3,36	4.314,43	\$5.110.875
Agosto	15	1.667.460	0,00	0,00	5,91	5,91	9.854,11	\$11.673.176
Septiembre	30	1.783.120	21.575,00	12,10	12,87	0,77	1.377,73	\$1.632.056
Octubre	44	2.138.218	27.175,00	12,71	18,42	5,71	12.204,95	\$14.457.979
Noviembre	27	2.663.865	18.750,00	7,04	11,57	4,53	12.058,55	\$14.284.559
Diciembre	25	2.825.852	11.925,00	4,22	10,67	6,45	18.227,15	\$21.591.877
<b>Total</b>							<b>59.530,82</b>	<b>\$70.520.212</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2 Correlación de datos

Se calculan y analizan los coeficientes de correlación de la concentración inicial de GSM respecto a la concentración de PAC ideal y real de los años 2013 a 2016.

Tabla 31: Correlación de datos

	Año 2013		Año 2014		Año 2015		Año 2016	
	Conc. PAC Ideal	Conc. PAC Real	Conc. PAC Ideal	Conc. PAC Real	Conc. PAC Ideal	Conc. PAC Real	Conc. PAC Ideal	Conc. PAC Real
Conc. Inicial GSM	0,994	0,797	0,998	-0,149	0,998	0,681	0,998	0,223

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los coeficientes de correlación de la concentración de PAC ideal es en todos los años cercano a 1, lo que indica que los datos son confiables y que

existe una relación con la concentración inicial de GSM, en cambio, con respecto a la concentración de PAC real, varían todos los años teniendo valores lejanos a 1, lo que indica que los datos no son certeros, pues no hay una correcta dosificación de PAC, al no existir una relación con la concentración inicial de GSM.

Cabe mencionar que en el año 2014 el coeficiente de correlación entre la concentración de PAC real y GSM inicial es negativa al haber un excesiva dosificación de PAC.

#### **5.4 Subproceso de Control de Geosmina**

Se diseña el subproceso de control de Geosmina (Figura 22), dentro del proceso de gestión de calidad de producción de agua potable, que pertenece al macroproceso de control de calidad. El control de Geosmina se encarga de entregar la información al proceso productivo de agua potable para una correcta dosificación de carbón activado, obteniendo agua potable que cumple con los parámetros organolépticos solicitados por la SISS.

A continuación se detalla el informe de procedimiento de este subproceso, que incluye objetivo, alcance, responsables y actividades. (Tabla 32)

Tabla 32: Informe del Control de Geosmina

<b>Nombre del Macroproceso</b>	Control de Calidad				
<b>Nombre del Proceso</b>	Gestión de Calidad de Producción de Agua Potable				
<b>Nombre del Subproceso</b>	Control de Geosmina				
<b>Objetivo</b>	Cuantificar la Geosmina para determinar la correcta dosificación de carbón activado en polvo, logrando que la concentración de Geosmina residual sea inferior a 10 ng/lit, siendo de esta manera imperceptible por los consumidores.		<b>Alcance</b>	Desde que se encuentra disponible la muestra de agua cruda del subproceso de captación en el laboratorio para su análisis y dosificación de carbón activado, hasta la realización de los indicadores donde el control de Geosmina es finalizado.	
<b>Responsables</b>	- Encargado de planta de producción	<b>Electores</b>	- Encargado de laboratorio - Encargado electromecánico - Jefe departamento de calidad	<b>Entradas</b>	- Muestras de agua cruda disponible
				<b>Salidas</b>	- Control de GSM finalizado
<b>Registros</b>					
Porcentaje de muestras con exceso de GSM residual					
<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Sucesores</b>	<b>Documentos</b>
Extraer compuestos orgánicos	Una vez disponible la muestra de agua cruda extraída en la etapa de captación, el encargado de laboratorio extrae los compuestos orgánicos presentes en ella, a través del equipo de purga y trampa, para luego separar la Geosmina.	Usuario	Encargado de laboratorio	Separar GSM	No hay registros ni instructivos
Separar GSM	El encargado de laboratorio mediante la cromatografía de gases separa la Geosmina del resto de los compuestos orgánicos, para su posterior cuantificación.	Usuario	Encargado de laboratorio	Cuantificar GSM;	No hay registros ni instructivos

Cuantificar GSM	El encargado de laboratorio cuantifica la Geosmina utilizando la espectrometra de masas con el fin de determinar la concentración de Geosmina en el agua.	Usuario	Encargado de laboratorio	Registrar datos de GSM inicial;	No hay registros ni instructivos
Registrar datos de GSM inicial	Una vez cuantificada la Geosmina, el encargado de laboratorio ingresa los datos en la planilla Excel "Registro de control de GSM" y lo agrega a la plataforma SharePoint.	Usuario	Encargado de laboratorio	¿GSM inicial >= 10 ng/lit? - No: Enviar datos; Si: Dosificar y registrar PAC;	Registro de control de GSM
Dosificar y registrar PAC	Si la concentración inicial de Geosmina es mayor o igual a 10 ng/lit, el encargado de laboratorio debe determinar la cantidad de carbón activado en polvo que se agrega al agua, e ingresar los datos en la planilla Excel "Registro de control de GSM" disponible en el SharePoint.	Usuario	Encargado de laboratorio	Enviar datos;	Registro de control de GSM
Enviar datos	El encargado de laboratorio debe enviar un correo electrónico al encargado de planta de producción, con el "Registro de control de GSM", para su posterior análisis según corresponda.	Usuario	Encargado de laboratorio	Recepcionar datos;	No hay registros ni instructivos
Recepcionar datos	El encargado de planta de producción recibe los datos para analizarlos y envía un correo electrónico dando aviso que ha recibido la información.	Usuario	Encargado de planta de producción	GSM inicial >= 10 ng/lit - Analizar y verificar datos de dosificación; GSM inicial < 10 ng/lit - Enviar datos de GSM inicial;	No hay registros ni instructivos

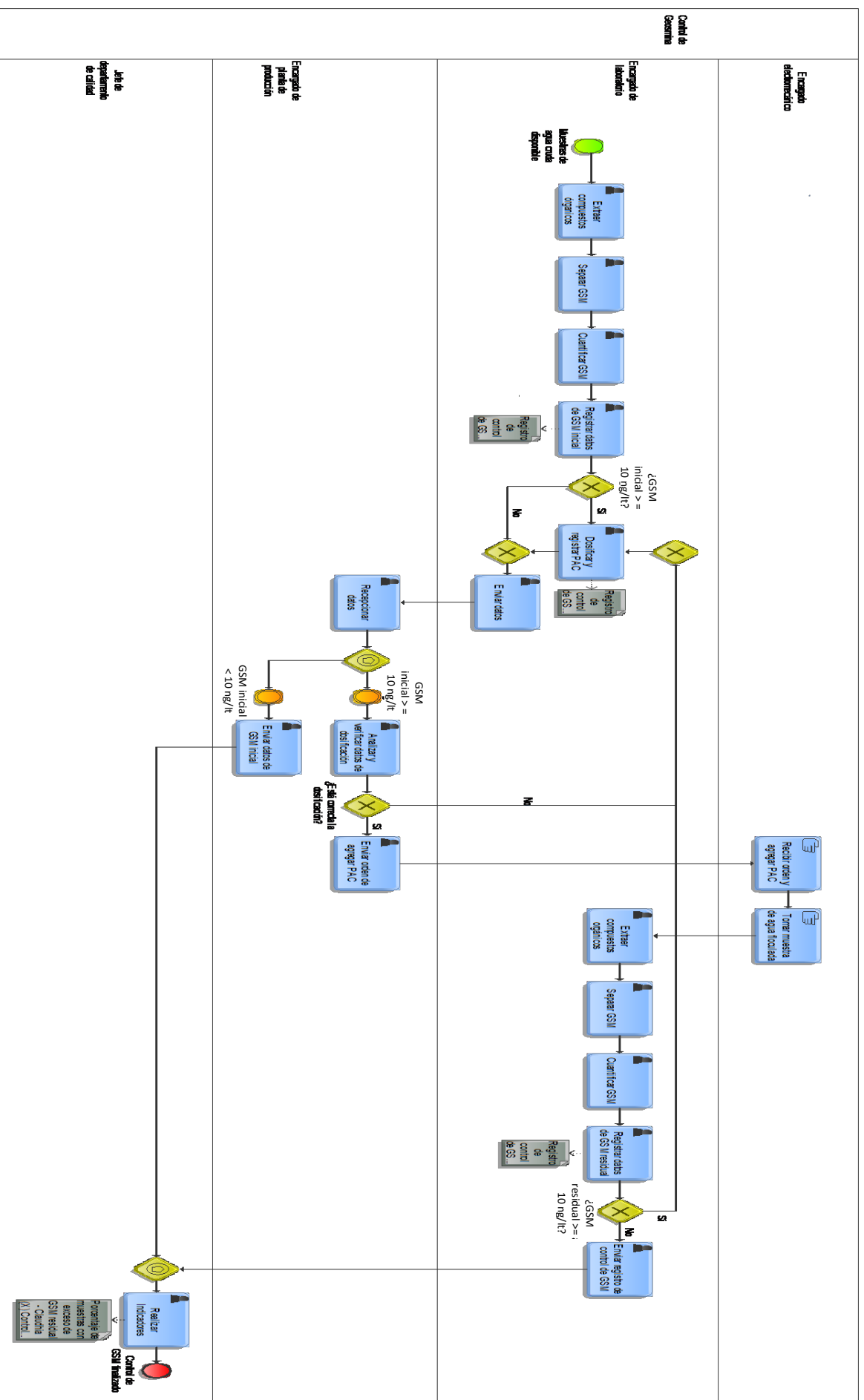
Analizar y verificar datos de dosificación	Si la Geosmina inicial es mayor o igual a 10 ng/lit, el encargado de planta de producción analiza y verifica que los datos de dosificación estén correctos para enviar la orden de agregar PAC. En caso que la dosificación esté errónea, el encargado de laboratorio debe volver a determinar la cantidad a utilizar de PAC.	Usuario	Encargado de planta de producción	¿Está correcta la dosificación? - No: Dosificar y registrar PAC; Si: Enviar orden de agregar PAC;	No hay registros ni instructivos
Enviar orden de agregar PAC	El encargado electromecánico recibe la orden de agregar el PAC con la cantidad determinada y procede a agregar el PAC en el tornillo sin fin en el subproceso de coagulación y floculación, para eliminar la Geosmina.	Usuario	Encargado de planta de producción	Recibir orden y agregar PAC;	No hay registros ni instructivos
Recibir orden y agregar PAC	El encargado electromecánico recibe la orden de agregar el PAC con la cantidad determinada y procede a agregar el PAC en el tornillo sin fin en el subproceso de coagulación y floculación, para eliminar la Geosmina.	Manual	Encargado electromecánico	Tomar muestra de agua floculada;	No hay registros ni instructivos
Tomar muestra de agua floculada	El encargado electromecánico realiza toma de muestra de agua floculada al final del subproceso de coagulación y floculación, cada 4 horas*, para analizar la GSM residual en el laboratorio.	Manual	Encargado electromecánico	Extraer compuestos orgánicos;	No hay registros ni instructivos
Extraer compuestos orgánicos	Una vez disponible la muestra de agua floculada, el encargado de laboratorio extrae los compuestos orgánicos presentes en ella, a través del equipo de purga y trampa, para luego separar la Geosmina.	Usuario	Encargado de laboratorio	Separar GSM;	No hay registros ni instructivos
Separar GSM	El encargado de laboratorio mediante la cromatografía de gases separa la Geosmina del resto de los compuestos orgánicos, para su posterior cuantificación.	Usuario	Encargado de laboratorio	Cuantificar GSM;	No hay registros ni instructivos

Cuantificar GSM	El encargado de laboratorio cuantifica la Geosmina utilizando la espectrometría de masas con el fin de determinar la concentración de Geosmina en el agua.	Usuario	Encargado de laboratorio	Registrar datos de GSM residual;	No hay registros ni instructivos
Registrar datos de GSM residual	Una vez cuantificada la Geosmina residual, el encargado de laboratorio ingresa los datos en la planilla Excel "Registro de control de GSM" y lo agrega a la plataforma SharePoint.	Usuario	Encargado de laboratorio	¿GSM residual >= 10 ng/lit? - No: Enviar registro de control de GSM; Si: Dosificar y registrar PAC;	Registro de control de GSM
Enviar registro de control de GSM	Una vez cuantificada la Geosmina residual, el encargado de laboratorio ingresa los datos en la planilla Excel "Registro de control de GSM" y lo agrega a la plataforma SharePoint.	Usuario	Encargado de laboratorio	Realizar Indicadores;	No hay registros ni instructivos
Enviar datos de GSM inicial	Si la Geosmina inicial es menor a 10 ng/lit, el encargado de planta de producción envía el registro de control de GSM al jefe de departamento de calidad para realizar el indicador.	Usuario	Encargado de planta de producción	Realizar Indicadores	No hay registros ni instructivos
Realizar Indicadores	El jefe de departamento de calidad realiza indicador "Porcentaje de muestras con exceso de GSM residual" relacionado con la información proporcionada por el "Registro de control de GSM", para medir la efectividad del proceso.	Usuario	Jefe de departamento de calidad	Salida: Control de GSM finalizado	Porcentaje de muestras con exceso de GSM residual

Fuente: Elaboración propia

Nota(\*): En esta propuesta se eliminan los métodos organolépticos, umbral de olor y perfil de gusto, dejando de efectuar 12 muestras al día para analizar el parámetro de olor y 12 muestras para parámetro de sabor, debido a la subjetividad del método al depender de la apreciación sensorial de los encargados del análisis. En reemplazo de lo anterior, se propone realizar 6 tomas de muestras al día, analizando la concentración de Geosmina en los equipos de laboratorio mencionados al principio de este capítulo, con el fin de controlar y evitar de esta manera problemas de olor y sabor.

Figura 22: Control de Geosmina



Fuente: Elaboración propia

### 5.4.1 Indicador clave de desempeño (KPI) para el control de Geosmina

Se propone crear un indicador para determinar si el subproceso cumple el objetivo por cual fue creado, es decir, que el agua floculada tenga una concentración de Geosmina menor a 10 ng/lit y poder contar con datos históricos que permitan tener un seguimiento en el tiempo, observando la evolución del desempeño del proceso.

Figura 23: Indicador "Porcentaje de muestras con exceso de GSM residual"

Porcentaje de muestras con exceso de GSM residual	
Propósito del indicador	Sirve para medir la efectividad del subproceso de control de geosmina, de esta manera identificar resultados anormales o actividades mal ejecutadas, con el fin de poder realizar las medidas correctivas necesarias.
ID Indicador	KPI_PS.VII.01.01_GSM
Macroproceso	Control de calidad
Proceso	Gestión de producción de agua potable
Responsable	Jefe de Departamento de Calidad
Ratio	$\frac{\text{Muestra de agua floculada con GSM residual} \geq 10 \left(\frac{\text{ng}}{\text{lt}}\right)}{\text{Total de muestras de agua floculada}} * 100$
Unidad	Porcentaje (%)
Periodicidad	Semanal
Expectativa	0%
Límite de aceptabilidad	5%

Fuente: Elaboración propia

**Capítulo 6: Evaluación Económica**

## 6.1 Costos

En esta sección se detallan los costos asociados a la solución propuesta del control de Geosmina del año 2016.

Uno de los primeros costos es la compra de los equipos de laboratorio necesario en la cuantificación de la Geosmina, estos son: purga y trampa, cromatógrafo de gases y espectrómetro de masas, que suman un monto total de \$75.053.349 que incluye, costo de instalación, mantención y una garantía de 15 meses (Anexo 4). Para el manejo de los equipos mencionados anteriormente, se capacita al encargado de laboratorio por un valor de \$500.000, por lo que no es necesario contratar personal externo. También se debe comprar gas helio para el funcionamiento de los equipos (cromatógrafo de gases, purga y trampa), que en total utilizan 1,76 m<sup>3</sup> al año (Anexo 3), por lo tanto se requieren 2 m<sup>3</sup> de helio lo que equivale a \$70.000, además se arrienda el cilindro que contiene el helio por un valor de \$60.000 anuales, sumando en total un monto de \$130.000.

Otro costo asociado es el carbón activado en polvo adicional que se debe agregar para que la concentración de Geosmina sea imperceptible, pues según el modelo presentado anteriormente existe un déficit de PAC en los meses de enero, febrero, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre que en total es de 104.089,15 kg, que equivale a \$123.304.008.

*Tabla 33: Costos*

<b>Costos</b>	
Equipos de laboratorio (Cromatógrafo de gases, espectrómetro de masas, Purga y trampa)	\$ 75.053.349
Capacitación	\$ 500.000
Gas Helio	\$ 130.000
Déficit PAC	\$ 123.304.008
<b>Costo Total</b>	<b>\$ 198.987.357</b>

*Fuente: Elaboración propia*

## 6.2 Beneficios

En esta sección se detallan los beneficios asociados a la solución propuesta del control de Geosmina.

Actualmente Esval incurre en multas de \$ 364.107.772 por problemas de sabor y olor en el agua potable, con esta propuesta se espera eliminar las multas, considerando el peor escenario, con un margen de error de 5% (Yu-Mi Park, 2005) de la experiencia que equivale a \$18.205.389, de esta manera se genera un ahorro de \$345.902.383.

Además se genera un ahorro en el PAC utilizado, pues al emplear el modelo se observa que en los meses de marzo y abril se ocupó 44.558,33 kg más de PAC del necesario, equivalente a \$52.783.796.

Tabla 34: Beneficios

Beneficios	
Multas	\$ 364.107.772
Error (5%)	\$ -18.205.389
<b>Ahorro Multas</b>	<b>\$ 345.902.383</b>
Ahorro PAC	\$ 52.783.796
<b>Ahorro Total</b>	<b>\$ 398.686.179</b>

Fuente: Elaboración propia

## 6.3 Relación costo – beneficio

Al analizar los costos asociados a la propuesta, se puede observar que de igual manera se genera un ahorro en cuanto a multas y cantidad de PAC utilizado. Esto se visualiza mediante la siguiente relación costo – beneficio:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}}$$

Tabla 35: Relación Costo – Beneficio

Beneficio	Costo	Beneficio/Costo
\$398.686.179	\$198.987.357	<b>2,004</b>

Fuente: Elaboración propia

Esta relación al ser mayor que 1, indica que la propuesta cubre los costos asociados y a su vez genera un beneficio, mediante el ahorro en multas y dosificación de PAC, esto se debe al control de Geosmina propuesto, en el cual se establece la cantidad de PAC correcta a emplear. Siendo esta relación de 2,004 se puede decir que la solución propuesta es viable económicamente y beneficiosa para Esva (Tabla 35).

## **Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones**

## 7.1 Conclusiones

Con este trabajo de título se logró controlar la presencia de Geosmina en el agua potable, mediante el diseño de un subproceso de control de Geosmina para el sistema productivo de agua potable de la planta Concón del zonal de Valparaíso.

Se analizó la situación actual mediante un levantamiento de procesos de la producción de agua potable de la planta Concón, para determinar que el problema se sitúa en la etapa de captación, y se debe abordar en el subproceso de coagulación y floculación, debido que en esta etapa se dosifica el PAC para abatir el problema de sabor y olor, efectuándose actualmente de manera ineficiente, al no tener conocimiento de la cantidad de PAC que controla efectivamente el problema, teniendo como consecuencia multas por parte la SISS o un uso excesivo de PAC.

Con el fin de determinar la correcta dosificación de PAC, se debe cuantificar la Geosmina inicial y de esta manera poder establecer una relación entre ellos, con el propósito de obtener una Geosmina residual menor a 10 ng/lit. Para ello se propuso el empleo de equipos de laboratorio, purga y trampa, cromatógrafo de gases, espectrómetro de masas, con la finalidad de extraer, separar y cuantificar la Geosmina.

Se utilizó una ecuación que establece la relación entre la Geosmina inicial, PAC y la Geosmina residual, a partir de esto, se analizan sus comportamientos con datos basados en estudios y entregados por Esval, donde se concluyó que a mayor concentración de GSM inicial, mayor es la concentración de PAC necesario para que sea imperceptible, considerándose una relación directamente proporcional y a mayor concentración de GSM residual, menor es la cantidad de PAC utilizado, siendo una relación inversamente proporcional.

Se diseñó un subproceso de control de Geosmina donde se integran todas las actividades nombradas anteriormente, con el objetivo de cuantificar la Geosmina para determinar la correcta dosificación de carbón activado en polvo, logrando que la concentración de Geosmina residual sea inferior a 10 ng/lit, y entregar esta información al sistema productivo de agua potable de Concón. Además se creó un indicador para medir la efectividad de este subproceso, generando datos históricos que permitan realizar un seguimiento e identificar anomalías para la mejora de éste.

Finalmente se evaluó la propuesta mediante la relación costo - beneficio, considerándola viable económicamente, teniendo que aumentar el consumo de PAC en \$70.520.212 para lograr reducir las multas en \$345.902.383. Con esto se logra mejorar la calidad del agua potable y a su vez aumentar la satisfacción de los clientes entregando un servicio de calidad, ya que solo 36% de los clientes encuestados en estudio realizado por la SISS se encuentra satisfecho por la calidad del servicio<sup>7</sup>.

## 7.2 Recomendaciones

- Considerando los resultados obtenidos, se recomienda la implementación de la solución propuesta en la planta Concón de Esva, con el fin de controlar la Geosmina, pues se utiliza un método cuantitativo, que es objetivo y establece una relación entre las variables de concentración de Geosmina inicial y concentración de carbón activado. Lo mencionado anteriormente está respaldado por estudios de otras plantas potabilizadoras, que obtuvieron resultados positivos y porque la solución presenta una mejora en el servicio sanitario.
- Mantener un stock de seguridad de carbón de activado en polvo, especialmente en los períodos de mayor concentración de Geosmina (verano y primavera).
- Realizar mantenciones tanto a los equipos de laboratorio, como al tornillo sin fin, para que el proceso de control se realice de manera correcta, y de esta forma obtener resultados certeros.
- Se sugiere utilizar la información otorgada por este método al momento de determinar la cantidad necesaria de carbón activado en polvo para los próximos años, manteniendo de esta manera un control de costos de carbón activado.
- Este control se puede replicar en otras plantas potabilizadoras de Esva, como también en su filial Aguas del Valle, que presenten problemas de Geosmina.

---

<sup>7</sup> Estudio de percepción de clientes de la calidad de servicio de las empresas sanitarias 2016, SISS, Región de Valparaíso.

### Referencias bibliográficas

- Aguas Cordobesas S.A. (2013). Determinación de Geosmina en aguas utilizando SPME con GC-MS. Argentina.
- Aguas Corrientes S.A. (2013). Carbón activado para la remoción de metabolitos algales en planta potabilizadora. Argentina.
- Avelina Miranda, Olga Martín. (2013). *Cromatografía líquida (HPLC)*.
- Borrayo, Bertha María Mercado. (2007). Estudio sobre la remoción de cianobacterias y sus metabolitos en la planta potabilizadora Los Berros, Sistema Cutzamala. México.
- Burgos Tan, M.J., Muñoz Rodríguez, D., Carrera Figueiras, C. (2013). Desarrollo y evaluación de un recubrimiento polimérico para su aplicación potencial en la extracción por sorción en barra de agitación SBSE. *Foro de Ciencias Químicas y Bioquímicas*. Yucatán.
- Enrique Ferrero, Susana Navea, Carme Repollés, Jorge J. Malfeito. (2016). Eliminación de Geosmina mediante el empleo de carbón activo en polvo. *XI Congreso Internacional de Aedyr*. Valencia: Acciona Agua S.A.
- Esva. (2016). *Memoria Anual 2016*. Valparaíso.
- Heyer L., Tchownowou P. B., Abdelghani A. A. (1998). Evaluación de técnicas de extracción de Compuestos Organoclorados en Tejidos Biológicos. *XIII Congreso Nacional de Química Analítica*. Campeche.
- Lord Heather L., Pawliszyn Janusz. (1998). Recent Advances in Solid-Phase Microextraction. *Current Trends and Developments in Sample Preparation; Supplement to LCGC*.
- M.C. Gutiérrez, M. Droguet. (2002). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: Identificación de compuestos causantes de mal olor. *Intexter (U.P.C.): Identificación de compuestos volátiles por CG-MS*.
- Marta Guadayol, Montserrat Cortina, Josep M. Guadayol y Josep Caixach. (2016). Estudio de la presencia de geosmina en agua mineral embotellada. *Bebidas Mexicanas*.

- Michael L. C., Pellizarl E. (1988). Development and Evaluation of a Procedure for Determining Volatile Organics in Water. *Environmental Science Thecnology*.
- Norma calidad del agua potable, NCh 409/1 .
- Prado, Grace Patricia Serrano. (2014). *Estudio para el mejoramiento de la calidad del agua que preoduce la planta potabilizadora Aguapen E.P de la provincia de Santa Elena*. Guayaquil, Ecuador.
- Tongpoothorn, W., Sriuttha, M., Homchan, P., Chanthai, S., & .Ruangviriyachai, C. (2011). Preparation of activated carbon derived from Jatropha curcas fruit shell by simple thermo-chemical activation and characterization of their physico-chemical properties. *Chemical Engineering Research and Design*.
- Trojan UV. (2014). *Compuestos que causan Olor y Sabor en el Agua Potable*.
- U.S.E.P.A. (1986). Method 5030: Purge and Trap and Method 8000A: Gas chromatography. *Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Metodhs (SW-846)*.
- Yu-Mi Park, H. P.-J.-K. (2005). Development of the analytical method for 1,4-dioxane in water by liquid–liquid extraction. *Analytica Chimica Acta* .

## **Anexos**

### **Anexo 1: Métodos para el tratamiento de Geosmina**

#### **1. Ozonización**

El ozono es una molécula inestable en solución acuosa y se descompone espontáneamente por un mecanismo complejo que comprende la formación de radicales hidroxilo. Además es un oxidante fuerte capaz de participar en numerosas reacciones químicas orgánicas e inorgánicas. Las reacciones con ozono se pueden producir de dos formas, por oxidación directa que comprende ozono molecular, estas reacciones son muy selectivas, reaccionando rápidamente con algunas especies pero lentamente con otras. Otra forma es la oxidación de compuestos por radicales hidroxilo producidos durante la descomposición espontánea de ozono, no son selectivos, reaccionando rápidamente con un gran número de especies. El radical OH es el oxidante más fuerte.

La ozonización es ampliamente utilizada en el tratamiento de las aguas, tanto potables como residuales. Una de las ventajas de este método, es que permite la eliminación de compuestos orgánicos como inorgánicos, reduciendo el olor, color, sabor y turbidez de las aguas, así como compuestos refractarios (sustancias tóxicas y compuestos farmacéuticos), además oxida hierro, manganeso y sulfuros. Es uno de los desinfectantes químicos más eficientes, ya que requiere un tiempo de contacto pequeño, no altera el pH del agua y mejora la coagulación.

La ozonización posee las siguientes desventajas:

- Requiere un coste inicial alto de equipos y además los generadores demandan mucha energía.
- Puede formar como subproducto óxido nítrico o ácido nítrico, que causan corrosiones en los equipos. También otros subproductos nocivos, entre ellos bromatos y aldehídos.
- Puede producir trastornos en los tejidos humanos y particularmente en los ojos y pulmones.
- Se necesita filtros de carbón activado para eliminar el carbono orgánico biodegradable.

- La vida media del ozono en el sistema de distribución es de 25 minutos a temperatura ambiente, con lo que la ozonización no asegura la limpieza del agua potable, siendo necesario añadir cloro.

## **2. Tecnología de control ultrasónico de algas**

El equipo electrónico produce ultrasonidos, que son transmitidos al agua, destruyendo y previniendo el desarrollo de todo tipo de microorganismos unicelulares como las algas y las bacterias de lagos, estanques, embalses, etc. eliminando incluso los malos olores.

Las ondas ultrasónicas producen vibraciones que viajan en el agua evitando que la célula del alga esté en reposo, lo cual es necesario para su desarrollo y alimentación a través de la vacuola celular.

Los diferentes tipos de algas responden de distintas maneras al tratamiento, algunas algas mueren y flotan hasta la superficie, las que deberán eliminarse con la mayor frecuencia posible (dos veces por semana mínimo), pues dificulta el paso de las ondas de ultrasonido. Otras algas se van hacia el fondo, donde pueden eliminarse con facilidad por medio de una malla fina y se las entierra. Sin embargo hay un tipo de algas que no se destruyen pasan al proceso y se quedan retenidas en los filtros, siendo expulsadas al canal de desagüe en el exterior de la Planta.

Este método será útil aun cuando el agua esté libre de algas, ya que las mismas tienden a volver a crecer sino se las trata. Para funcionar con efectividad el Sistema debe estar en constantemente en funcionamiento las 24 horas del día. La velocidad con que mueren las algas depende de la concentración de algas que hay en su entorno de agua y el tamaño de su dispositivo en relación a la cantidad de agua.

### Ventajas del sistema

- Sin aditivos químicos.
- Reduce componentes fisicoquímicos y biológicos.
- Bajo consumo de energía (máximo hasta 7 watts.).
- Posibilidad de tratar grandes volúmenes de agua.

### Desventaja del sistema

- Alto costo de equipo y software.

- Interviene la fuente de agua superficial, pudiendo causar alteraciones en el medio ambiente.
- Constante mantenimiento.

### **3. Oxidación por rayos UV**

La oxidación por rayos UV es considerada una tecnología avanzada de oxidación, que consiste en transferir energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del organismo (ADN o ARN). La radiación UV es generada por una descarga eléctrica a través de vapor de mercurio, penetra al material genético de los microorganismos y retarda su habilidad de reproducción.

La eficacia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua, la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor.

Ventajas de la oxidación por rayos UV:

- Es eficaz para la desactivación de la mayoría de los microorganismos.
- Es un proceso físico por lo cual no hay necesidad de generar, manejar, transportar, o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos.
- Es de operación y mantenimiento simple, con peligro mínimo de exposición a los trabajadores.
- No agrega químicos tóxicos al agua potable, ni promueve la formación de subproductos mutagénicos ni carcinogénicos.
- No deja sabores desagradables y olores en el agua potable tratada.

Desventajas de la oxidación por rayos UV:

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos microorganismos.
- Algunas veces los organismos pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante un “mecanismo de reparación”, también conocido como fotoreactivación o, en ausencia de radiación, como “reparación en oscuro”.

- El uso de lámparas de vapor de mercurio se consideran al término de su vida útil como un residuo peligroso y altamente tóxico por lo que no se puede considerar como un catalizador “verde” del todo según los principios de la química verde.



### Anexo 3: Cálculo de volumen gas helio

El cálculo del volumen de gas helio se realiza multiplicando el tiempo en que se utiliza el gas helio en cada experiencia de laboratorio por su flujo, luego se multiplica este valor por la cantidad de muestras diarias que son 6, también por la cantidad de días y meses para obtener el volumen anual. Finalmente se realiza la conversión de unidades de ml a m<sup>3</sup>.

*Tabla 36: Volumen gas helio*

	<b>Cromatografía</b>	<b>Purga y trampa</b>
Tiempo (min)	8	20
Flujo (ml/min)	2	40
Volumen de helio (m <sup>3</sup> )	0,03	1,73
<b>Total helio (m<sup>3</sup>)</b>		<b>1,76</b>

*Fuente: Elaboración propia*

## Anexo 4: Cotización de equipos de laboratorio



### COTIZACION

**A: UNIVERSIDAD DE VALPARAISO**

**Proyecto equipo GC-MS**

**At: Señor: Fabian Ferreira Chávez**

CROMTEK SPA tienen el agrado de presentar para su estudio, nuestra propuesta especial SH-EQ-00019/18 para proveer de un EQUIPO GC, MODELO GCMS-QP2020Ultra de la marca SHIMADZU de renombre mundial establecida en Kyoto, en Japón.

Se ha considerado en esta propuesta la siguiente configuración, según lo solicitado:

**Configuración Ofrecida Para GCMS:**

- **Cuerpo Principal: GCMS con inyector SPL Y Detector de MS**
- **Insumos varios para equipo (GCMs )**
- **Librería NIST 2014**
- **Columna Rtx-5ms**
- **Autoinyector con Autosampler**

**Otros Incluidos:**

- **Computador DELL Optiplex: ; Windows XP Media Center Edition 2005, 1MB en RAM, disco duro de 80GB Pantalla Plana 19", Tarjeta video 256 nVidia Geforce, Lector/grabador DVD 16x, parlantes, Mouse y teclado**
- **Impresora láser monocromática**



## COTIZACION

### CAPACITACIÓN:

El Proveedor del equipo incluirá un curso de entrenamiento en las instalaciones para los operadores del equipo asignado. Dicha capacitación se distribuye en 4

Días (4) consecutivos en los cuales se capacitará a los usuarios del equipo en:

- la identificación de las partes del equipo
- cuidados básicos, normas generales de uso, troubleshooting más comunes
- uso de software a nivel básico, lo que incluye creación de usuarios, configuración del sistema, inyecciones prueba, integración, identificación, determinación de peaks, curvas de calibración, secuencias de inyección, manejo de archivos del tipo métodos, datos, secuencias y reportes, ejemplos

La oferta incluye la instalación del equipo en sus dependencias, puesta en marcha, la Garantía de 15 meses y Asistencia Técnica permanente.

La presente propuesta tiene validez hasta de 30 días. Fecha posterior al de validez, estará sujeta a revisión.

Atentamente,

Mineri Venegas Sanhueza.  
Asesor Técnico-División Analítica  
CROMTEK SPA.



## COTIZACION

Atención: Fabián Ferreira Chávez.		Fecha	16-01-2018
Encargado de Laboratorio de Electrotecnia y Física.		Cotización No.	SH-EQ-00019/18
Escuela de Ingeniería Civil Industrial.		Validez	30 días
Teléfono	986281303, 32-2995904.	Fax	
e-mail		Páginas	8

DESCRIPCION OFERTA: CROMATOGRAFO GASEOSO CON DETECCION DE MASA modelo GCMS-QP2020ULTRA.

Nos.	Q'ty	P/N	Descripción
1	1	225-10090-34	<p>GCMS-QP2020Ultra, 230V,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Compuesto de: Cromatógrafo de gases GC-2010plus computarizado con control electrónico de flujos (AFC) y presión (EPC), ajuste de presión hasta 0.01 psi.</li> </ul> <p>Capacidad de crecimiento para 1 inyectores y 2 detectores.</p> <p>Control del instrumento a través de teclado funcional con pantalla integral</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>horno de columnas de alta capacidad</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>Rampas : 11 isotermas y 9 rampas</li> <li>Rango de temperatura: desde ambiente hasta 450°C/min</li> <li>Máxima rampa de temperatura: 250 °C</li> <li>Máximo tiempo de corrida: 9999.99 min</li> <li>Comunicación: Tarjetas LAN- puerto RS-232- encendido y apagado remoto</li> <li>Capacidad máxima del horno: 13.7L</li> <li>Exactitud temperatura: 0.1 °C</li> <li>Control neumático electrónico</li> <li>Tiempo de enfriamiento del horno: de 450°C a 50 °C en 6 minutos</li> <li>Control de 8 zonas calefaccionadas en forma independiente.</li> <li>Máxima temperatura de operación para sistemas auxiliares: 400°C</li> <li>Máxima razón de flujo columna: 15mL/min</li> <li>Equipado con doublé-jet cooling system, este sistema permite reducir el tiempo de enfriamiento desde 450°C a 50 °C en 3.4 minutos</li> </ol>

### COTIZACION

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inyector Split/Splitless para columnas capilares</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control de flujos electrónico: AFC (control avanzado de flujo)</li> <li>2. Ajuste de presión: 0 a 140 psi</li> <li>3. Máxima temperatura de operación: 450°C</li> <li>4. Operación en multimodos: Split, splitless, con purga de septa y gas saver</li> <li>5. Rango de selección de flujo: 0 a 1200 ml/min H2/N2/He</li> <li>6. Rampas: programación de hasta 7 rampas de presión hasta 140 psi.</li> <li>7. Lectura digital y configuración de presión de entrada a la columna, velocidad de flujo de columna, razón de split y otros parámetros (purga de septa, rampas de presión, temperatura y flujo)</li> <li>8. Sistema EASY STOP navigator assists, que permite un fácil y seguro mantenimiento.</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfase de conexión directa de columnas capilares y wide-bore con control independiente de temperatura desde ambiente hasta 350°C.</li> <li>• Largo : aproximado 15 cm</li> </ul> <p>Fuente de ionización de acceso frontal, por impacto electrónico (EI) ionización variable, filamento dual ( dual rhenium coil type con cambio automático) y control independiente de temperatura.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuente de iones removible sin ventear</li> <li>2. Temperatura fuente de iones con calefacción independiente: 100-300°C</li> <li>3. Energía de ionización: 10 a 200 eV</li> <li>4. Corriente de ionización: 5 a 250 uA Tres modos: modo alta concentración, modo estándar y modo de alta sensibilidad</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizador de masas por cuádruplo hiperbólico (metálico) con barras de Molibdeno de alta performance.</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estabilidad de masas: +/- 0.10uma /48h</li> <li>2. Rango de masas: 1.5 a 1090 uma.</li> <li>3. Resolution: <math>R \geq 0.5 A^2</math> (FWHM) en todo el rango de masas</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección cuádruplo: Sistema de "Pre Rods" de fácil limpieza, para preenfocar el rango de iones hacia el cuádrupolo y evitar contaminación.</li> <li>• Detector multiplicador de electrones con lente condensadora y 10Kv</li> </ul>
--	--	--


## COTIZACION

			<p>dinodos de alta energía.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango dinámico: 8*10E6</li> <li>• Sistema de vacío diferencial con dos bombas turbo moleculares de 190 l/seg para la fuente de iones y 170 l/seg para los cuádrupolos y bomba rotatoria rotatoria externa de 30L/min.</li> <li>• Control del sistema de vacío desde el software o desde la pantalla del GC</li> <li>• Máxima Velocidad de barrido de 20,000 uma/seg</li> <li>• Sensibilidad modo scan: 1pg de OFN (octafluoronaftaleno) m/z 272, relación señal/ruido ≥2000 (RMS)</li> <li>• Máximo monitoreo ion 64 canales x 128 groups</li> </ul> <p>1. Tiempo de permanencia en modo SIM programable por el usuario</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requerimientos eléctricos: 220V</li> <li>• Frecuencia : 50/60 Hz</li> <li>• Consumo 3400VA máximo</li> </ul>
2	1	225-13174-92	<p>Software GCMS Solution Versión 4.3 (Inglés)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquisición simultánea en barrido y SIM.</li> <li>• Facil acceso a mantenimiento: fuente, filamentos, lentes, filtros y detector.</li> <li>• Sistema de auto diagnostico que permite al usuario detectar cualquier falla en el instrumento</li> <li>• Control de inyecciones, estado del liner, septas y platos teóricos entre otros.</li> <li>• Evaluación de datos analíticos y parámetros instrumentales</li> <li>• Programa de tiempo de corrida</li> <li>• Compensación de línea base</li> <li>• Procedimiento de operación estándar ( guía paso a paso para mantención de la fuente de iones, inyectores y detectores)</li> <li>• Autotuning del detector para diagnostico</li> <li>• Sistema tutorial de funcionamiento</li> <li>• Incluye Test Suitability</li> <li>• Compatible con el equipo y módulos, con control total del GC y accesorios de fácil manejo (Manuales en español)</li> <li>• Software integrado. Aprobado y certificado GLP, ISO 9000</li> <li>• Sistema de ingreso a través de Password que permite asignar niveles de acceso a los diferentes usuarios</li> <li>• Almacena automáticamente todos los eventos y datos e la cromatografía, antes, durante y después del análisis tanto del equipo como de los datos analíticos , anomalías o desviaciones de métodos</li> </ul>

### COTIZACION

			<p>ya guardados en memoria</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportes después de cada análisis TIC, espectro y pico principal, en forma instantánea sin cambiar de pantalla</li> <li>• Permite el análisis de espectros de masas a partir de espectros típicos.</li> <li>• Permite crear métodos, calibraciones de uno o varios niveles, adquirir datos en tiempo simultaneo al análisis, con un máximo de hasta 2 señales cromatograficas.</li> <li>• Monitoreo continuo de los parámetros del instrumento</li> <li>• Alternativas de informes, resultados, cromatogramas, superposición de cromatogramas, sustraer, ver varios simultáneamente en pantalla.</li> </ul>
3	1	225-10662-92	<p>Unidad RP1, 230V, Incluye una bomba rotatoria (RP1) y conjunto de conexiones. Se instala debajo del mesón donde será instalado el equipo GCMS</p>
4	1	038-00309-26	Bandeja para bomba rotatoria
5	1	042-00124-31	Filtro, EMF3
6	1	221-05619-01	Filtro de gases de tamiz molecular 5A (aprox. 200mL), para eliminar impurezas orgánicas y humedad de todos los gases. Incluye tubo de 1 metro.
7	1	201-48760-05	Cañerías para suministrar gas portador 5 m
8	1	Kit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utility Kit</li> <li>- Tool Kit (herramientas)</li> <li>- Consumibles Kit (Viales, jeringa, ferrulas, septas, liner)</li> </ul>
9	1	Kit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Computador</li> <li>- Incluye impresora laser</li> </ul>
10	1	10230	Columna Rtx-5ms Restek 30m x 0.25mm x 0.25um
11	1	225-05246-91	<p>Base de datos NIST/EPA/NIH, edición 2014 en CD-ROM. Un manual de instrucción (en inglés y japonés). Contiene 247,198 espectros de compuestos generales en biblioteca principal y 27,750 espectros en biblioteca secundaria. Licencia Original con certificado.</p>

### COTIZACION

12	1	221-	<p>Auto sampler con Autoinyector modelo AOC-20IS Capacidad de 150 viales.</p> 
----	---	------	---

TOTAL (A)	\$ CLP	\$	63.490.209
IVA (A)	\$ CLP	\$	12.063.140
TOTAL IVA INCLUIDO	\$ CLP	\$	75.553.349

Importador y Contratista	<p>Razón social : Importadora y Comercializadora BF SpA          Nombre Fantasía: CROMTEK          Giro : Venta de Equipos Científicos y Quirúrgicos          RUT : 76.122.343-7</p>
Moneda	Pesos Chilenos
Forma de Pago	A CONVENIR
Tiempo de Entrega	68 días una vez confirmada la OC y la disponibilidad de fábrica.
Entrega	Dependencias del cliente



### COTIZACION

<b>Importador y Contratista</b>	Razón social : Importadora y Comercializadora BF SpA Nombre Fantasia: CROMTEK Giro : Venta de Equipos Científicos y Quirúrgicos RUT : 76.122.343-7
<b>Instalación y capacitación</b>	Incluida. No Incluye red de gases. Gases Helio 6.0 0 5.5
<b>Garantía</b>	15 meses ante cualquier defecto de fábrica o instalación. No aplica a mal uso, piezas que se desgastan con el uso rutinario o intervención de terceros en la instalación original del equipo.
<b>Detalles</b>	Condiciones Lugar Instalación: Temperatura 4°C a 35°C, Humedad entre 20-85%, sin corrientes de aire y sin incidencia de luz solar directa. Ausencia de Gases corrosivos y polvo, mesón sin vibraciones, de a lo menos 700 mm de profundidad x 1m de ancho, nivelado capaz de soportar el peso del equipo (aprox. 100Kg). Se recomienda tener red eléctrica estabilizada. La garantía no cubre desperfectos derivados de una instalación eléctrica no apropiada. Se requieren un enchufe Chuco para el equipo, más los enchufes para el PC, Monitor e impresora.

**Mineri Venegas  
División Analítica Shimadzu  
CROMTEK SPA**