

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN LOS MOLLES, COMUNA DE LA LIGUA

PARTE 1.

CALIDAD DEL AGUA POTABLE.

ABRIL 2015



ÍNDICE

RESUMEN	4
1 PRESENTACIÓN	5
1.1 Contexto General del Conflicto	5
1.2 Visita de terreno	5
2 OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo General.....	7
2.2 Objetivos Específicos	7
3 METODOLOGÍA.....	8
3.1 Criterios de selección de los puntos de muestreo	9
3.2 Puntos de muestreo.....	9
3.3 Toma y análisis fisicoquímico de muestras.....	11
3.3.1 Materiales.....	11
3.3.2 Instrumentos.....	11
3.3.3 Procedimiento	11
3.4 Bioensayos de toxicidad	11
3.4.1 Materiales.....	12
3.4.2 Instrumentos	12
3.4.3 Procedimiento	12
4 RESULTADOS	14
4.1 Parámetros físicos químicos	14
4.1.1 Olor y Sabor	14
4.1.2 pH, CE y SDT	14
4.2 Bioensayos de toxicidad	15
5 DISCUSIÓN.....	17
5.1 Bioensayos de toxicidad	17
5.2 Riesgo poblacional.....	18
5.3 Análisis de antecedentes de la EAP Los Molles	19



6 CONCLUSIONES	20
7 PROPUESTAS	21
8 CIERRE	22
9 REFERENCIAS	23

ANEXO 1. FICHAS DE MUESTREO.

ANEXO 2. RESUMEN MUESTREO Y RESULTADOS CALIDAD EMPRESA DE AGUA POTABLE LOS MOLLES, PERÍODO 2007-2014.

ANEXO 3. CÁLCULO DE CE A PARTIR DE SDT.



RESUMEN

Los Molles es una localidad turística, perteneciente a la comuna de La Ligua, Provincia de Petorca, Región de Valparaíso.

La preocupación y molestia general de la población de la localidad de Los Molles debido a la mala calidad del agua de consumo, ha generado una serie de manifestaciones de la comunidad, que ha desencadenado acciones legales y medidas sanitarias por parte de las autoridades, las que a la fecha no han dado real solución al problema. Por este motivo y a solicitud de un grupo de los afectados, la ONG Corporación para el Desarrollo de las Ciencias Ambientales (CODECIAM) ha realizado una visita a la zona para la realización de un análisis preliminar de la calidad del agua potable, basándose en los parámetros estipulados en la Nch 409/1.Of2005 sobre Requisitos para el Agua Potable, y en el resultado de bioensayos de toxicidad aguda sobre embriones de peces cebrá, modelo recomendado por la OCDE para ensayos de toxicidad.

Los resultados obtenidos apuntan a un incumplimiento de los parámetros físico-químicos por parte de la empresa que provee agua potable a la localidad de Los Molles, conocida como Agua Potable Los Molles S.A. El incumplimiento se debe a que se encontró niveles de Sólidos Disueltos Totales (SDT) superiores a la norma, los que indican que el agua puede ser clasificada como "moderadamente salina". Además de sabor salobre en algunas muestras de agua, son de interés los resultados de bioensayos, los que indican posibles efectos citotóxicos.

Las propuestas de CODECIAM apuntan a entregar recomendaciones generales de carácter normativo para dar solución a la demanda de un derecho esencial para la vida humana: el agua potable de buena calidad y en cantidad suficiente. La existencia de alta concentración de sales en el agua se asocia a posibles problemas relacionados con intrusión salina, el cual debe ser abordado por la autoridad, para a futuro desarrollar una explotación que sea sustentable en el tiempo y que asegure en cantidad y calidad el recurso hídrico con que cuenta el sector de Los Molles.

El diseño de la planta de agua potable a cargo de la empresa EAP Los Molles S.A., debe ser revisado, con el fin de comparar los parámetros de diseño de la planta con las concentraciones actuales tanto de metales como de parámetros físico-químicos, que permitan definir un plan de acción ante problemas de operación/mantenimiento de dicha planta.



1 PRESENTACIÓN

1.1 Contexto General del Conflicto

La historia del abastecimiento de agua potable en Los Molles no es alentadora: aún, después de 20 años de administración privada del suministro, no se cuenta con una buena calidad del recurso.

A partir del año 1995, la persona jurídica responsable de administrar el servicio de agua potable de Los Molles fue la "Empresa de Agua Potable Los Molles S.A." (E.A.P. Los Molles S.A.), cuyo representante legal era Andrés Obrecht Gómez. Durante este período se denunció la presencia excesiva de Hierro en el agua, situación que se hacía notoria al combinarse este elemento con cloro, generando tinción de la ropa debido a la reacción química que se produce.

Debido a la pésima administración del agua, Andrés Obrecht fue sometido a numerosos sumarios sanitarios, siendo multado en el año 2010. Posteriormente, se le revocó la concesión del suministro a E.A.P. Los Molles, incorporándose un Administrador Provisional designado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (2012). En este escenario, se invirtió aproximadamente 130 millones de pesos en una planta de tratamiento de osmosis inversa que fue inaugurada en Junio del 2013.

Sin embargo, a la fecha, el agua que se obtiene de cualquier llave en Los Molles, no es apta para el consumo debido a la alta cantidad de sales que contiene, y que se perciben simplemente al beberla.

1.2 Visita de terreno

A través de profesionales de diferentes disciplinas, la ONG CODECIAM busca generar información relevante respecto de aspectos técnicos y sociales que puedan ser de utilidad en recursos legales u otros que permitan orientar en la resolución de conflictos ambientales.

Durante los días 8, 9 y 10 de Febrero del presente año, CODECIAM realizó una visita a terreno en el sector urbano de Los Molles, localidad perteneciente a la comuna de La Ligua, en la Región de Valparaíso

Los participantes de la visita fueron:

- Nicolás Inostroza Codoceo – Químico Ambiental
- Javiera De la Paz – Bióloga Ambiental, Mg en Ciencias Biológicas

Durante la visita se generó contacto con la comunidad local que manifiesta preocupación y molestia debido a la percepción de una mala calidad del agua potable suministrada por la empresa "Agua Potable Los Molles". La percepción local apunta a que existen irregularidades y mal funcionamiento de la planta de producción de agua potable, debido a que los mismos usuarios detectan en este elemento un mal sabor (agua muy salada) y en ocasiones turbiedad de la misma, además de una disminución de presión a medida que transcurre el día, lo que responde a una regulación inadecuada del volumen de



almacenamiento dispuesto para la comunidad. Este problema, se acentúa en la época de verano con la llegada de una gran población flotante a ésta localidad, la que demanda una mayor cantidad del recurso.



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Analizar parámetros generales de la calidad del agua de consumo de la localidad de los Molles.

2.2 Objetivos Específicos

- Analizar parámetros del agua relacionados a características organolépticas (pH, SDT, Olor y Sabor) en diferentes puntos de muestreo de la localidad de Los Molles, y del sector Meseta del Chivato de Huaquén, según la Nch 409/1.Of2005 sobre Requisitos para el Agua Potable.
- Realizar un análisis comparativo con la normativa de agua potable vigente (Nch 409/1.Of2005 sobre Requisitos para el Agua Potable) para los parámetros medidos.
- Evaluar la calidad toxicológica del agua mediante ensayos con embriones de pez cebra (*Danio rerio*).
- Entregar recomendaciones orientadas a la autoridad competente, en materia de eventuales incumplimientos de normativas vigentes, potenciales efectos de mediano y largo plazo sobre la salud de la población, y ante problemas asociados a la intrusión salina.
- Generar una propuesta para la acción y fiscalización ciudadana de manera permanente.



3 METODOLOGÍA

Se realizó toma de muestras en 7 puntos distintos dentro del radio urbano de la localidad de Los Molles y en el sector Meseta del Chivato de Huaquén.

La metodología de análisis sobre las muestras de agua se realizó mediante dos (2) procedimientos distintos (ver **Figura 3.1**):

- Caracterización de parámetros físico-químicos y organolépticos.
- Caracterización mediante bioensayos de toxicidad practicada sobre embriones de peces.



Figura 3.1. Esquema resumen aplicado para la caracterización de las muestras de agua.

Para ello se trabajó en terreno y también en laboratorio. El trabajo en terreno consistió en medir la temperatura (T°), el pH y la conductividad eléctrica (CE) en muestras de agua de consumo con un medidor multiparámetro portátil. A su vez, el trabajo en laboratorio consistió en la repetición y extrapolación de las mediciones de CE y SDT, además de un análisis toxicológico mediante bioensayos con las muestras representativas que fueron recogidas y almacenadas.

En la **Figura 3.2** se resumen con detalle las etapas involucradas en cada análisis realizado para la caracterización de las muestras de agua. Ambos métodos involucran aspectos cualitativos y cuantitativos.

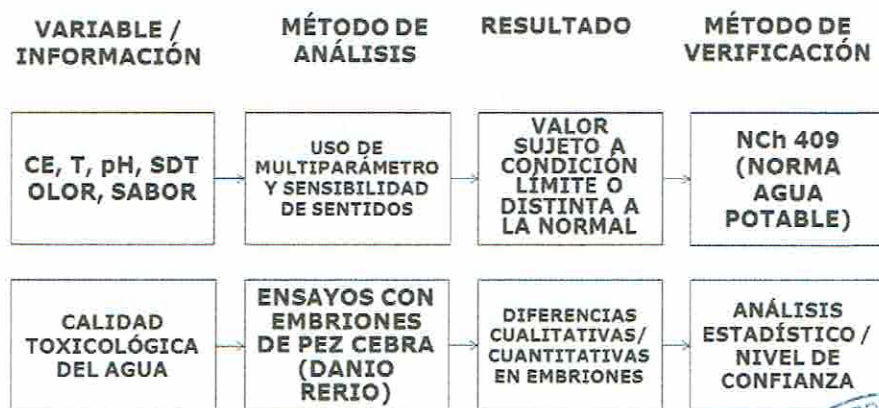


Figura 3.2. Esquema con el detalle de las etapas empleadas para la caracterización de las muestras de agua.



A continuación se señalan los detalles de los puntos de muestreo, equipos utilizados, metodología y análisis de muestras.

3.1 Criterios de selección de los puntos de muestreo

La selección de los puntos de muestreo consideró los siguientes criterios:

- Se muestreó dentro del radio urbano de Los Molles.
- El agua analizada fue proporcionada por el sistema de agua potable, es decir, las muestras fueron tomadas de llaves de cocina de diferentes domicilios.
- Se consideró tanto la zona baja como alta de Los Molles para observar eventuales variaciones en los análisis en diferentes puntos de la red.
- Se tomaron dos (2) muestras en la zona de Huaquén, considerándolos como puntos de comparación por estar ubicados a mayor altura y por corresponder a otra fuente de agua potable (APR).

3.2 Puntos de muestreo

Se seleccionaron cinco (5) puntos de muestreo en el radio urbano de Los Molles (MAP-001 a MAP-005), siendo estos los puntos de críticos en cuanto a la calidad del agua; además de dos (2) puntos en el sector de Huaquén (MAP-006 y MAP-007), cuya agua no es suministrada por la Empresa de Agua Potable Los Molles (EAP. Los Molles) por lo que fueron tomados como puntos de referencia.

En la **Tabla 3.1** se indican las coordenadas de cada punto de recolección de muestra, mientras que en la **Figura 3.3** se aprecia el mapa con la ubicación espacial de dichos puntos.



Tabla 3.1. Coordenadas de los puntos de recolección de Muestras de Agua Potable (MAP).
Coordenadas referidas al DATUM WGS84, Huso 19S.

Punto	Coordenadas UTM [m]		Elevación [msnm]	Localidad
	Este	Norte		
MAP-001	263736	6431085	11	Los Molles, sector bajo.
MAP-002	263597	6431087	11	Los Molles, sector bajo.
MAP-003	262959	6430135	30	Los Molles, sector alto.
MAP-004	262885	6430233	30	Los Molles, sector alto.
MAP-005	263015	6429880	16	Los Molles, sector bajo.
MAP-006	264723	6431187	50	Huaquén.
MAP-007	264460	6431009	43	Huaquén.

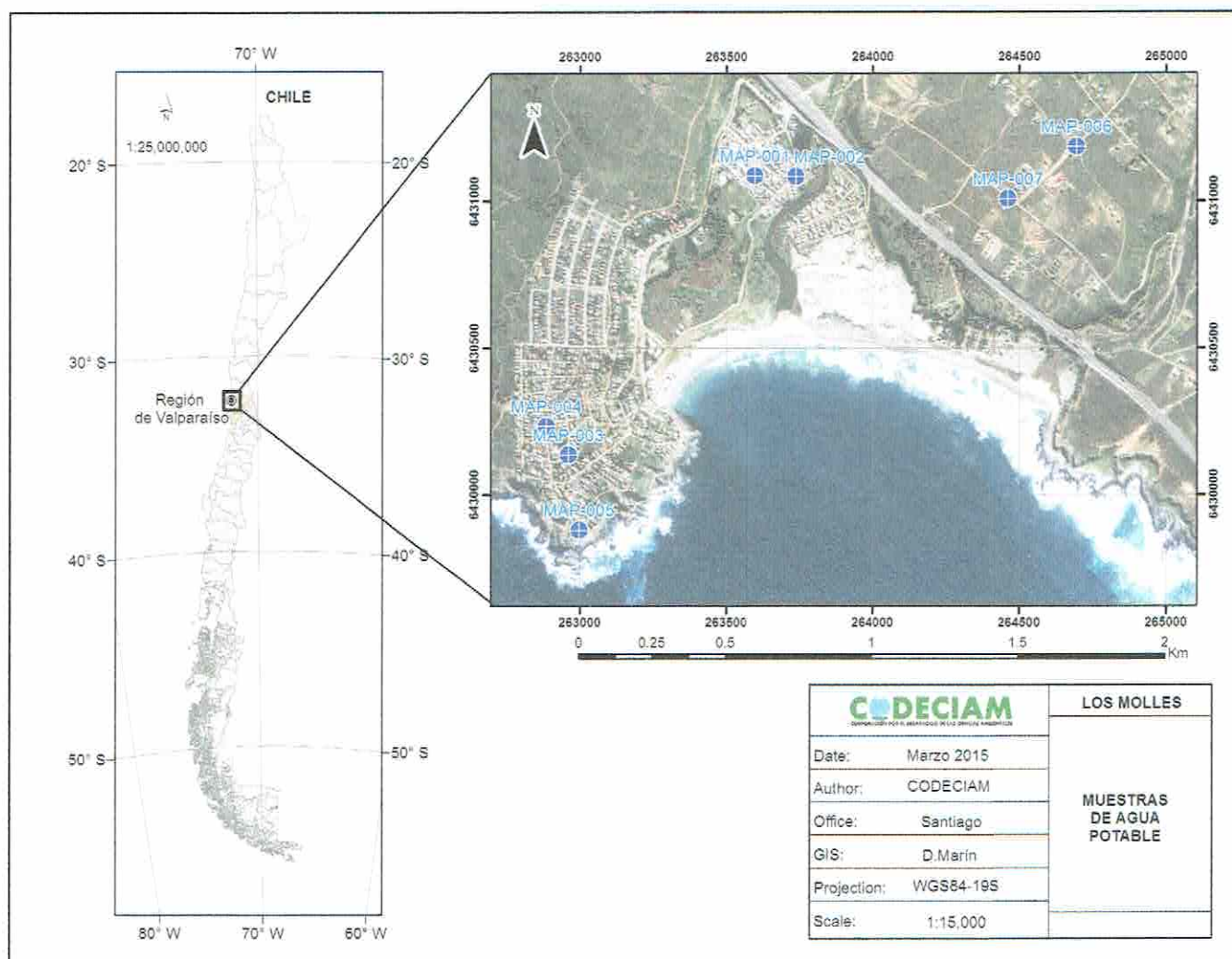


Figura 3.3. Mapa con la ubicación de los puntos de recolección de Muestras de Agua Potable (MAP).



3.3 Toma y análisis fisicoquímico de muestras

La toma de muestras y el análisis en terreno se realizó siguiendo procedimientos estándares para asegurar una correcta recolección de datos.

3.3.1 Materiales

- Frascos plásticos de alta densidad de 200 ml
- Agua destilada
- Papel secante
- Fichas de muestreo

3.3.2 Instrumentos

- **Medidor multiparámetro:** Para medición de los parámetros de agua tanto en terreno como en laboratorio se utilizó un medidor multiparámetro portátil (Hanna Instruments, modelo HI98129) capaz de medir en los rangos y con las precisiones detalladas en la tabla siguiente:

Tabla 3.2. Rangos de medición y precisiones del medidor multiparámetro portátil (Hanna Instruments, modelo HI98129).

Parámetro	Rango de medición	Precisión
pH	0-14	± 0,05
Conductividad Eléctrica	0 -3999 μ S/cm	± 2%
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	0-2000 ppm	± 2%

- **GPS:** Cada punto de muestreo fue georreferenciado mediante GPS navegador en sistema de coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator, Datum WGS 84) y Huso 19 sur.

3.3.3 Procedimiento

Para la toma y análisis de las muestras de agua se realizaron los siguientes pasos:

- Se lavó 3 veces el recipiente de 200 mL para ambientar con la muestra que sería analizada.
- Se realizaron 3 mediciones in-situ de Tº, pH y C.E. mediante el uso del equipo portátil.
- Se lavó con agua destilada el equipo después de cada medición.
- Se realizó el registro escrito de las condiciones de muestreo (Ver **Anexo 1**).

3.4 Bioensayos de toxicidad

Los bioensayos de toxicidad fueron realizados en el laboratorio Zebrafish for Innovation and Research, de la facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.



3.4.1 Materiales

- Huevos fertilizados de pez cebra (*Daniorerio*).
- Placas multipocillo esteriles de poliestireno(NestBiotechnology Co.)
- DiAsp (4-(4- diethylaminostyryl)-N-methylpyridiniumiodide).
- Tricaina (MS-222, Ethyl 3-aminobenzoatemethanesulfonatesalt, Sigma).
- Pipetas desechables graduadas de 10ml.
- Placas de Petri.

3.4.2 Instrumentos

- Estereocopio binocular de bajo aumento (lupa).
- Microscopio de fluorescencia (Olympus, MVX10).
- Medidor multiparámetro(Hanna Instruments, modelo HI98129).

3.4.3 Procedimiento

Para la realización de los bioensayos se realizaron los siguientes pasos:

- Las muestras llevadas al laboratorio fueron almacenadas a -20°C (MAP002 y MAP 007), y fueron descongeladas a temperatura ambiente desde la noche anterior al día de inicio del ensayo.
- Huevos frescos de pez cebra fertilizados fueron obtenidos de cruces de reproductores adultos en la mañana del ensayo, y fueron seleccionados bajo la lupa dejando fuera cualquier huevo anormal o retrasado en su desarrollo.
- Las muestras ya descongeladas fueron temperadas a 26°C , previo a la incubación.
- Para el bioensayo de toxicidad aguda, seis grupos de 10 embriones fueron incubados en 5 ml de cada una de las muestras en placas multipocillo, e incubadas durante 5 días a 26°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$). El medio de incubación fue cambiado por uno fresco, cada 24 horas.
- Diferentes efectos letales y sub-letales fueron cuantificados diariamente en cada uno de los individuos: muerte, éxito en la eclosión¹ y presencia de edemas.
- El cuarto día del ensayo, se realizó un ensayo específico de neurotoxicidad periférica para ello, dos de los seis grupos de individuos expuestos a cada muestra, fueron sometidos a una tinción con el colorante vital DiAsp, el que es incorporado exclusivamente por células sensoriales superficiales, permitiendo la visualización y cuantificación *in vivo* de los órganos de la línea lateral² que son funcionales, utilizando un microscopio de fluorescencia. Se cuantificaron solo los

¹La eclosión es el escape de los embriones desde el huevo, transformándose en larvas capaces de nadar.

²Peces y anfibios poseen un sistema sensorial (sistema nervioso periférico) expuesto al medio externo, que es capaz de detectar el movimiento del agua, llamado línea lateral. Sus órganos poseen células muy similares a las del oído humano, que corresponden a neuronas sensoriales capaces de detectar movimiento y son altamente sensibles a varios tipos de contaminantes, dejando de funcionar, condición en la que no incorporan el colorante DiAsp.

órganos de la línea lateral posterior (LLp), es decir aquellos presenten en el cuerpo de la larva excluyendo la cabeza (ver figura 3).

- El último día del ensayo (día 5), los individuos de los cuatro grupos restantes fueron anestesiados con tricaina para su examinación y la cuantificación final de malformaciones generales mediante la evaluación de la presencia y morfología de varias estructuras de la larva: vesícula ótica (oído), ojos, aletas pectorales, tubo neural (futuro sistema nervioso central), aleta caudal, saco vitelino (reserva de alimento) y vejiga natatoria (órgano lleno de gas que permite a los peces nadar en diferentes profundidades).
- Los resultados de los ensayos fueron analizados estadísticamente utilizando el software GraphPadPrism®. Para ello se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, seguido de un test de comparación múltiple de Dunnet en el caso del ensayo de neurotoxicidad periférica, y para las respuestas del bioensayo de toxicidad agua, se realizó un test de Kruskal-Wallis, seguido de un test de comparación múltiple de Dunn. En ambos casos se aceptó una probabilidad de error máxima del 5% ($p < 0,05$).



4 RESULTADOS

4.1 Parámetros físicos químicos

4.1.1 Olor y Sabor

En la **Tabla 4.1** se presentan los resultados para los parámetros organolépticos que indica la NCh409/1 (Tabla 7).

Tabla 4.1. Resultados para los parámetros organolépticos, muestras de agua en Los Molles y en Huaquén.

Muestra	Olor	Límite máximo	Sabor	Límite máximo	Evaluación NCh 409/1
MAP-001	sin olor	inodora	salada	insípida	no cumple
MAP-002	sin olor		salada		no cumple
MAP-003	sin olor		salada		no cumple
MAP-004	sin olor		salada		no cumple
MAP-005	sin olor		salada		no cumple
MAP-006	sin olor		sin sabor		cumple
MAP-007	sin olor		sin sabor		cumple

4.1.2 pH, CE y SDT

En la **Tabla 4.2** se muestran los resultados para el pH medido en el área de estudio.

Tabla 4.2. Resultados para el pH medido en Los Molles y en Huaquén.

Muestra	pH	Límite	Evaluación NCh 409/1
MAP-001	7.57	6,5<pH<8,5	cumple
MAP-002	7.53		cumple
MAP-003	7.53		cumple
MAP-004	7.56		cumple
MAP-005	7.53		cumple
MAP-006	7.23		cumple
MAP-007	7.23		cumple

La conductividad eléctrica expresa la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica, dicha capacidad depende de la presencia de iones en la solución (Nodarse y Montalvo, 2010). Teniendo esto en antecedente, sabemos que a mayor conductividad, mayor es la cantidad de iones o sales en una disolución.

A pesar de que no existe una relación constante entre la CE y la presencia de iones o sólidos disueltos (SDT), es posible estimar la cantidad de éstos últimos multiplicando el valor de la CE por un factor de 0,6-0,7, según indica la **Ecuación 4.1**.

$$\text{Ecuación 4.1 } CE [\mu S/cm] \times 0.6 = SDT [ppm]$$



Este cálculo nos permite estimar los SDT en las muestras analizadas en terreno y comparar con la NCh 409/1 (Tabla 7).

Por otra parte, para obtener una estimación de los valores de CE y SDT, se realizaron mediciones en laboratorio de dos muestras, una del sector urbano de Los Molles (MAP-002) y otra de Huaquén (MAP-007). El detalle de este cálculo se presenta en el **Anexo 3**

Se presentan a continuación estos resultados, detallando la estimación en terreno y la medición en laboratorio.

Tabla 4.3. Estimación de SDT, medición de CE y SDT y análisis de cumplimiento de la NCh 409/1.

Muestra	CE [uS/cm]	Medición CE* [uS/cm]	Estimación SDT [ppm]	Medición SDT* [ppm]	Cumplimiento NCh 409/1
MAP-001	>3999	-	>2400	-	no cumple
MAP-002	>3999	6800	>2400	3400	no cumple
MAP-003	>3999	-	>2400	-	no cumple
MAP-004	>3999	-	>2400	-	no cumple
MAP-005	>3999	-	>2400	-	no cumple
MAP-006	1153	-	691,8	-	cumple
MAP-007	1154	980	692,4	488	cumple

4.2 Bioensayos de toxicidad

Los resultados de los bioensayos de toxicidad con embriones de peces cebra, entregan como resultados diferencias significativas en la eclosión y la inflación de la vejiga natatoria de las larvas tratadas, mas no en los niveles de muerte, ni presencia de edemas o malformaciones. Contrario a lo esperado, las muestras de la Meseta del Chivato de Huaquén, presentaron efectos significativos en el bioensayo de toxicidad general, mientras que para los individuos expuestos al agua de Los Molles, no se registraron efectos significativos en el desarrollo embrionario (**Figura 4.1**).

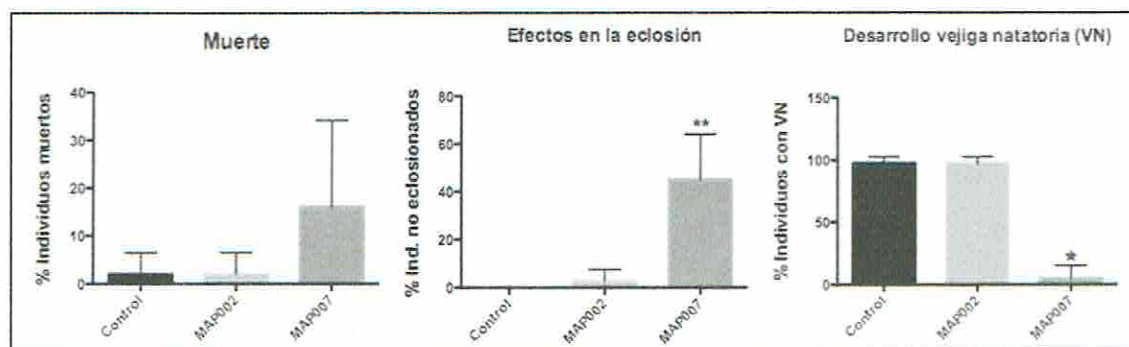


Figura 4.1. Resultados bioensayos toxicidad aguda. Respuestas evaluadas hasta a los 5 días de exposición, con muestras obtenidas de Los Molles (MAP002) y la Meseta del Chivato (MAP007). Sólo esta última genera efecto significativo sobre la eclosión y el desarrollo de la vejiga natatoria. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.



Los resultados del ensayo de neurotoxicidad periférica realizados, arrojan una diferencia significativa en la cantidad de órganos sensoriales funcionales entre los individuos control y aquellos expuestos a MAP002 y MAP007, indicando que estas aguas generan en larvas de pez cebra un efecto de toxicidad sobre células sensoriales (**Figura 4.2**).

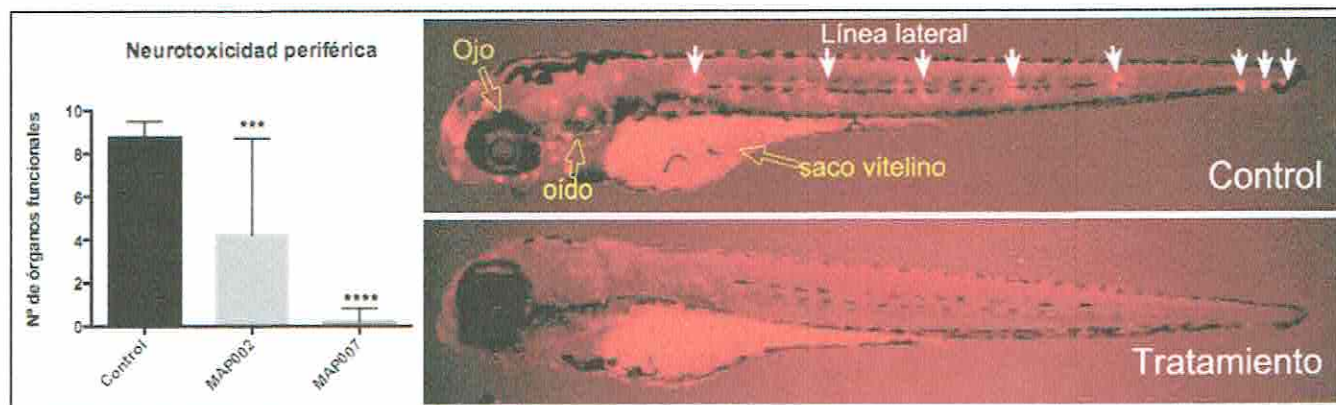


Figura 4.2. Resultados bioensayo de neurotoxicidad periférica. El gráfico a la izquierda muestra los resultados de la cuantificación de órganos sensoriales sanos y funcionales en las larvas, y se ve una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Las fotografías a la derecha son representativas de cómo se ve esta tinción bajo el microscopio de fluorescencia en una larva normal (control) o una larva expuesta a contaminantes (tratamiento), donde no se detecta la tinción fluorescente indicando pérdida de función de las células sensoriales. Las flechas blancas indican a los órganos sensoriales de la línea lateral, mientras las flechas amarillas señalan algunas de los órganos y estructuras que fueron evaluadas morfológicamente. *** $p < 0,001$; **** $p < 0,0001$.

5 DISCUSIÓN

El análisis de los resultados da cuenta de un incumplimiento de dos parámetros en el total de las muestras recolectadas en Los Molles urbano (sectores alto y bajo), estos parámetros son:

- Sabor: se percibe sabor salobre en el agua, situación anómala que impide consumirla, permitiendo usarla, dificultosamente para aseo personal de las personas.
- Sólidos disueltos totales: la estimación de los SDT en una muestra puntual da cuenta de un valor que rodea, al menos los 3400 mg/L, superando ampliamente la norma (1500 mg/L) en la totalidad de las muestras analizadas. Esta condición permiten clasificar como agua "moderadamente salina", por cuanto está en el rango de 3000-10000 mg/L³.

En el caso del pH, los valores para el agua de Los Molles y del sector de Huaquén, no superan el límite máximo de la norma. El agua analizada del sector Meseta del Chivato (Huaquén) no presenta superación de los límites establecidos por la norma en ningún parámetro evaluado.

Es relevante mencionar que si bien la conductividad no es un parámetro considerado en la normativa de calidad de agua potable, debido a que se suele considerar que las fuentes de abastecimiento de agua de consumo, no se caracterizan por poseer altas conductividades; este parámetro sí está considerado en la normativa que establece la calidad de aguas para riego y consumo animal (NCh 1.333 of.78), cuyas fuentes pueden ser más variadas; y en ésta se establece que las aguas con entre 3.000 y 7.500 uS/cm pueden ser usadas sólo para riego de "plantas tolerantes en suelos permeables y con métodos de manejo cuidadosos", es decir, un agua de estas características pueden tener efectos perjudiciales incluso en plantas y suelos, con mayor razón no son aptas para consumo humano.

5.1 Bioensayos de toxicidad

Los bioensayos de toxicidad son una herramienta ampliamente utilizada a nivel internacional para evaluar la toxicidad de compuestos químicos aislados, de muestras ambientales complejas y de aguas para distintos usos. Organizaciones como la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU⁴ (EPA), y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) recomiendan el uso del pez cebra para la realización de bioensayos y su utilización en la evaluación de riesgos a la salud humana y del medio ambiente. El método utilizado en este estudio se basa en el Fish Embryo Toxicity Test (FET Test), metodología estandarizada y publicada por la OCDE en 2006.

Los resultados arrojados por los bioensayos revelan una mayor respuesta tóxica de los embriones y larvas expuestas a las muestras del sector de Huaquén, aun cuando estas

³Curso CI51I Calidad de Agua, Departamento de Ingeniería Civil, U de Chile, 2005.

⁴ http://www.epa.gov/comptox/download_files/chemical_prioritization/padillaSept28presentation.pdf

muestras cumplen con la normativa de calidad de agua potable en base a los parámetros analizados en este trabajo. Una posible explicación para esto, podría ser la presencia de compuestos de origen desconocido, que no estén presente en niveles altos en el agua de Los Molles, y ante los cuales los embriones de pez cebra son sensibles. Se sabe que estos embriones son muy sensibles a la presencia de cloro libre, generando como efecto aumento en la mortalidad e inhibición de la eclosión, dos respuestas que se presentaron aumentadas en las muestras de agua de Huaquén, respecto a los controles y a las muestras de Los Molles.

El ensayo de neurotoxicidad periférica arroja un efecto significativo en las larvas expuestas a ambas muestras de agua, lo que sugiere la presencia de algún compuesto o sustancia química en una concentración capaz de inducir toxicidad a nivel celular. Existen antecedentes de que la presencia en el agua de metales pesados, fármacos y biotoxinas puede producir este efecto.

5.2 Riesgo poblacional

La población de Los Molles ha vivido desprovista de agua potable que cumpla con los estándares nacionales desde hace al menos 7 años. El mal sabor del agua es un indicador evidente de su calidad inadecuada, lo que ha tenido como consecuencia que en su mayoría, la comunidad se abastezca a sí misma de agua de mejor calidad, ya sea embotellada o bien consiguiéndola localidades vecinas. Esto constituye una práctica desesperada de la población para abastecerse y proteger su propia salud, generando en consecuencia (afortunadamente) una baja ingesta de agua en la población, lo que de no ser así aumentaría el riesgo para la salud de las personas.

La conductividad y sólidos disueltos en las aguas pueden deberse a la presencia de múltiples elementos de naturaleza orgánica e inorgánica, pero sobre todo de iones. Si bien los análisis realizados en este estudio no permiten determinar la composición del agua, las mediciones sobre estos parámetros indicadores, permiten alertar sobre su calidad inadecuada para el consumo humano. Por este motivo, a nivel internacional si se considera la conductividad en los estándares de calidad de agua, y las directrices de la Comunidad Europea (CE) han determinado una conductividad máxima de 2.500 uS/cm como un límite adecuado para proteger a las personas (CE, 1998). El agua de consumo de Los Molles tiene una conductividad que equivale al menos a un 250% de este nivel, lo que considerando la cantidad de tiempo que se ha sostenido esta situación, permite prever un riesgo a la salud de la población.

El evidente sabor salobre del agua muestreada, más la alta conductividad detectada y el hecho de que esta provenga de napas subterráneas cercanas al mar; permite sugerir que probablemente el agua de consumo que abastece a la población de Los Molles está enriquecida con sales de calcio, magnesio, sodio, potasio y cloruros principalmente⁵, los que a su vez resultan en una alta dureza del agua. Múltiples estudios clínicos han sugerido una relación positiva entre la ingesta de sodio y el padecimiento de hipertensión

⁵Esto podría ocurrir por una intrusión salina en la fuente que abastece a la planta de agua potable de Los Molles, es decir, el ingreso de agua de mar hacia la napa subterránea continental.

arterial, la que a su vez se relaciona con un aumento del riesgo a padecer enfermedades cardiovasculares. Aun cuando, gran parte de la población de los Molles no consume directamente el agua que se le provee (y se le cobra), de todos modos la utiliza con fines de aseo, lo que también puede suponer un riesgo para la salud, según estudios que sugieren una relación entre la dureza del agua y el desarrollo de Eczema Atópico en niños de entre 6 y 7 años (Arnedo-Pena y cols, 2007; Mc Nally y cols, 1998).

5.3 Análisis de antecedentes de la EAP Los Molles

Como todas las concesionarias proveedoras de servicios sanitarios y de agua potable de Chile, la Empresa de Agua Potable Los Molles tiene la obligación de realizar muestreos periódicos de calidad del agua. Esta información es controlada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, quien la pone a disposición de la comunidad, publicándola en la sección "Control de la calidad de agua potable" de su sitio web (www.siss.gob.cl).

Los parámetros evaluados mes a mes son: (i) Bacteriológicos; (ii) Turbiedad; (iii) Cloro libre residual; (iv) Parámetros Críticos (tóxicos y organolépticos) y (v) Parámetros No Críticos. En cada caso se evalúa el porcentaje de muestreo y calidad.

En el **Anexo 2** se presenta un resumen de los porcentajes de muestreo y calidad de la empresa EAP Los Molles entre los años 2007 y 2014. Del análisis de esta información se obtienen las siguientes apreciaciones:

- La empresa EAP Los Molles comenzó su entrega de información en el año 2007
- Mayoritariamente, se aprecian bajos porcentajes de muestreo y calidad, con algunas excepciones como es el caso del cloro residual.
- No existen datos para los parámetros críticos en ningún año, por lo tanto se deduce que no se han analizado los parámetros tóxicos ni organolépticos.

Al analizar en detalle la información presentada mes a mes entre los años 2011 y 2014, se observa la escasa información proporcionada para todos los parámetros de manera sostenida. Además de esto, llama la atención que para muchos parámetros donde no aparecen valores promedio, la evaluación señala "cumple". Esta situación requiere, al menos, una aclaración, puesto que se estarían alterando las estadísticas globales.

La historia de la empresa incluye la caducidad de la misma en el año 2012 y la implementación de una planta de osmosis inversa en 2013, que cuenta con "dos filtros de arena y un catalizador especial que elimina elementos como el fierro y manganeso" (<http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-9919.html>). A pesar de la aplicación de esta tecnología, el problema de la mala calidad del agua no se ha solucionado. Probablemente, esta situación se deba a que el agua de los pozos de abastecimiento se han mezclado con agua de mar, por lo tanto, el diseño de la planta de osmosis inversa debiera ser evaluado ya que, según se detalla en la noticia citada, los filtros son para agua de pozo con alto contenido de hierro y manganeso, pero no para agua de mar.



6 CONCLUSIONES

Previo a cualquier análisis físico-químico del agua de Los Molles, se aprecia claramente un sabor salobre en todas las muestras de este sector, lo que implica que esta no es apta para consumo humano.

En todas las muestras tomadas del sector de Los Molles, los SDT y el sabor superan la norma de calidad de agua potable vigente en Chile (Nch 409/1.0f2005).

El análisis de las muestras del sector Meseta del Chivato de Huaquén, no evidenció superación de la norma pertinente en ninguna de las muestras.

Los valores de conductividad eléctrica de las muestras del sector de Los Molles, superan los 6500 uS/cm, valor que si bien no está normado, se encuentra por sobre el valor sugerido como seguro (2500 uS/cm) por los estándares internacionales.

El conjunto de resultados obtenidos permite concluir que el servicio de agua potable local no está entregando un suministro que cumpla los estándares de calidad adecuada, y que el agua de consumo suministrada a la comunidad de Los Molles, no es apta para consumo humano, ni animal.



7 PROPUESTAS

Las propuestas que a continuación se plantean, pueden ser jerarquizadas en diferentes ventanas de tiempo, ya sea corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, la problemática debe ser abordada desde diferentes frentes, por cuanto se está vulnerando un bien básico de las personas.

Desde el punto de vista de la SISS, el derecho del cliente es proporcionar agua potable de buena calidad y en cantidad suficiente. En vista de la mala calidad del agua de Los Molles, es imperante proveer de este recurso a la población, ya sea por medio de camiones aljibe u otro sistema. La situación actual implica perjuicio, ya que las personas se ven en la necesidad de comprar agua, desembolsando dinero por un bien que no posee las cualidades mínimas de calidad definidas por el Estado de Chile.

Desde el punto de vista de las condiciones de la fuente de agua potable, los resultados entregan un diagnóstico preliminar de problemas de intrusión salina en la zona costera de Los Molles. Para abordar esta condición se propone la implementación de un sistema de gestión de los recursos hídricos, basado en la definición de una red de control que permita monitorear la evolución de parámetros químicos y también hidrogeológicos, de tal manera de interpretar de forma conjunta el estado de calidad de los recursos hídricos subterráneos con que cuenta la zona baja del acuífero.

Ante el riesgo potencial de aumento de salinización de las aguas, se propone el desarrollo de un estudio que permita evaluar globalmente la vulnerabilidad al problema de salinización, para a futuro desarrollar una explotación que sea sustentable en el tiempo y que asegure en cantidad y calidad el recurso hídrico con que cuenta el sector de Los Molles.

En relación al diseño de la planta de osmosis inversa a cargo de la empresa EAP Los Molles S.A., se propone una revisión básica en materia de parámetros de diseño versus niveles actuales alcanzados con la calidad actual del agua, de manera de comparar los parámetros de diseño respecto de los original y su funcionalidad en la situación actual. En caso de que los filtros hayan sido diseñados para hierro y manganeso, se deberá solicitar un diagnóstico que indique las condiciones de operación necesarias para extraer las sales del agua, que verifiquen las condiciones indicadas por la Norma Chilena de Agua Potable.

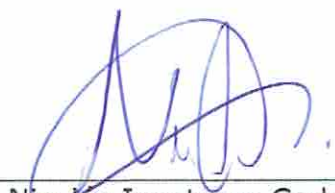


8 CIERRE

Atentamente,

ONG CODECIAM

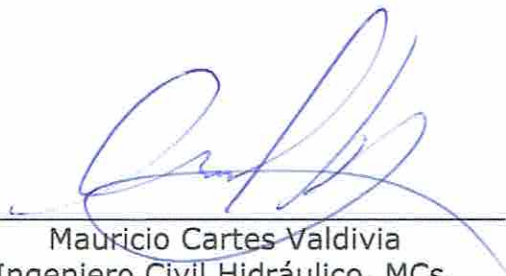
Por:



Nicolás Inostroza Codoceo
Químico Ambiental
Presidente CODECIAM



Javiera De la Paz Montt
Bióloga Ambiental, MCs.
Vicepresidenta CODECIAM



Mauricio Cartes Valdivia
Ingeniero Civil Hidráulico, MCs.
Miembro CODECIAM

9 REFERENCIAS

- Cortés Nodarse, Isel; Montalvo Martinez, Silvio. "Aguas: calidad y contaminación. Un enfoque químico ambiental". Cenma, Abril 2010
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena Oficial 409: Agua Potable, Parte 1: Requisitos. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. 1984.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena Oficial 1.333: Requisitos de calidad de agua para diferentes usos. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. 1978.
- SISS, Superintendencia de Servicios Sanitarios (web: <http://www.siss.gob.cl>)
- OECD. (2006) Guideline for testing of chemicals. Draft proposal for a new guideline. FishEmbryoToxicity (FET) Test. Firstversion.
- Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.
- ISO, International Organization for Standardization. ISO 7346-21:1996. Water quality - Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [Brachydaniorerio Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)] - Part 2: Semi-static method.
- ISO, International Organization for Standardization. ISO 15088:2007. Water quality - Determination of the acute toxicity of waste water to zebrafish eggs (Daniorerio).
- Arnedo-Pena, Alberto, Bellido-Blasco, Juan, Puig-Barbera, Joan, Artero-Civera, Adrián, Campos-Cruañes, Joan Baptista, Pac-Sa, M^a Rosario, Villamarín-Vázquez, Jose Luis, & Felis-Dauder, Carlos. (2007). Dureza del agua de consumo doméstico y prevalencia de eczema atópico en escolares de Castellón, España. Salud Pública de México, 49(4), 295-301.
- McNally NJ, Williams HC, Phillips DR, Smallman-Raynor M, Lewis S, Venn A, Britton J. Atopic eczema and domestic water hardness. Lancet. 1998 Aug 15;352(9127):527-31.



ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN LOS MOLLES, COMUNA DE LA LIGUA

ANEXO 1. FICHAS DE MUESTREO.

MARZO 2015



ÍNDICE

1 FICHAS DE MUESTREO.....	3
----------------------------------	----------

1 FICHAS DE MUESTREO

Tabla 1.1. Ficha de Muestra MAP-001.

Muestra	MAP-001		
Tipo de muestra	Puntual		
Fecha	09-02-2015		
Hora	11.20h		
Lugar de muestreo (coordenadas)	263736 6431085		
Fuente	Consumo		
T° Ambiente	25 °C		
Condición atm	Despejado, Soleado		
Parámetros	Mediciones		
T°	21.2	20.9	20.8
pH	7.49	7.61	7.62
Conductividad (uS/cm)	>3999	>3999	>3999
Observaciones	Agua salada al beber, C.E.fuera de rango del instrumento		

Tabla 1.2. Ficha de Muestra MAP-002.

Muestra	MAP-002		
Tipo de muestra	Puntual		
Fecha	09-02-2015		
Hora	11.45h		
Lugar de muestreo (coordenadas)	263597 6431087		
Fuente	Consumo		
T° Ambiente	26 °C		
Condición atm	Despejado, Soleado		
Parámetros	Mediciones		
T°	20.2	20	20.1
pH	7.47	7.51	7.61
Conductividad (uS/cm)	>3999	>3999	>3999
Observaciones	Agua salada al beber, C.E.fuera de rango del instrumento		

Tabla 1.3. Ficha de Muestra MAP-003.

Muestra	MAP-003		
Tipo de muestra	Puntual		
Fecha	09-02-2015		
Hora	12.30h		
Lugar de muestreo (coordenadas)	262959 6430135		
Fuente	Consumo		
T° Ambiente	28 °C		
Condición atm	Despejado, Soleado		
Parámetros	Mediciones		
T°	21.1	20.9	20.9
pH	7.52	7.53	7.53
Conductividad (uS/cm)	>3999	>3999	>3999
Observaciones	Agua salada al beber, C.E.fuera de rango del instrumento		

Tabla 1.4. Ficha de Muestra MAP-004.

Muestra	MAP-004		
Tipo de muestra	Puntual		
Fecha	09-02-2015		
Hora	12.45h		
Lugar de muestreo (coordenadas)	262885 6430233		
Fuente	Consumo		
T° Ambiente	28 °C		
Condición atm	Despejado, Soleado		
Parámetros	Mediciones		
T°	20.6	20.4	20.5
pH	7.53	7.52	7.64
Conductividad (uS/cm)	>3999	>3999	>3999
Observaciones	Agua salada al beber, C.E.fuera de rango del instrumento		

Tabla 1.5. Ficha de Muestra MAP-005.

Muestra	MAP-005		
Tipo de muestra	Puntual		
Fecha	09-02-2015		
Hora			
Lugar de muestreo (coordenadas)	263015 6429880		
Fuente	Consumo		
T° Ambiente	25 °C		
Condición atm	Nublado		
Parámetros	Mediciones		
T°	21	21.1	21.1
pH	7.52	7.57	7.5
Conductividad (uS/cm)	>3999	>3999	>3999
Observaciones	Agua salada al beber, C.E.fuera de rango del instrumento		

Tabla 1.6. Ficha de Muestra MAP-006.

Muestra	MAP-006		
Tipo de muestra	Puntual		
Fecha	09-02-2015		
Hora	13.25h		
Lugar de muestreo (coordenadas)	264723 6431187		
Fuente	Consumo		
T° Ambiente	29 °C		
Condición atm	Despejado, Soleado		
Parámetros	Mediciones		
T°	23.3	23.3	23.5
pH	7.24	7.22	7.24
Conductividad (uS/cm)	1223	1126	1110
Observaciones	Agua de buen sabor		

Tabla 1.7. Ficha de Muestra MAP-007.

Muestra	MAP-007		
Tipo de muestra	Puntual		
Fecha	09-02-2015		
Hora	13.08h		
Lugar de muestreo (coordenadas)	264460		
	6431009		
Fuente	Consumo		
T° Ambiente	29 °C		
Condición atm	Despejado, Soleado		
Parámetros	Mediciones		
T°	20.9	21	20.9
pH	7.23	7.21	7.24
Conductividad (uS/cm)	1223	1123	1116
Observaciones	Muestra sacada de llave de jardín, buen sabor, sin partículas		

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN LOS MOLLES, COMUNA DE LA LIGUA

ANEXO 2.

RESUMEN MUESTREO Y RESULTADOS CALIDAD EMPRESA DE AGUA POTABLE LOS MOLLES, PERÍODO 2007- 2014.

MARZO 2015



ÍNDICE

1 TABLA RESUMEN EAP LOS MOLLES 2007-2014	3
---	----------

1 TABLA RESUMEN EAP LOS MOLLES 2007-2014

Tabla 1.1. Resumen: porcentaje de muestreo y de calidad informado por la empresa EAP Los Molles entre los años 2007 a 2014.

PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO ACUMULADO SEGÚN SERVICIO Período: 2007 - 2014											
AÑO	SERVICIO	BACTERIOLOGÍA		TURBIEDAD		CLORO LIBRE RESIDUAL		PARÁMETROS CRÍTICOS		PARÁMETROS NO CRÍTICOS	
		MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD
2014	LOS MOLLES	33,3%	58,3%	33,3%	33,3%	0,0%	58,3%	0,0%	0,0%	91,1%	91,1%
2013	LOS MOLLES	41,7%	33,3%	41,7%	58,3%	0,0%	100,0%	No Tiene	No Tiene	47,1%	47,1%
2012	LOS MOLLES	8,3%	0,0%	8,3%	0,0%	33,3%	33,3%	No Tiene	No Tiene	41,3%	41,3%
2011	LOS MOLLES	66,7%	0,0%	66,7%	8,3%	100,0%	91,7%	No Tiene	No Tiene	58,3%	58,3%
2010	LOS MOLLES	58,3%	0,0%	58,3%	0,0%	100,0%	100,0%	No Tiene	No Tiene	57,3%	57,3%
2009	LOS MOLLES	100,0%	66,7%	100,0%	41,7%	100,0%	75,0%	No Tiene	No Tiene	87,9%	87,9%
2008	LOS MOLLES	0,0%	100,0%	0,0%	58,3%	100,0%	100,0%	No Tiene	No Tiene	24,4%	24,4%
2007	LOS MOLLES	25,0%	91,7%	25,0%	75,0%	100,0%	100,0%	No Tiene	No Tiene	91,9%	92,1%

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN LOS MOLLES, COMUNA DE LA LIGUA

ANEXO 3. CÁLCULO DE CE A PARTIR DE SDT.

MARZO 2015



ÍNDICE

1 ETAPAS DESARROLLADAS EN EL CÁLCULO DE CE A PARTIR DE SDT.....	3
--	----------

1 ETAPAS DESARROLLADAS EN EL CÁLCULO DE CE A PARTIR DE SDT

Las etapas desarrolladas para obtener los valores informados son los siguientes:

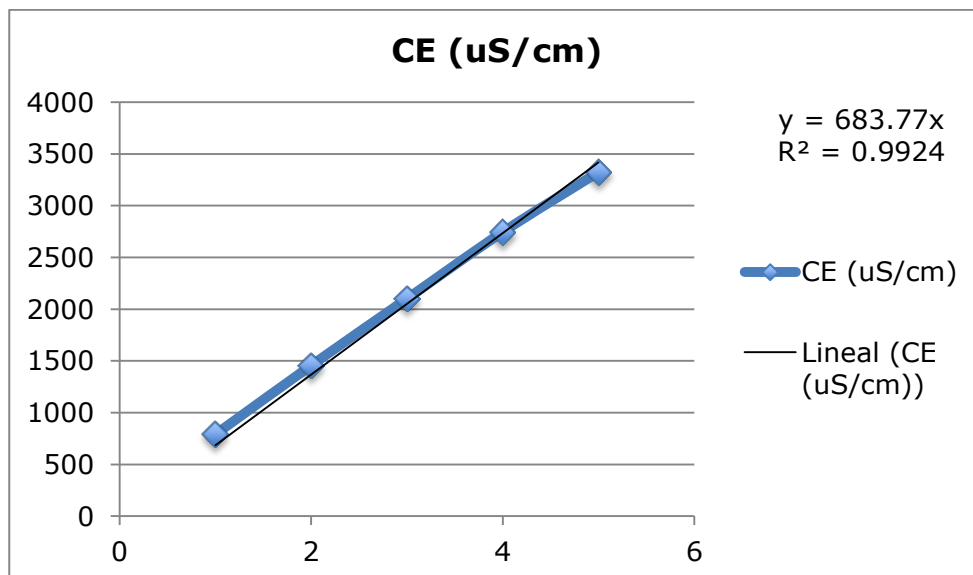
Etapas 1. En primer lugar se realizaron las mediciones de CE y SDT de 5 diluciones.

Dilución	Conductividad (uS/cm)	SDT (ppm)	Temperatura (°C)
LM 10%	790	396	25,3
	790	383	26,2
LM 20%	1454	728	25,5
	1458	728	25,7
LM 30%	2098	1049	25,5
	2104	1051	25,4
LM 40%	2740	1370	25,3
	2750	1374	25,4
LM 50%	3272	1642	25,3
	3377	1667	25,4

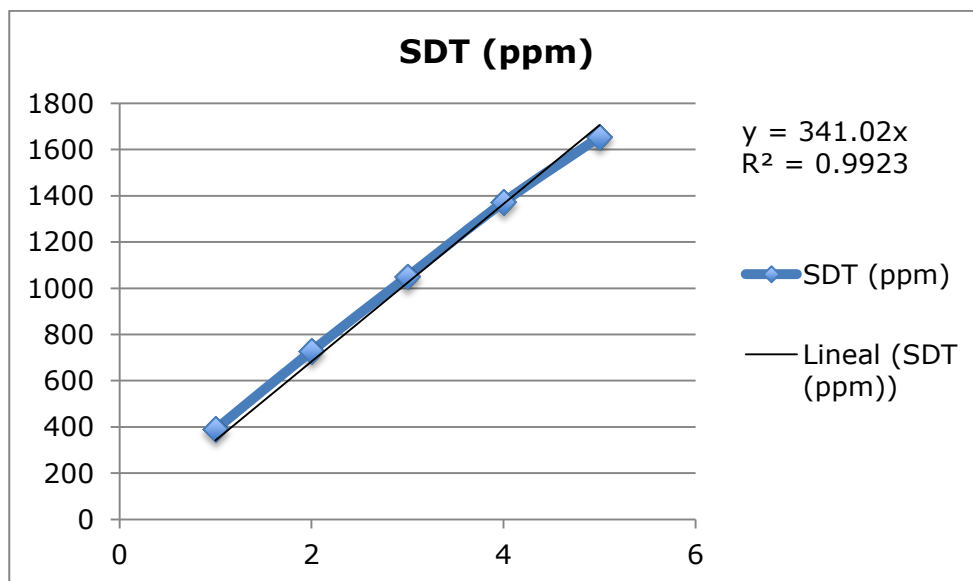
Etapas 2. A continuación se obtienen promedios para cada medición

Dilución	Conductividad (uS/cm)	SDT (ppm)	Temperatura (°C)
LM 10%	790,0	389,5	25,8
LM 20%	1456,0	728,0	25,6
LM 30%	2101,0	1050,0	25,5
LM 40%	2745,0	1372,0	25,4
LM 50%	3324,5	1654,5	25,4

Etapas 3. Con los valores promedio se realizaron los gráficos correspondientes, a partir de los que se obtiene las ecuaciones de la recta para cada uno.



Gráfica 1. Valores de CE (uS/cm) en diluciones de 10-50%



Gráfica 2. Valores de SDT (ppm) en diluciones de 10-50%

Etapla 4. Con las ecuaciones de la recta señaladas se puede extrapolar los valores de CE y SDT de las muestras sin diluir (100%). Se realiza el siguiente cálculo:

Cálculo para CE	Cálculo para SDT
Ecuación: $y = 683,7x$	Ecuación: $y = 341,0x$
Reemplazando: $CE (100\%) = 683,7 \cdot 10$	Reemplazando: $SDT (100\%) = 341,0 \cdot 10$
Por lo tanto: $CE (100\%) = 6837 \text{ uS/cm}$	Por lo tanto: $SDT (100\%) = 3410 \text{ ppm}$

Cabe destacar que los valores de R^2 en ambos casos son 0.992, valor que, al acercarse a 1, indica una mínima desviación de la relación lineal, por lo tanto, podemos decir que los valores extrapolados se acercan a la realidad con un mínimo error.

Etapas 5. Finalmente, al tratarse de una extrapolación, se concluye que los valores aproximados para CE y SDT de la muestra MAP-002 sin diluir son los siguientes:

CE (uS/cm): 6800 uS/cm

SDT (ppm): 3400 ppm