



MINUTA DCPRH N° 215 /

SANTIAGO, 21 DE SEPTIEMBRE DE 2010

MAT.: Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en la Laguna de Aculeo.

1	Objetivo	3
2	Justificación	3
3	Antecedentes generales	3
3.1	Cuenca Hidrográfica	4
3.2	Precipitaciones	5
3.3	Características geométricas	5
3.4	Actividades Económicas (Presiones)	6
3.4.1	Actividad Agrícola y Ganadera	7
3.4.2	Actividad Forestal	7
3.4.3	Actividad Inmobiliaria y Residencial	7
3.4.4	Actividad Turística y Recreación	8
3.5	Evaluación del Estado Trófico de la Laguna	8
3.6	Plan de Gestión Ambiental Participativo para la Cuenca de Aculeo	8
4	Monitoreo de la Laguna Aculeo	9
4.1	Objetivo del Monitoreo	9
4.2	Nuevo Monitoreo a Implementar	9
4.3	Técnicas analíticas, límites de detección.	10
5	Publicación y usos de los resultados	11
6	Conclusiones.....	11
7	Referencias	11
8	Anexos	12
8.1	Anexo 1: Muestreo Actual de la Laguna de Aculeo.....	12
8.2	Anexo 2: Resultados históricos de calidad de aguas relevantes que respaldan la modificación del monitoreo propuesto.....	13
8.2.1	Limitación por Sílice	13
8.2.2	Estratificación de la Laguna Aculeo	13
8.2.3	Estratificación de la Laguna Aculeo de la Laguna Aculeo.....	13
8.2.4	Limitación por Nitrógeno v/s Fósforo	14
8.3	Anexo 3: Sedimentos en la Laguna de Aculeo.....	14

8.3.1	Análisis Relación Agua-Sedimento.....	15
8.4	Anexo 4: Metodologías de análisis para Clorofila y Transparencia	17
8.4.1	Clorofila a: “DGALGOCL1/2009: Método de Análisis Interno DGA. Clorofila a”	17
8.4.2	Transparencia: “DGALGOTR1/2009: Método de análisis interno DGA. Transparencia”	19

1 Objetivo

La presente minuta técnica tiene por objetivo proponer un cambio en el muestreo de calidad de aguas realizado por la Dirección General de Aguas en la Laguna de Aculeo, a fin de que este nuevo monitoreo atienda de mejor manera las necesidades de control del lago.

2 Justificación

La Dirección General de Aguas (DGA) desde el año 1983, comienza con estudios destinados a establecer una red de calidad de aguas en lagos y embalses. La laguna Aculeo se incluye en esta red, efectuándose monitoreos de calidad de aguas trimestral, coincidente con cada período estacional.

La red de calidad mínima de control de lagos, monitoreada por la Dirección General de Aguas, DGA presenta en el la laguna Aculeo 3 estaciones de monitoreo de calidad de aguas (frente casa de bombas, Frente puntilla de Leon, sector desagüe).

Hasta la fecha los datos registrados han sido tomados estacionalmente durante el año, siendo las épocas de muestreo de calidad de agua en otoño, invierno, primavera y verano. Se tienen valores desde el año 1988 hasta la fecha, dentro de los que se encuentran un monitoreo de 8 parámetros meteorológicos (Temperatura ambiental, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento, entre otros) y 24 parámetros físicos, químicos y biológicos (temperatura, conductividad eléctrica, pH, nitratos, fosfatos, Na, K, Cl, DQO, Clorofila “a”, etc.), realizados por el laboratorio ambiental de la DGA. El objetivo de esta red es detectar los cambios que se produzcan de las variables analizadas a través del tiempo

La masa de agua en la laguna de Aculeo tiende a estar completamente mezclada como consecuencia del efecto del viento. Esta mezcla constante (polimixis), provoca un continuo reciclaje de nutrientes entre el sedimento y el agua, generando una mayor productividad (Jeppesen y col., 1997).

3 Antecedentes generales

Como resultado del último evento de mortandad de peces en la Laguna en el año 2006, CONAMA Región Metropolitana contrató un estudio denominado “Diseño y Ejecución de un Programa de Gestión Ambiental Participativo para la Cuenca de Aculeo, Región Metropolitana de Santiago” (CONAMA-CED, 2008), en el contexto del cual se diseñó un “Plan de Gestión Ambiental Participativo para la Cuenca de Aculeo”, el que entregó como recomendación desarrollar una Red de monitoreo integrada de calidad y cantidad de agua.

Por su parte, la Dirección General de Aguas, contrató el rediseño de la red de monitoreo de lagos, consultoría que analizó la información histórica entre los años 2000 al 2008, arrojando como resultado que la Laguna de Aculeo es un sistema hipereutrófico, mezclado durante todo el año, y

recomendando disminuir el número de estaciones y profundidades de muestreo (DGA-POCH, 2009).

Complementariamente, durante el 2009 se realizó una evaluación histórica del monitoreo de la laguna Aculeo a través de la tesis que lleva por Nombre “Estudio de la Calidad del Agua de la Laguna de Aculeo y Análisis de Sedimentos” cuyos resultados determinaron que existe que la calidad del agua de la Laguna de Aculeo en general cumple con los usos del agua entregados en la Norma Chilena 1333, las aguas son aptas para Riego y vida acuática, aún siendo un cuerpo de agua eutroficado, pero no son aptas para recreación con contacto directo.

3.1 Cuenca Hidrográfica

La laguna Aculeo se ubica en la hoya hidrográfica del Maipo y es uno de los cuerpos de agua naturales más grandes ubicados en la Depresión Central de Chile, es un cuerpo de agua endorreico y está ubicada a 50 kilómetros al suroeste de Santiago en la Cordillera de la Costa, comuna de Paine en la región Metropolitana, sus coordenadas geográficas son: 33°50' Latitud Sur y 70°54' longitud Oeste a 360 msnm (CONAMA-CED, 2008) , posee una superficie de 11,5 (Km²), Profundidad media 3,4 (m), Profundidad máxima 7 (m), y el volumen de agua 53,6*10⁶ (m³).

El origen de esta laguna se explica por el afloramiento de aguas subterráneas someras que se encuentran en el sistema acuífero que se conecta con la laguna. Su drenaje natural lo constituye el estero Aculeo, afluente del río Angostura el cual a su vez desemboca en el río Maipo a unos 3 kilómetros al oeste de la localidad de Valdivia de Paine. El estero Aculeo permanece seco durante la época estival y escasamente presenta agua en el invierno; por lo tanto, las pérdidas superficiales a través del desagüe pueden ser despreciadas, ocurriendo principalmente a través de la evaporación. (CED, 2008).

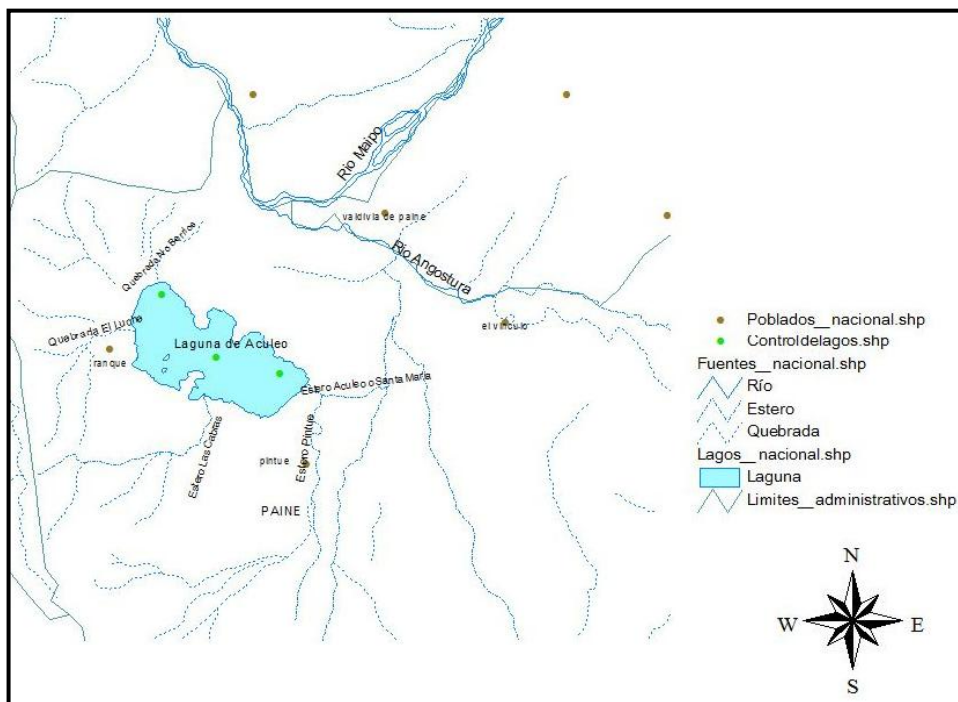
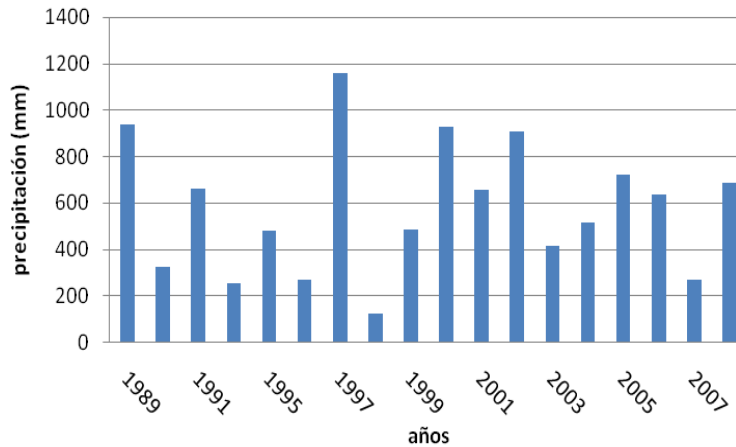


Figura 1 Ubicación laguna Aculeo (Ex Paredes, 2009)

3.2 Precipitaciones

El clima se caracteriza por ser del tipo templado – cálido, con una estación seca de 6 a 8 meses, el nivel medio anual de precipitaciones en la cuenca es de 611 mm, siendo el mes mas frío julio, con temperaturas promedios de 7.6° C, y el más cálido en enero con temperaturas promedio de 20.3° C. Los aportes a la laguna son de origen pluvionival estacional, con máximos pluviales entre julio y agosto, y máximos nivales entre los meses de septiembre y octubre. En la Figura N°2 se grafican los registros de precipitación anual disponible en DGA entre los años 1989 y 2008, en la estación pluviométrica Laguna Aculeo, código BNA 05716005-5.

Figura N°2. Precipitaciones Laguna de Aculeo, periodo 1989-2008 (Paredes, 2009).



3.3 Características geométricas

Las características geométricas de un lago es uno de los factores importantes para determinar la dinámica de un lago tabla N°1. Los parámetros que nos definen la geometría de un lago son el área, el volumen de agua, la profundidad media.

Tabla N°1: Características Geométricas de la Laguna de Aculeo (Fuente: Salazar y Soto, 1999 - Leyton y Parra, 2007)

Superficie	11,5 (Km ²)
Profundidad media	3,4 (m)
Profundidad máxima	5 (m)
Volumen de agua	53,6*10 ⁶ (m ³)

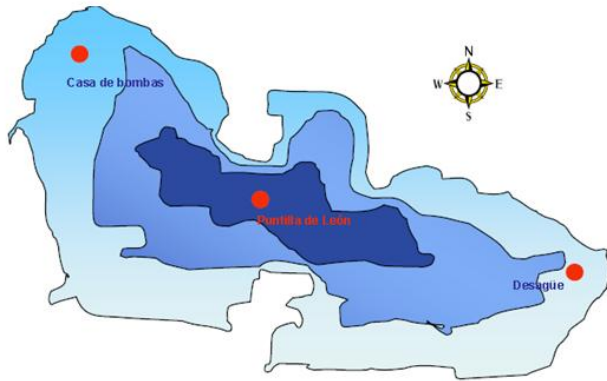


Figura N°3: Batimetría Laguna de Aculeo (CED, 2008)

En la zona central de la laguna (Puntilla de León) tiene una profundidad de 3 a 6 m. Mientras que para el sector Este (Desagüe), la profundidad alcanza 2 a 3 m, y la zona Oeste (Casa de Bombas) la profundidad sólo alcanza los 0-2 m.

3.4 Actividades Económicas (Presiones)

Las actividades económicas desarrolladas en el entorno de la laguna son variadas, incluyen agricultura, turismo, ganadería, forestal, actividad silvopastoril y recreación.

El uso de la tierra alrededor de la laguna y el uso del cuerpo de agua mismo en recreación se han ido incrementando con el tiempo, por lo que la laguna constituye un centro turístico y recreacional de creciente atracción en la actualidad. Las actividades y construcciones recreacionales se dan en todo el entorno de toda la laguna.

Las actividades desarrolladas en los valles situados entre los 300 y 600 msnm, que rodean a la Laguna de Aculeo, presentan muy buenas condiciones climáticas para actividades agrícolas intensivas, como la vitivinicultura y fruticultura, y el establecimiento de agroindustrias (Centro EULA, 2004), actividades que son desarrolladas en las zonas aledañas a la Laguna.

Presiones Antrópicas

- Diversos usos que se le da al agua de la laguna
- Deforestación producida en las riberas y faldeos de los cerros.
- Actividad turística e inmobiliaria en aumento.
- El control hidráulico sobre el estero Pintué, que incide sobre la entrada y/o salida de las aguas.

Características Naturales:

- Condición morfométrica que posee esta zona, ya que la laguna está emplazada en una microcuenca, rodeada de cerros.
- El carácter endorreico que posee, lo que genera un estancamiento del agua elevado, debido a que no posee afluentes y efluentes naturales que hagan renovar las aguas en forma permanente.
- Es un cuerpo de agua somero, favorece la mezcla del sistema agua-sedimento.

3.4.1 Actividad Agrícola y Ganadera

En la cuenca se desarrolla la actividad agrícola intensiva, cultivos anuales tales como trigo en invierno y maíz; y grano seco en verano. Esta actividad es generadora de importantes empleos e ingresos para la población local. La exportación de bienes agrícolas intermedios es también una de las actividades primarias más importantes. Sin embargo, en el último tiempo se ha observado una reducción de las tierras arables, a causa del desarrollo inmobiliario, con efectos tales como la disminución de cultivos anuales y la consolidación de la horticultura y viñedos. Estos usos del suelo se desarrollan en suelos regados de origen sedimentario, con capacidades de uso II y III, principalmente en sectores aledaños a la ribera sur de la Laguna de Aculeo (Centro EULA 2004).

El desarrollo agrícola y turístico afecta en forma importante la condición trófica de la laguna, fundamentalmente por el aporte de fertilizantes a los cultivos y las actividades deportivas acuáticas, esta actividad se desarrolla principalmente en el lado este y oeste de la laguna.

Los sectores destinados a la ganadería, se ubican desde los faldeos de los cerros hasta sus mismas cumbres. El uso ganadero más intensivo se desarrolla gran parte del año en terrenos bajos que presentan pendientes inferiores a un 30%.

La zona de uso extensivo localizada en gran parte del cordón montañoso que rodea a la laguna, en sectores con pendientes que superan el 50%, son utilizadas en los períodos en que disminuye la disponibilidad de forraje en las partes bajas. (Leyton y Parra, 2007).

3.4.2 Actividad Forestal

Esta actividad se destina principalmente a la extracción de madera para leña y carbón. Sin embargo, es una de las actividades que repercuten negativamente en el cuerpo de agua, ya que ha provocado importantes impactos sobre la vegetación nativa, los suelos y la erosión de éstos, incidiendo en la cantidad de sedimentos que entra a la Laguna.

3.4.3 Actividad Inmobiliaria y Residencial

Corresponde principalmente a proyectos inmobiliarios desarrollados alrededor de la Laguna de Aculeo, con una superficie aproximada de 1.316 ha. (Leyton y Parra, 2007). Lo que ha provocado un incremento en la intensidad de uso del suelo. La venta de terrenos aledaños a la laguna, principalmente parcelas de agrado, ha permitido un importante desarrollo de estos proyectos destacando, en la zona oeste y noroeste.

Haciendo una revisión en el Sistema de evaluación ambiental se encontró un sólo proyecto que corresponde a una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del Proyecto “Complejo Turístico Ensenada – Laguna de Aculeo”, Comuna de Paine, sometida por la Inmobiliaria Marina San Francisco S.A. al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, del año 1999 que se encuentra aprobado.

3.4.4 Actividad Turística y Recreación

Se concentra mayoritariamente en los alrededores de la laguna misma, siendo la localidad de Pintué el sector con mayor densidad de ocupación y localización de complejos turísticos.

3.5 Evaluación del Estado Trófico de la Laguna

La trofía de un lago depende principalmente del ingreso de nutrientes desde su cuenca hidrográfica. Se debe conocer esta carga y compararla respecto a la carga crítica o máxima que define la condición de trofía deseada.

Según DGA-POCH, 2009, la laguna de Aculeo está en un estado **hipereutrófica**, con un grado de intervención antrópica alto.

A su vez Paredes 2009 determina que la calidad del agua de la Laguna de Aculeo en general cumple con los usos del agua entregados en la Norma Chilena 1333, esto quiere decir que las aguas son aptas para Riego y vida acuática, aún siendo un cuerpo de agua eutroficado, que contiene altas cantidades de nutrientes como nitratos y fosfatos. Además con los resultados se puede determinar que las aguas de la laguna no son aptas para recreación con contacto directo.

3.6 Plan de Gestión Ambiental Participativo para la Cuenca de Aculeo

Se trabajó en diseñar y crear las condiciones para implementar participativamente un Plan de Gestión Ambiental para contribuir a la conservación de la Laguna de Aculeo y su entorno, dejando establecidas las bases para un trabajo a largo plazo liderado por la Ilustre Municipalidad de Paine. Específicamente, el plan fue diseñado sobre la base de:

- a) El levantamiento y sistematización de información disponible y de la percepción ciudadana respecto del problema ambiental de la Laguna de Aculeo y su entorno
- b) La generación de un dialogo en torno a la problemática ambiental, entre los actores relevantes, que coordine las acciones de los servicios públicos y de la comunidad que vive y/o utiliza la Laguna de Aculeo y su entorno.
- c) La elaboración de una estrategia de gestión ambiental y su plan operativo incluyendo a todos los actores clave del sector.
- d) La proposición de una estructura municipal que gestione a largo plazo la estrategia diseñada, identificando y proponiendo los instrumentos municipales necesarios para su implementación.

En conformidad a los objetivos y productos esperados, el trabajo se desarrolló en las siguientes etapas:

- i) Definición del territorio y área de influencia de la estrategia de gestión
- ii) Elaboración de diagnóstico participativo
- iii) Análisis estratégico de factores clave
- iv) Diseño de visión y estrategia de gestión

- v) Diseño del plan operativo
- vi) Propuesta de estructura institucional e instrumentos de gestión.

Cualquier solución o estrategia que se plantee tanto para mantener valores y calidades ambientales como para remediar condiciones de degradación, depende en gran medida de la relación proactiva que puedan establecer sus habitantes y las instituciones públicas pertinentes con el entorno que los rodea. Esta relación puede verse afectada tanto por la percepción que se tenga respecto de las características y utilidad de los servicios ambientales así como por los potenciales usos que los actores prioricen para la laguna y la cuenca. Todo ello requiere ser analizado en el marco de un proceso participativo que genere los mecanismos de apropiación e integración de las decisiones, y que validen las propuestas de gestión. El enfoque metodológico general para abordar esta situación fue construida sobre la base de criterios que buscaron elaborar una estrategia de gestión ambiental que:

- i) Aporte a la conservación y recuperación de los factores estratégicos que identifiquen a la cuenca de Aculeo
- ii) Promover una gestión integrada de dichos factores
- iii) Promover el desarrollo local sustentable
- iv) Promover una visión común, una cultura de sustentabilidad, y una agenda de gestión integrada entre los actores públicos y privados
- v) Promover espacios para la educación ambiental
- vi) Favorecer el acceso público al conocimiento y disfrute del patrimonio cultural y natural de la zona.

4 Monitoreo de la Laguna Aculeo

4.1 Objetivo del Monitoreo

El objetivo del muestreo propuesto es disponer de información de base en caso de producirse un evento de mortandad de peces, como los ya ocurridos en este cuerpo de agua, a fin de poder informar si el mismo tuvo su origen en una contaminación puntual, o correspondería a un deterioro crónico del cuerpo de agua, sumado a condiciones climáticas desfavorables.

4.2 Nuevo Monitoreo a Implementar

El muestreo presentado tomó como propuesta al muestreo sugerido en los informes listados en el punto 8 de esta minuta técnica.

El muestreo acá presentado, supone que será la Dirección General de Aguas, del nivel central, quien seguirá ejecutando el muestreo.

Respecto a las profundidades de muestreo, se tuvo en cuenta los antecedentes de estratificación del lago.

Tabla N°2: Nuevo Muestreo a Implementar por la DGA en la Laguna de Aculeo, $Z_{MAX} = 7 \text{ m}$

		Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Código BNA
Estación de muestreo	Puntilla de León	323.015 E – 6.253.511 N	05716009-8 (
Periodos y profundidad de muestreo	Finales del Verano (marzo)	0 m/3 m / sedimento	
Parámetros	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia.		
1. Físicoquímicos	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , P-PO ₄ , Fósforo total, Nitrógeno total, DQO <i>(requiere la contratación del análisis o la implementación del mismo en el laboratorio de la DGA).</i>		
2. Nutrientes	-		
3. Macroelementos	-		
4. Microelementos	-		
5. Coliformes	-		
6. Sedimentos	Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica. <i>Se deben contratar los análisis y adquirir los implementos necesarios para el muestreo.</i>		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (3 m) (cel/ml) (composición y abundancia). <i>Se debe contratar el análisis y adquirir los implementos necesarios para el muestreo.</i>		
8. Sedimentos	Materia orgánica, fósforo total, nitrógeno total, granulometría		
Perfil de CTD	-		

4.3 Técnicas analíticas, límites de detección.

Tabla N°3: Métodos de las variables fisicoquímicas Laboratorio Ambiental de la DGA.

PARAMETRO	LÍMITE DE DETECCIÓN	METODOLOGÍA	REFERENCIA
Transparencia	0.5 m	Disco Secchi	DGALGOTR1/2009: Método de análisis interno. Anexo 8.4.
Temperatura		Termométrica	Standard Methods N° 2550 B
Conductividad		Celda de conductividad	Standard Methods N° 2510 B
pH		Electrodo específico	Standard Methods N° 4500-H
Oxígeno Disuelto		Electrodo específico	Standard Methods N° 4500-O G
N- Total	10 ug/L de N	Espectrofotometría de absorción molecular	Standard Methods N° 4500-N C
N-NO3	0,002 mg/L de N-NO3	Salicilato Sódico	Rodier, 1981
N-NO2	0.001 mg/L de N-NO2	Método de Diazotización	SMEWW 19 th Edition, Method 4500-NO2. Hach Method 8507, USEPA Approved
N-NH3	0.01 mg/L de N-NH3	Método Nessler	Hach Method 8038, USEPA Approved
P- Total	3 ug/L de P	Espectrofotometría de absorción molecular	Standard Methods; N° 4500-P E

P-PO4	0,003 mg/L de P-PO4	Método del ácido ascórbico/ E.A.M	SMEWW 19th Edition, Method 4500-P-E. Hach Method 8048, USEPA Approved
Clorofila "a"	0.1 ug/L de Clorofila "a"	Espectrofotometría de absorción molecular	Standard Methods; N° 10200 H DGALGOCL1/2009: Método de análisis interno. Anexo 8.4.
Fitoplancton	<i>A definir en el proceso de contratación de los análisis.</i>		
Sedimentos	<i>A definir en el proceso de contratación de los análisis.</i>	<i>Sugerido: Draga 0.1 m² de mordida</i>	<i>Sugerido: Resolución ambiental vigente SUBPESCA N°3612/2009 numeral 26, 27, 28. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life 2002</i>

5 Publicación y usos de los resultados

Los resultados del monitoreo a efectuar por la DGA, serán publicados en el Banco Nacional de Aguas para uso de la ciudadanía. Con los datos disponibles, se realizarán informes técnicos, a solicitud de algún interesado o cuando se produzcan eventos ambientales que lo requieran.

6 Conclusiones

Se recomienda implementar, a partir de la fecha de la presente minuta, el monitoreo de calidad de aguas que se define en el número 5.

Respecto a la frecuencia del monitoreo, la experiencia histórica de la DGA, y la necesidad de contar con respuestas frente a los eventos críticos que se producen en la Laguna, permiten recomendar que el monitoreo se realice a finales del verano y/o comienzos del otoño, especialmente en años cálidos. El último evento de mortandad de peces masivo ocurrió la segunda quincena de abril de 2006 (comienzos de otoño).

7 Referencias

1. Redefinición de la Red Mínima de Lagos. DGA-POCH 2009
2. Diseño y Ejecución de un Programa de Gestión Ambiental Participativo para la Cuenca de Aculeo, Región Metropolitana de Santiago. CONAMA-CED, 2008
3. Estudio de la Calidad del Agua de la Laguna de Aculeo y Análisis de Sedimentos. Tesis para optar al título de Químico Ambiental de la U. de Chile. Lucero Paredes, 2009.
4. Jeppesen, *et al.* "Top-down control in freshwater lakes: role of nutrient state, submerge macrophytes and water depth" *Hidrobiología* 342/343, 151-164. 1997.

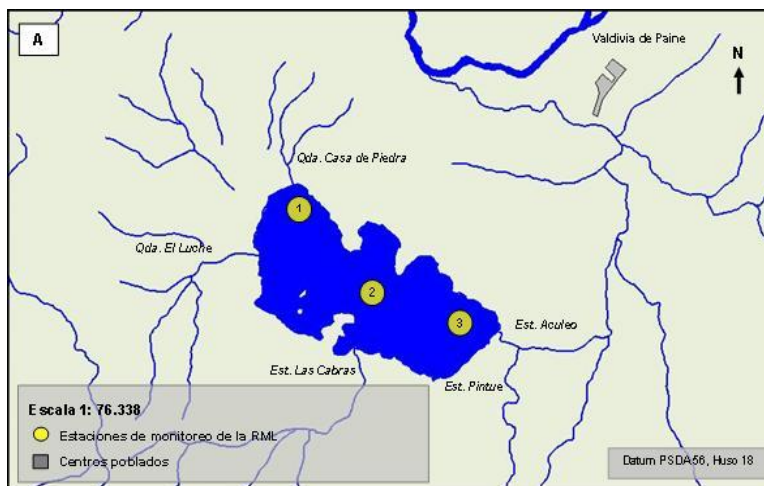
8 Anexos

8.1 Anexo 1: Muestreo Actual de la Laguna de Aculeo.

Tabla N°4: Muestreo actual DGA en la Laguna de Aculeo (modificado de la tabla 53 del informe POCH-DGA 2009)

LAGUNA ACULEO (Z _{MAX} = 6-7 m)	MONITOREO ACTUAL			
	Estaciones	Código BNA (N°)	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Profundidad Máxima (m)
Estación de muestreo	Frente Casa de Bombas	05716008-K (1)	321.306 E – 6.255.512 N	2 m
	Frente Puntilla León	05716009-8 (2)	323.015 E – 6.253.511 N	6 m
	Sector Desagüe	05716010-1 (3)	325.004 E – 6.253.023 N	3 m
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno Otoño Primavera Verano	Superficie (0 m) / Medio 1 (0,1 - 2,5 m) / Medio 2 (2,6 - 3,9 m) / Fondo (4,0 - 5,0 m)		
Parámetros				
1. Físicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia			
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total			
3. Macroelementos	SiO ₂			
4. Microelementos	-			
5. Coliformes	-			
6. Sedimento	-			
7. Parámetros biológicos	<i>Clorofila a</i> (ug/m ³)			
Perfil de CTD (temperatura)	-			

Figura N°3: Estaciones de monitoreo actuales de la Laguna Aculeo: (modificada de figura 48 del informe POCH-DGA 2009)



8.2 Anexo 2: Resultados históricos de calidad de aguas relevantes que respaldan la modificación del monitoreo propuesto

8.2.1 Limitación por Sílice

Utilizando la estadística disponible de la DGA entre los años 2000 al 2008, el informe final de la consultoría “Redefinición de la Red Mínima de Lagos” realizado por POCH Ambiental S.A. para la DGA y publicado en octubre de 2009, muestran la laguna de Aculeo no tiene limitación de producción biológica por sílice. Un valor de la razón Si / NNIT mayor o igual a 2 indica limitación por Nitrógeno y de lo contrario limitación por Sílice. Un valor de la razón Si / PPIT mayor o igual a 14 indica limitación por Fósforo y de lo contrario limitación por Sílice.

Tabla N°5: Determinación del nutriente limitante de la producción biológica. La tabla muestra el valor de las razones Si / NNIT y Si / PPIT (modificada de Tabla 7 del informe POCH-DGA 2009).

Lago	Si / N _{NIT}	Si / P _{PIT}
Laguna Aculeo	2 – 412	149 – 4.567

8.2.2 Estratificación de la Laguna Aculeo

Según DGA-POCH 2009, al no existir información de perfiles verticales de temperatura para la laguna Aculeo, el patrón hidrodinámico fue inferido en función de los valores de oxígeno disuelto y temperatura obtenidos de la base de datos considerando los registros entre 1988 y 2008. **La laguna Aculeo presentaría una columna mezclada durante todo el ciclo anual.** La temperatura superficial promedio en primavera es 24,7 °C y disminuye en profundidad hasta 22,0 °C, diferencia que no genera estratificación. En verano, la temperatura superficial promedio es 26,0 °C y disminuye hasta 22,8 °C lo cual tampoco permitiría generar un metalimnion (Figura 2). Cabe mencionar que en primavera, verano y otoño se observan indicios de un proceso de estratificación el cual no llega a desarrollarse. La baja profundidad del sistema (6 - 7 m) y los vientos predominantes son factores que promoverían una mezcla permanente en el año (Figura 2). **En base a estos resultados es posible indicar que la laguna Aculeo es un sistema polimíctico, condición asociada a la morfometría de la cubeta y al régimen e intensidad de viento en el área.** Este patrón hidrodinámico fue observado en las tres estaciones de muestreo de la DGA: Desagüe, Puntilla León y Casa de bomba.

8.2.3 Estratificación de la Laguna Aculeo de la Laguna Aculeo

El lago no presenta cambios significativos entre las distintas estaciones de monitoreo y las distintas profundidades monitoreadas, comportándose como un cuerpo homogéneo, de baja profundidad y de baja zona eufótica.

Tabla N°6. Ambiente lumínico sub-superficial de la Laguna Aculeo evaluado a través de la profundidad de la Zona Eufótica (ZEUF). (Modificado de la Tabla N°11 del informe POCH-DGA 2009, el que a su vez, estuvo basado en Vila et al. 1986, Montecino (1991), Cabrera & Montecino (1987))

Lago	Estación	Condición hidrodinámica	Zona Eufótica (Z _{EUf} , m)	Z _{EUf} /Z _{MAX} (%)
Laguna Aculeo (Z _{MAX} = 7,0 m) ²	Desagüe	Mezcla (V-O-I-P)	3,0 (0,81 - 9,9)	43
	Puntilla León			
	Casa de Bomba			
	Frente a Hostería			

V = verano, P = primavera, O = otoño, I = invierno

8.2.4 Limitación por Nitrógeno v/s Fósforo

En el informe final DGA-POCH, 2009, se analiza la variación estacional de la concentración del nutriente limitante para producción de biomasa, los resultados indican que la laguna de Aculeo presenta limitación por fósforo en todas las épocas del año, según se muestra en la tabla N°7.

Tabla N°7: Valores de la razón N_{NIT}/P_{PIT} (Razón de Redfield) medidos en la laguna de Aculeo (modificado de la Tabla N°13 del informe final DGA-POCH, 2009)

Sistema	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Laguna Aculeo	P (50 de 53 casos)	P (36 de 37 casos)	P (36 de 41 casos)	P (43 de 52 casos)

8.3 Anexo 3: Sedimentos en la Laguna de Aculeo.

Se presentan a continuación los resultados de las mediciones tomadas por Paredes, 2009, en la componente sedimentos, durante la campaña de monitoreo realizada en octubre de 2008.

Las estaciones seleccionadas por Paredes, 2009, para la toma de muestras de sedimentos, corresponden a estaciones DGA de calidad del agua: Sector Desagüe, Sector Puntilla de León y Sector Casa de Bombas, estudiando las siguientes variables: pH, Conductividad eléctrica, granulometría, P-PO₄, N-NO₃, Materia orgánica (MO), Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻.

Tabla N°8. Resultados de sedimentos de la Laguna de Aculeo.

Parámetro	Estación		
	Sector Desagüe	Frente Puntilla el León	Casa de Bombas
pH	7,6	6,7	5,7
Conductividad eléctrica (dS/m)	0,73	1,04	0,71
Materia Orgánica (%)	2,48	5,86	13,41
Bicarbonato HCO ₃ ⁻ (mg/kg)	223,57 ± 3,99	156,47 ± 15,26	572,28 ± 3,05
PO ₄ ³⁻ (mg/Kg)	16,37 ± 0,08	57,52 ± 0,18	64,15 ± 0.00

Se observó valores de pH medianamente ácido para la estación Casa de Bombas, mientras que neutro para la estación Frente Puntilla León y medianamente básico para Sector Desagüe. En relación con la conductividad eléctrica, los valores encontrados indicaron que los sedimentos contienen altas cantidades de iones, registrándose en la estación que posee la mayor profundidad

(Puntilla de León), el valor más alto de conductividad. Con respecto a la materia orgánica fácilmente oxidable, se encontró que la estación que posee una mayor concentración es la Estación Casa de Bombas, coherente con menor pH. Respecto a los bicarbonatos la menor concentración se registró frente a Puntilla de León, mientras que la estación menos profunda (Frente Casa de Bombas) que registró la mayor concentración.

Respecto a la concentración de cationes, en la Figura N°4, a), se observa que en la estación sector Desagüe predomina el Sodio, mientras que para las otras dos estaciones (Frente Puntilla de León y Frente Casa de Bombas) el catión predominante fue el Calcio. Respecto a los aniones, Figura N°4, b), se observa que predominan el Sulfato y Cloruro en todas las estaciones.

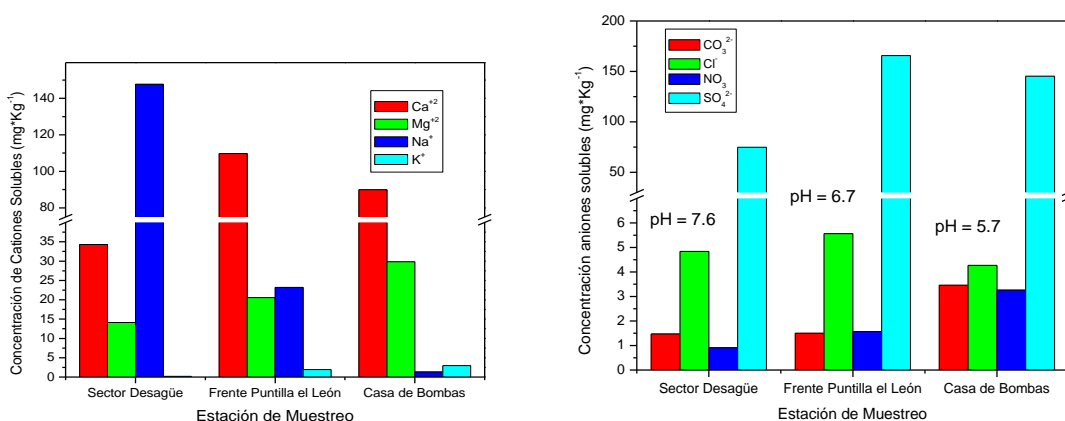


Figura N°4. Concentraciones registradas en sedimentos de la Laguna de Aculeo. a) Cationes; b) Aniones.

8.3.1 Análisis Relación Agua-Sedimento

Tabla N°9: Comparación de resultados obtenidos en agua y sedimentos en la Laguna de Aculeo. Variables Principales y Macroelementos.

Parámetro	Estación								
	Sector Desagüe			Frente Puntilla León			Casa de Bombas		
	Sup.	Prof.	Sed.	Sup.	Prof.	Sed.	Sup.	Prof.	Sed.
pH	7,62	7,43	7,60	7,55	7,20	6,70	7,68	7,55	5,70
CE (uScm ⁻¹)	247,7	247,5	730,0	247,9	249,9	1040,0	248,0	248,0	710,0
DQO (mg/l) / MO (%)	15,0	15,0	2,5	15,0	15,0	5,9	15,0	15,0	13,4
NO ₃ ⁻ (mg/l)	2,42	3,70	1,39	1,90	1,77	1,82	2,16	1,77	1,99
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,013	0,013	0,821	0,016	0,020	2,835	0,016	0,016	3,148
Ca ²⁺ (mg/l)	20,0	19,5	52,5	19,4	19,4	126,8	19,7	19,5	54,9
Mg ²⁺ (mg/l)	10,1	9,6	21,5	9,6	9,9	23,7	10,1	9,9	18,2
Na ⁺ (mg/l)	16,7	16,9	225,7	17,5	17,2	77,1	16,9	16,8	0,8
K ⁺ (mg/l)	2,3	2,2	0,3	2,3	2,5	2,2	2,5	2,5	1,8
Cl ⁻ (mg/l)	7,4	8,4	7,4	8,4	8,0	6,4	8,4	8,4	2,6
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	19,0	19,0	114,3	18,0	18,0	191,3	18,0	16,0	88,7

Sup. = Resultado de la variable en agua superficial (0 m.)

Prof. = Resultado de la variable en agua en profundidad (>3,3 m. para Desagüe y Puntilla el León y 2,5 m. para Casa de Bombas)
Sed. = Resultado de la variable en sedimento (en concentraciones de mg/l, de esta forma son comparables las concentraciones en agua y en sedimentos).

- ✓ pH: En las estaciones Frente Puntilla el León y Casa de Bombas se observó que a medida que aumenta la profundidad, el pH se acidifica, encontrando valores de pH en sedimentos del orden de pH 6 mientras que en Sector Desagüe, el pH en sedimento fue muy cercano a los encontrados en superficie.
- ✓ CE: Se observó claramente que en los tres sitios, la concentración de iones fue mucho mayor en los sedimentos que en el agua, siendo Frente Puntilla de León, la zona donde se registró los más altos valores de conductividad eléctrica.
- ✓ DQO/MO: Se observa que en el agua toda la columna de agua presentó la misma cantidad de materia orgánica. Sin embargo, en el sedimento se encontró una mayor cantidad de material orgánico en Casa de Bombas, luego Frente Puntilla de León y en menor cantidad en Sector Desagüe.
- ✓ Nitrato: Este ión se encontró de forma heterogénea en la Laguna, mientras que en Sector Desagüe hubo una mayor concentración en aguas que en sedimento; en las zonas de Frente Puntilla el León y Casa de Bombas, la cantidad encontrada en sedimentos fue similar a la registrada en la columna de agua.
- ✓ Fosfato: Para esta variable, se observó un comportamiento claro, esto es, en las tres estaciones muestreadas, las concentraciones de Fosfato son mayores en sedimentos que en el agua, encontrando incluso concentraciones 150 veces mayores en sedimento que en agua (Casa de Bombas y Frente Puntilla el León), mientras que en Sector Desagüe está relación fue mucho más estrecha.
- ✓ Calcio: Se observó que en el agua de toda la Laguna, las concentraciones fueron muy similares, no hay grandes diferencias, mientras que en sedimentos la zona con mayor profundidad (Frente Puntilla el León) fue la que presentó una alta cantidad de este catión, mientras que para las dos estaciones restantes, los sedimentos registraron concentraciones similares del orden de 50 mg/l.
- ✓ Magnesio: Para este catión, hubo un comportamiento muy similar tanto en la columna de agua como en los sedimentos, ya que en las tres estaciones, presentaron concentraciones muy cercanas en superficie y en profundidad, con valores que fluctuaron entre los 10,1-9,6 mg/l en superficie, a 9,6-9,9 mg/l en profundidad. Mientras que en sedimentos, fueron del orden de 20 mg/l para los tres sitios muestreados.
- ✓ Sodio: Este ión presentó una gran heterogeneidad en los resultados, ya que mientras en las aguas, este ión se encontró en mayor cantidad en el sector Frente Puntilla el León, en sedimentos se observó que hay grandes diferencias, en Sector Desagüe se registraron valores muy altos de este catión en comparación con el Sector Casa de Bombas.
- ✓ Potasio: Al igual que el Magnesio, este catión se encontró en la columna de agua en concentraciones similares en las tres estaciones, siendo estas cercanas a 2 mg/l, mientras que en los sedimentos superficiales de la Laguna se registraron concentraciones menores a las encontradas en las aguas, las que alcanzaron incluso los 0,3 mg/l en Sector Desagüe. En Frente Puntilla el León, la concentración medida fue muy similar a la del agua próxima.

En tanto en Casa de Bombas se encontró 1,8 mg/l de K⁺ en sedimento, valor menor a los 2,5 mg/l encontrado homogéneamente en el agua superior.

- ✓ Cloruro: Las concentraciones de este anión se presentaron de forma muy regular en toda la laguna; en el agua, las concentraciones estuvieron en torno a los 8 mg/l de Cl⁻, mientras que en sedimento, fueron cercanas a los 7,5 mg/l, a excepción del Sector Casa de Bombas donde se encontró 2,6 mg/l. La concentración más alta en el agua se registró en Casa de Bombas, y la concentración más alta en el sedimento, se encontró en Sector Desagüe.
- ✓ Sulfato: La concentración de este anión se presentó en altas concentraciones en sedimento, observándose la mayor concentración en Frente Puntilla el León, y la menor concentración en Casa de Bombas, mientras que en la columna de agua, tanto en superficie como en profundidad, la concentración de sulfato se presentó sin gran variación.
- ✓ Cabe destacar que el Oxígeno Disuelto no fue medido en sedimento, por lo que no se consideró en esta relación, sin embargo para esta campaña de monitoreo (octubre 2008), el Oxígeno Disuelto presentó valores en profundidad variados, dependiendo del sector, en Sector Desagüe 6,73 (mg/l), en Frente Puntilla de León, 4,97 (mg/l) y en Casa de Bombas, 7,11 (mg/l).

8.4 Anexo 4: Metodologías de análisis para Clorofila y Transparencia

8.4.1 Clorofila a: “DGALGOCL1/2009: Método de Análisis Interno DGA. Clorofila a”

8.4.1.1 Introducción

Las interacciones entre el fitoplancton y los nutrientes pueden analizarse planteando un balance de masas en un volumen infinitesimal. De este modo se obtiene una expresión que permite evaluar la variación temporal en función del comportamiento vegetativo, dado por las tasas de crecimiento y mortalidad, depositación e ingreso neto al sistema. Este indicador es, generalmente, la concentración de clorofila «a», que indica la cantidad de biomasa vegetal presente en el cuerpo de agua. (Thomann y Mueller, 1987).

8.4.1.2 Preparación de material:

El lavado de bidones. Este procedimiento se realiza en primer lugar agregando ácido clorhídrico, luego se enjuaga con agua potable y después con agua desionizada, que ha sido tratada en el laboratorio con un Desionizador EQUILAB Marca Banstread modelo nanopure Diamond de resina.

8.4.1.3 Procedimiento en Terreno:

- a. En terreno se filtran 2 litros de agua a través de un embudo que contiene un filtro de fibra de vidrio de 47 mm de diámetro utilizando una bomba de vacío para agilizar el proceso.
- b. El filtrado contenido, en el filtro de fibra de vidrio se guarda en un sobre debidamente etiquetado (debe contener el nombre de la estación, la profundidad, la fecha de la toma de muestra y el volumen filtrado) en cuyo interior tiene un papel absorbente para extraer la posible humedad que quede.

- c. Se procede a guardar todas las muestras en bolsas negras, manteniéndolas congeladas a -4 °C, las muestras se transportan congeladas hasta el laboratorio y se guardan en los refrigeradores del laboratorio DGA a -39°C.

8.4.1.4 Procedimiento de Laboratorio:

- Se sacan las muestras desde el congelador y se procede a retirar la muestra de las sobres de papel etiquetados en terreno.
- El filtrado más el papel filtro de fibra de vidrio se corta en pedacitos pequeños y se colocan en un tubo con tapa rosca (15 ml) con 10 ml de acetona al 90% utilizando un embudo para no perder muestra.
- Los tubos se cierran y se etiquetan, posteriormente se procede a agitarlos (esto es para extraer la clorofila), se les coloca una capucha negra para evitar la entrada de luz y se llevan al refrigerador, donde se guardan hasta el otro día.
- Al día siguiente se sacan las muestras del refrigerador y se ponen en una centrífuga a máxima potencia una vez terminada esta fase se sacan los tubos y se llevan al laboratorio para su lectura, la lectura se realiza a través de un Espectrofotómetro UNICAM modelo UV 300 con ziper
- Se realizan mediciones de Clorofila "a", "b", "c"; a diferentes longitudes de onda estas son: 750 nm, 665 nm, 645 nm, 630 nm.
- Para realizar las mediciones se procede en primer lugar a calibrar el espectrofotómetro con un blanco que contiene acetona al 90% el espectrofotómetro es llevado a cero.
- A continuación se leen las muestras cada una a las diferentes longitudes de ondas y se obtiene las absorbancias de cada muestra
- Posteriormente a través de la siguiente fórmula se llevan los datos a $\mu\text{g/l}$ o mg/m^3

$$\text{Conc } \mu\text{g/l} = \frac{\text{vol solvente (10 ml acetona 90\%)}}{\text{Vol filtrado (en terreno 2 litros)}} \left[11.6 \times \frac{\text{lect absor 665 nm}}{\text{lect absor 750 nm}} - 2.16 \times \frac{\text{lect absor 665 nm}}{\text{lect absor 750 nm}} + 0.1 \times \frac{\text{lect absor 630 nm}}{\text{lect absor 750 nm}} \right]$$

Nota: El valor a 750nm es la que mide el blanco y es la que corrige los otros valores, la que viene a 665 es corregida con el blanco más la muestra a 750nm.

Si bien no existe límite de detección lo mínimo que marca el espectrofotómetro es 0.001 de absorbancia y con el uso de la fórmula la concentración más baja que se obtiene 0.1 $\mu\text{g/l}$ y se utiliza un solo decimal.

Los valores leídos se traspasan a una planilla Excel la cual esta codificada con un número que es correlativo más la estación del año.

8.4.1.5 Referencias

- THOMANN, R Y MUELLER, J (1987): Principles of Surface Water Quality and Control. Harper & Row, Publishers, New York.

- BAECHELER, JOSÉ & PÉREZ, C (1999): Modelación de calidad de aguas del lago Villarrica y aproximación al problema hidrodinámico VI Jornadas del CONAPHI-CHILE.

8.4.2 Transparencia: “DGALGOTR1/2009: Método de análisis interno DGA. Transparencia”

8.4.2.1 Introducción

Disco Secchi. Desarrollado por el profesor P. A. Secchi en 1965. El disco Secchi es un disco pintado en cuatro secciones alternadas blanco y negro con el fin de medir transparencia, este disco se amarra a una cuerda o cadena graduada cada 0.5 metros y se mide la profundidad en que desaparece de la vista, la distancia es registrada, a medida que el agua es más transparente mayor es la distancia del disco Secchi. Esta técnica es fácil, rápida y barata de medir.

8.4.2.2 Materiales

- Disco Secchi ésta hecho de acrílico y posee un diámetro de 20 cm
- Cadena con marca metálica dibujada bajo relieve con lo cual es imposible que se desvanezca, graduada cada 0.5 metros
- Un observador

8.4.2.3 Etapas de medición de disco Secchi:

- Chequear y asegurarse que el disco este conectado a la cuerda o cadena.
- Observar y colocarse a un costado del bote y bajar el disco Secchi manteniendo la espalda hacia el sol para evitar el deslumbramiento, evitando hacer mediciones al medio día.
- Bajar el disco Secchi hasta que desaparezca de la vista, registrar la distancia, seguir bajando el disco y volver a levantarlo hasta que sea visible y registrar esta distancia, en lo posible realizar las mediciones con el mínimo oleaje, evitando la deriva del bote.
- La medida se realiza tomando como punto máximo la superficie del agua, al medir se toma la cadena y se aproxima a la última medida que indica la cadena antes de salir del agua, no se interpreta aproximadamente cuanto ha medido la cadena.
- Volver a repetir esta actividad 2 veces y promediar las distancias registradas, para obtener una medición de calidad.

8.4.2.4 Observaciones

La clave para obtener resultados claros es la formación del personal para seguir los procedimientos de muestreo y, en lo posible que un mismo individuo tome la lectura en el mismo sitio y en toda la campaña.

Para disminuir el brillo del agua que podría interferir en la medición se recomienda la utilización de un visor, o Lentes que disminuyan el brillo, los resultados se informan con un solo decimal.

MÓNICA MUSALEM JARA , MARYSOL AZÓCAR GUTIERREZ
DEPTO. DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS