Proyecto:

Manejo de la Contaminación en el
Eje Hidrográfico El Alto-Lago Titicaca

Componente:

USO DE BIOINDICADORES ACUÁTICOS
PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD
DE LOS CUERPOS DE AGUA
EN LA CUENCA COHANA

INFORME FINAL

Octubre 2010

DOCUMENTO ELABORADO POR:
Dra. Margot Franken

Contenido

Introducción
Objetivos
Metodología
1 Ensayos ecotoxicológicos y pruebas de bacterias fecales
1.1 Muestreo
1.2 Ensayos con semillas de lechuga
1.3 Ensayos con cebolla
1.4 Pruebas de bacterias fecales sulfurosas
1.5 Limpieza de material
2 Macrófitas
2.1 Observaciones in situ
2.2 Muestreo
2.3 Mediciones preliminares de metales pesados
3 Frecuencia de muestreo y selección de organismos y ensayos
4 Capacitación y transferencia del programa de monitoreo a los beneficiarios
Cronograma
Actividades
5 Compra y preparación de material
6 Salidas de prospección en ríos
7 Definición de puntos de referencia en ríos y descripción de los ríos
8 Definición de puntos de muestreo en ríos y descripción de los ríos
9 Definición de puntos de muestreo en el lago Titicaca
9.1 Salida de prospección en riberas del lago Titicaca
9.2 Salida por bote al interior de la bahía de Cohana, en época seca del año 2009
9.3 Salida por bote al interior de la bahía de Cohana, en época húmeda y seca del año 2010
10 Medición de metales pesados en plantas y sedimentos
Resultados, Discusión y Conclusiones
11 Ensayos ecotoxicológicos con lechuga y cebolla – Resultados
11.1 Ríos de la Cuenca Cohana
11.2 Lago Titicaca – Bahía Cohana, Orillas
11.3 Lago Titicaca – Bahía Cohana, Lago adentro
12 Ensayos ecotoxicológicos – Discusión y conclusiones
13 Pruebas de bacterias fecales - Resultados
14 Pruebas de bacterias fecales – Discusión y conclusiones
15 Macrófitas en la Bahía de Cohana – Resultados
16 Macrófitas – Discusión y conclusiones
17 Resumen de conclusiones
Recomendaciones
Bibliografía

Tablas

Tabla 1: Breve descripción de los métodos ecotoxicológicos

Tabla 2: Referencia de color de las tiras

Tabla 3: Lista de materiales para un Kit completo

Tabla 4: Materiales comprados, pero descartados de la entrega a los beneficiarios

Tabla 5: Resultados de pruebas de bacterias

Tabla 6: Lista de especies de Macrófitas

Figuras

Fig. 1: Río Suriquiña

Fig. 2: Río Katari, río arriba

Fig. 3: Río Seco, arriba del efluente de Puchu Khollo y efluente de Puchu Khollo

Fig. 4: Río Seco, cerca de la Cementera de Viacha

Fig. 5: Río Jalaqueri

Fig. 6: Río Pallina, antes de su entrada a Viacha

Fig. 7: Río Pallina, después de su salida de Viacha

Fig. 8: Río Katari, antes de su confluencia con el río Pallina

Fig. 9: Río Katari, después de su confluencia con el río Pallina

Fig. 10: Río Huancané

Fig. 11: Río Sehuenca, cerca de Batallas

Fig. 12: Puntos de muestreo en orillas del lago Titicaca

Fig. 13: Puerto de Quehuaya

Fig. 14: Participantes de la excursión al lago

Fig. 15: Bote para entrada a los totorales

Fig. 16: Estación 2

Fig. 17: Estación 4

Fig. 18: Ríos en octubre/noviembre 2009; Ensayos con lechuga

Fig. 19: Ríos en abril 2010; Ensayos con lechuga

Fig. 20: Ríos en septiembre 2010; Ensayos con lechuga

Fig. 21: Ríos en octubre/noviembre 2009; Ensayos con cebolla

Fig. 22: Ríos en abril 2010; Ensayos con cebolla

Fig. 23: Ríos en septiembre 2010; Ensayos con cebolla

Fig. 24: Orillas del lago en noviembre 2009; Ensayos con lechuga

Fig. 25: Orillas del lago en noviembre 2009; Ensayos con cebolla

Fig. 26: Pelagial del lago en diciembre 2009; Ensayos con lechuga

Fig. 27: Pelagial del lago en abril 2010; Ensayos con lechuga

Fig. 28: Pelagial del lago en septiembre 2010; Ensayos con lechuga

Fig. 29: Pelagial del lago en diciembre 2009; Ensayos con cebolla

Fig. 30: Pelagial del lago en abril 2010; Ensayos con cebolla

Fig. 31: Pelagial del lago en septiembre 2010; Ensayos con cebolla

ANEXOS

1 Mapas de puntos de muestreo
2 Sitios de muestreo seleccionados (Word)
3 Puntos de muestreo con coordenadas y fechas de muestreo
4 Medición de metales pesados (Reporte del CPTS)
5 Lista de plantas y sedimentos secados para análisis en laboratorio especializado
6 Resultados Lechuga 09 y abril10
7 Resultados Cebolla 09 y abril10
8 Resultados Lechuga sept10
9 Resultados Cebolla sept10
10 Resumen Resultados Lech Ceb oct09, abr10 con gráficos
11 Resumen Resultados Lech Ceb sept10 con gráficos
12 Resultados Bacterias Oct09, Abr10, Sep10
13 Análisis estadísticos
14 Manual didáctico simplificado para el uso por los beneficiarios, con fotos
15 Fotos de las Macrófitas presentes en la Bahía de Cohana

Introducción

La bahía de Cohana recibe contaminantes de diferente origen, especialmente de las ciudades de El Alto, Viacha y de las otras poblaciones de la cuenca de Cohana de menor extensión y densidad poblacional. Se trata de aguas servidas domésticas que constituyen la mayor cantidad, aguas industriales y aguas agrícolas. Las aguas domésticas aportan, entre otros, grandes cantidades de materia orgánica, organismos patógenos y detergentes; las aguas industriales aportan materia orgánica, pero también sustancias tóxicas inorgánicas y orgánicas; mientras que las aguas agropecuarias aportan principalmente nutrientes, materia orgánica, organismos patógenos y plaguicidas.

Se ha comprobado en varios estudios que los ríos de la cuenca y la bahía de Cohana donde finalmente entran todas las aguas corrientes de la cuenca, tienen un alto grado de contaminación, entre los contaminantes importantes identificados son: la materia orgánica, patógenos intestinales, altos grados nutrientes como nitrógeno y fósforo, y varios contaminantes industriales, de las cuales solo se han analizado los metales pesados (Informe Preliminar del junio 2009 "Análisis del monitoreo de calidad ambiental en los cuerpos de agua en el eje hidrográfico El Alto – Lago Titicaca").

La propuesta de trabajo "Uso de bioindicadores acuáticos para le evaluación de la calidad de los cuerpos de agua en la cuenca de Cohana" forma parte del proyecto "Manejo de la contaminación en el eje hidrográfico El Alto-Lago Titicaca" que está a cargo de International Resources Group (IRG).

Para poder estimar las mejoras futuras en la calidad de los cuerpos de agua de la cuenca mencionada, las que se esperan a partir de varias medidas que se van a tomar por las instituciones gubernamentales, se necesitan instrumentos fáciles a manejar y económicos a la vez; instrumentos que no solo se pueden aplicar por profesionales en el campo sino que se puedan transferir a la misma población de la bahía para que los comunarios tengan la posibilidad de apreciar de forma fácil pero correcta los cambios en la calidad de los cuerpos de agua.

El estudio aportará con una lista y métodos de uso de posibles indicadores de la calidad del agua fácilmente aplicables y útiles para monitorear la situación ambiental de los cuerpos de agua de la cuenca y la bahía del lago a largo plazo, así que los lugareños tengan a futuro una metodología estimativa, al mismo tiempo confiable y de bajo costo, para evaluar los cambios de calidad de sus cuerpos de agua de interés.

Los puntos de muestreo se definen en base a los puntos de análisis físico-químico anteriormente considerados en marzo 2006 por la Dirección General de Cuencas y Recursos Hídricos, cuyo objetivo fue establecer sitios de monitoreo de la calidad de aguas correspondientes a la cuenca del río Katari hasta su confluencia a la Bahía de Cohana del Lago Menor del Titicaca (Lago Huiñaymarca) (ver también: Informe Preliminar del junio 2009 "Análisis del monitoreo de calidad ambiental en los cuerpos de agua en el eje hidrográfico El Alto – Lago Titicaca"). Adicionalmente se toman en cuenta los bioindicadores presentes en los puntos de estudio.

Objetivos

Objetivo general:
Lograr que las comunidades de Bahía Cohana sean capaces de estimar la contaminación de sus recursos naturales mediante el uso de bioindicadores.

Objetivos específicos:

- Proponer biomonitores de la biodiversidad acuática y calidad de agua para las aguas corrientes y estancadas de cuenca y bahía de Cohana.
- Probar la aplicabilidad de estos en un programa de monitoreo a largo plazo.
- Velar por la facilidad de observación y el costo mínimo de los ensayos para garantizar su aplicabilidad por la población involucrada al finalizar la consultoría.
- Capacitar en servicio al personal técnico del proyecto involucrado en el proceso en los aspectos técnico-científicos a implementarse.

Beneficiarios meta:
Los lugareños, especialmente líderes de organizaciones de base, profesores y estudiantes de colegios y las oficinas de medio ambiente de las alcaldías.

Metodología

Todos los biomonitores acuáticos y los bioensayos de laboratorio propuestos tienen que ser testados para garantizar su aplicabilidad y llegar a una selección definitiva, antes de traspasar la metodología exacta a los interesados.

Se deben hacer estudios de línea base para definir la aplicabilidad de los biomonitores y bioensayos propuestos, para definir los lugares de monitoreo y para definir los meses del año y la frecuencia del monitoreo, a fin de llegar a resultados confiables y cumplir con el criterio de facilidad y economía de las observaciones lo que permite que puedan ser realizados por los mismos comunarios y otros interesados.

1. Ensayos ecotoxicológicos y pruebas de bacterias fecales, como indicadores de la calidad del agua

Se usan ensayos ecotoxicológicos con plantas superiores comestibles y pruebas de bacterias sulfurosas en laboratorio. Estos ensayos se han adaptado ya por el proyecto latinoamericano AguAmiga para su uso en colegios y son aptos para ser usados por personas inexperimentadas. Son experimentos fáciles que no necesitan equipos y materiales costosos ni espacios de laboratorio especializado para su ejecución. Como controles (negativas y positivas) se usa agua de botella sin gas, que, en caso del ensayo positivo, se satura con sal).

La metodología se basa en el manual de AguaAmiga/Aquatox del CIID (2008), que describe en detalle todos los métodos ecotoxicológicos simples para le evaluación de la

calidad de las aguas, que se desarrollaron para la red escolar internacional sobre la toxicidad del agua (Aquatox 2000). Estos métodos también se reportan en Castillo (2004).

Tabla 1: Breve descripción de los métodos

ENSAYOS	INDICADORES	DURACIÓN DEL ENSAYO
Ensayo de Cebolla	Crecimiento de la raíz	3 días
Ensayo de Lechuga	Cantidad de semillas germinadas Crecimiento de radícula	5 días
Ensayo de H_2S	Cambio de color de medio de cultivo	3 días (observaciones cada 24 horas)

Cada ensayo se acompaña con una muestra de control negativo (agua de botella no carbonatada; en Bolivia se recomienda agua Vital) y una muestra de control positivo (agua de botella con adición de sal común).

El ensayo de cebolla se basa sobre la inhibición del crecimiento de las raíces en medio tóxico. Al final de tres días se mide la cantidad de raíces desarrolladas y la longitud de las raíces.
El ensayo de lechuga se basa en la inhibición de la germinación de la semilla y el crecimiento de las radículas en los primeros cinco días.
El ensayo de ácido sulfhídrico mide la presencia de bacterias fecales en tiras impregnadas con medio de cultivo y un indicador que, en presencia de sulfuro de hidrógeno, desarrolla un color negro.

Los ensayos son aptos para todas las muestras de agua provenientes de aguas corrientes o estancadas. Se trata de un sistema de alerta temprana. No pueden sustituir totalmente los análisis convencionales de laboratorio.

1.1 Muestreo

De cada lugar seleccionado se toman muestras de agua en recipientes plásticos de un litro, cantidad suficiente de realizar todos los ensayos de laboratorio. Los recipientes tienen que ser limpios y se enjuagan dos veces con el agua de muestreo antes de tomar la muestra de agua definitiva. En los ríos, el agua se toma en dirección contracorriente. Se almacenan en una caja de plastoformo cerrada para evitar su calentamiento y su iluminación.

1.2 Ensayos con semillas de lechuga

Indicador: Brote de semillas de lechuga y Crecimiento de sus radículas
Cantidad de semillas por muestra: 25
Duración del ensayo: 5 días

Las semillas de lechuga se siembran en cajas Petri sobre papel absorbente impregnado con la muestra. Durante el ensayo se mantienen en las cajas Petri cerradas, en oscuro, envueltas con plástico negro, a temperatura ambiente.

Al final del ensayo se cuentan las semillas que han brotado y se mide la longitud de todas las radículas desarrolladas.

Se mide el desarrollo de las radículas de semillas de lechuga en las aguas de ensayo, un control negativo y un control positivo.

Se calcula la desviación estándar entre 25 semillas, y se aplica la ANOVA y el test de Kruskal-Wallis.

1.3 Ensayos con cebolla

Se mide el desarrollo de las raíces de los bulbos secos, en las aguas de ensayo, un control negativo y un control positivo.

Se calcula la desviación estándar entre 6 cebollas, y se aplica el test de Kruskal-Wallis. La ANOVA solo se calcula para ensayos con más de 20 individuos.

1.4 Pruebas de bacterias fecales sulfurosas

Se utilizan tiras impregnadas con dos soluciones. La primera solución aporta los nutrientes necesarios para el crecimiento de las bacterias fecales, la segunda es un indicador de H2S, gas que se forma por el metabolismo de las bacterias.

Indicador: Cambio de color del medio de cultivo
Duración del ensayo: 3 días (observación cada 24 horas)
Medio de control: Incubadora
Temperatura del cultivo: 35 ºC

Para fines de transferencia del método a los lugareños se trabaja con una incubadora improvisada de cajón, que generalmente genera temperaturas entre 20 y 40 grados.

Tabla 2: Referencia de color de las tiras

Color	Número aproximado de bacterias	Riesgo en salud
Color negro dentro de 24 horas	> 100 bacterias fecales/100 ml	Alto riesgo
Color negro dentro entre 24 a 72 horas	> 10 bacterias fecales/100 ml	Riesgo intermedio
No aparece color negro a 72 horas	< 10 bacterias fecales/100 ml	Bajo riesgo

1.5 Limpieza de material

Todo el material de muestreo y de laboratorio necesita una limpieza profunda y desinfección, porque las aguas de la cuenca, en su mayoría, contienen no solo contaminantes tóxicos sino también materia fecal y organismos patógenos. Especialmente en la prueba de bacterias se multiplican las bacterias fecales.

2. Macrófitas

Las macrófitas son especies grandes y fácilmente identificables por cualquiera persona, por ende son indicadores fácilmente utilizables y su observación no causa ningún costo. Desde hace varios decenios se utilizan las plantas acuáticas macrofiticas para evaluar la calidad de las aguas (Kohler 1978, 1995, Melzer 1985, 1988, 1994, Weyer 2004). En Europa se ha detectado la afectación de las macrófitas emergentes, en este caso el carrizo, por la eutrofización de las aguas (Melzer et al. 1996), un problema que observamos en la totora del lago Titicaca. En general, varios autores afirman que las macrófitas sumergidas son los ores bioindicadores de la calidad de aguas entre las plantas acuáticas (ver Kohler 1978, 1995, Melzer 1985, 1988, 1994, Weyer 2004).

El único trabajo sobre el valor de bioindicación de las plantas acuáticas realizado en Bolivia es de Stab (1990).

En la zona altiplánica, las plantas acuáticas solo se desarrollan en cantidades abundantes en las aguas estancadas, no en las aguas corrientes. Por este motivo, en el estudio presente, las macrófitas se usan para la bioindicación, solo en la bahía del lago Titicaca y no así en los ríos de la cuenca.

2.1 Observaciones in situ

Se distinguen tres formas de vida en las distintas plantas acuáticas:
- Plantas emergentes (ejemplo: Totora)
- Plantas flotantes enraizadas (ejemplo: Hydrocotyle)
- Plantas totalmente sumergidas (ejemplo: Myriophyllum)
- Plantas flotantes en la superficie del agua (ejemplo: Lenteja de agua)

Se observan las superficies ocupadas de estas plantas, su estado de salud general, deformaciones y cambios de color eventuales y la competencia por parte de otras plantas acuáticas, especialmente algas filamentosas.

2.2 Muestreo

El muestreo de las plantas se realiza manualmente arrancando las plantas enraizadas junto con su raíz. Se llevan al laboratorio en estado fresco en bolsas plásticas.

2.3 Mediciones preliminares de metales pesados

Para la medición de los elementos traza, las plantas acuáticas se lavan y la totora se separa en tallos, rizomas y raíces.

Macrófitas y sedimentos se analizaron en forma fresca, con el equipo de fluorescencia de rayos X del CPTS (Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles), con la ayuda del Dr. Justo Zapata.

Para su análisis preciso en un laboratorio especializado se deben secar sobre papel bond a temperatura medio ambiente, en un lugar sin polvo.

3 Frecuencia de muestreo y selección de organismos y ensayos

Como las estaciones del año son bien marcadas y llevan a un cambio sustancial de flora y fauna en las dos épocas seca y húmeda se realizan un muestreo preliminar en la época seca de 2009, a fin de seleccionar los puntos de muestreo definitivos, y dos muestreos para la línea base en los meses más extremos del año (abril y septiembre 2010).

En base a los resultados de campo y laboratorio, se seleccionarán las épocas de año más recomendables para el muestreo y los ensayos más aptos, bajo los siguientes criterios: rigurosidad para diferenciar niveles de contaminación, facilidad de muestreo y observación de los organismos, facilidad de aplicación de los índices, costos del ensayo, tiempo necesario para invertir.

1. Los bioindicadores tienen que ser específicos para una cierta calidad de agua.
2. Tienen que ser reconocibles de manera fácil y segura, por los lugareños. Su recolección e identificación tiene que ser posible con métodos fáciles y económicos.
3. Los ensayos de laboratorio, deben ser fáciles sin el uso de equipos especializados.

Es decir, todos los ensayos deben ser simples, impactantes, económicos y replicables, permitiendo un buen acercamiento a la calidad real de los ecosistemas acuáticos.

4 Capacitación y transferencia del programa de monitoreo a los beneficiarios

Durante las salidas de campo se da posibilidad a las personas interesados de conocer la metodología de muestreo.
Para la capacitación en los métodos de campo y laboratorio se elaboran manuales didácticos detallados de metodologías acompañados de fotos, y fotos de los bioindicadores (Macrófitas).

CRONOGRAMA (2009 a 2010)

Actividad	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
Recopilación de información actual	X													
Línea base		X	X	X				X					X	
Procesamiento de muestras		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Elaboración de resultados			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Selección de organismos indicadores			X					X					X	
Elaboración			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

de manual de metodologías														
Informes				X					X					X

Actividades

5 Compra y preparación de material

Equipamiento de Kits para ensayos ecotoxicológicos y contaminación fecal:
En el comienzo de los trabajos se compraron todos los materiales necesarios para los ensayos ecotoxicológicos. Se armaron 4 Kits completos para su entrega a los beneficiarios.

Por otro lado, se depositaron en el cuarto frío del Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) los reactivos para la elaboración de las tiras necesarias para el ensayo de bacterias fecales. El LCA se hará cargo de la elaboración de nuevas tiras a partir de los reactivos. Como remuneración por sus servicios deberían gozar de un lote de tiras para su uso en el laboratorio LCA.

Durante el estudio actual, se utilizaron las tiras existentes en la Unidad de Limnología en calidad de préstamo. Al final del estudio se debe entregar un lote de tiras elaboradas a la Unidad de Limnología del Instituto de Ecología, para sustituir las tiras prestadas.

Actualmente existe solo un Kit totalmente completo (ver tabla 3), por el uso de los materiales durante el estudio. Los materiales fungibles faltantes en los otros tres Kits se deben reemplazar, para entregar los 4 Kits completos a los beneficiarios.

Tabla 3: Lista de materiales para un Kit completo

Limpieza y desinfección:
1 litro H2O2 (desinfección profunda)
1 botella Procenex (limpieza y desinfección)
1 botella detergente
1 Jabón
1 Atomizador (para solución de H2O2)
1 Esponja
1 Toalla para secar
1 Trapo de cocina
1 Par de guantes de goma
1 Cepillo
1 rollo de Papel Toalla
1 Bañador
1 Balde

Muestreo en los cuerpos de agua:
1 rollo Masquin
1 Marcador indeleble
1 caja de Guantes quirúrquicos

1 litro Alcohol de 70% (para desinfectarse las manos)
1 caja Papel pH

Experimentos de laboratorio:
3 Rejillas para tubos de ensayo grandes de plástico
50 Tubos de ensayos respectivos, con tapa verde
1 Rejilla de tubos de ensayo de vidrio
25 tubos de ensayo respectivos con tapa negra
2 bolsas negras grandes de plástico (para envolver ensayo de lechuga)
2 cuchillos de plástico (para limpiar las cebollas)
1 bolsita con 10 cucharas de plástico
1 lupa
1 termómetro Mínimax
2 recipientes de plástico de 500 ml
1 probeta de 100 ml
20 Cajas Petri de plástico 1 rollo de papel blanco absorbente Whatman
1 frasco de Sal común
1 Frasco de semillas de lechuga
1 Foco de 40 vatios con su cable respectivo (para la incubación de los ensayos de bacterias)
1 Caja de cartón grande (para la incubación de los ensayos de bacterias)
1 caja de mondadientes
4 Jeringas de 10 ml
1 Pinza
1 Regla pequeña
1 Cartulina negra
6 Bolsitas con Tiras para ensayo de bacterias
2 Hojas de evaluación de cebolla (más ejemplares se deben fotocopiar)
2 Hojas de evaluación de lechuga (más ejemplares se deben fotocopiar)

Por otro lado, varios materiales comprados en el principio y recomendados por las guías de ensayo de la OMS/OPS, se descartaron en función de simplificar los ensayos para los beneficiarios. Especialmente se descartaron materiales quebradizos y de uso complicado (pipetas de vidrio, bolas de Peleus), pero también los pipeteadores, que se reemplazan por las jeringas (ver tabla 4).

Tabla 4: Materiales comprados, pero descartados de la entrega a los beneficiarios

20 pipeteadores
20 Pipetas de 10 ml
4 Bolas de Peleus

Materiales altamente fungibles como las cebollas y el agua de botella para los controles negativos, se deben comprar directamente antes de los ensayos por los interesados.

6 Salidas de prospección en ríos

En la lista de puntos de muestreo (Anexos 2 y 3, en formato Word y Excel) se encuentran todos los puntos observados y analizados en las épocas secas de 2009 y 2010, y en época húmeda del 2010.
Se realizaron los siguientes análisis:

- muestreo de agua para los ensayos ecotoxicológicos y la contaminación fecal
- muestreos de la fauna béntica
- documentación fotográfica
- ensayos ecotoxicológicos (con cebolla y lechuga) y pruebas de contaminación fecal, en laboratorio

La distribución de los puntos de muestreo se reporta adicionalmente en un mapa (Anexo 1)

7 Definición de puntos de referencia en ríos y descripción de los ríos

En la bahía de Cohana encontramos dos tipos de ríos con diferente origen:

- origen de la cordillera de los Andes, con substratos gruesos (ríos Seco, Seque, Jalaqueri, Huancané, Vilaque, Sehuenca)
- origen de las serranías altiplánicas, con substratos más finos (Katari, Pallina).

Como estos dos tipos de ríos se distinguen principalmente en sus substratos, albergan una fauna béntica de macroinvertebrados muy distinta. Por este motivo, se deben tomar en cuenta dos puntos de referencia en lugares sin influencia humana, representativos para estos dos tipos de ríos. Para los ensayos ecotoxicológicos no es necesario hacer esa diferenciación. Se toma como río de referencia al río Suriquiña.

Todos los ríos se encuentran en la planicie altiplánica y prácticamente no varían en su altitud s.n.m.

Las salidas se realizaron en varias fechas (ver lista de puntos de muestreo, anexo 3).

Los ríos de referencia seleccionados son los siguientes:

- origen de Cordillera: río Suriquiña, en la zona de Peñas, antes de sufrir las primeras influencias humanas.
- Origen altiplánico: río Katari, en su salida de la serranía, cerca de la comunidad de Konani

Se realiza una breve descripción de la estructura morfológica del río, de sus facies y sus substratos, y las influencias humanas visibles.

<u>Río Suriquiña:</u> Este río no pertenece a la cuenca de Cohana. Por otro lado, es el único río cercano, de origen de Cordillera, que no inmediatamente sufre influencias humanas, ya en curso superior. El lugar de muestreo seleccionado se encuentra en el tramo altiplánico del río, así que es comparable con los ríos contaminados de la cuenca de

Cohana, además es bien accesible con movilidad durante todo el año. El río Suriquiña tiene agua durante todo el año y muestra una fauna béntica diversa bien desarrollada.
No existe mucha diferencia de caudal entre las dos épocas del año. En la época seca del año 2010 se observaron primeros indicios de una eutrofización leve en forma de algas filamentosas adheridas a las piedras en el lecho del río.

Fig. 1: Río Suriquiña

Época seca (octubre 2009) Río ramificado con poca pendiente	**Época seca** (octubre 2009) Substrato de piedra fina y cascajo grande
Época seca (septiembre 2010) Algas filamentosas sobre piedras, primer indicio de una leve eutrofización	**Época húmeda** (abril 2010) El caudal no ha aumentado significativamente

<u>Río Katari:</u> Este río tiene su origen en las serranías al noroeste de Viacha. Es un río con dominancia de sedimentos finos. En su parte superior no sufre influencias humanas importantes aparte de que sus aguas son utilizadas en el riego de cultivos agrícolas. Por este motivo, a finales de octubre de 2009 prácticamente todo su curso superior se encontró seco. En el lugar de muestreo cerca de Konani se encontraron solo dos grandes charcos en el cauce del río. Del charco más grande se tomaron las muestras. Especialmente las muestras de la fauna bentónica no son representativas porque el agua estaba estancada y los típicos macroinvertebrados representantes de agua corriente estaban ausentes.
Dos semanas después, el lugar se encontró totalmente seco.
En el año 2010, el río ya estaba totalmente seco en el mes de septiembre.

En época húmeda el río tiene un caudal grande.

Fig. 2: Río Katari, río arriba

Época seca (octubre 2009) Río Katari, charco restante en el cauce, cruce del ferrocarril en el fondo	**Época seca** (noviembre 2009) Cauce seco, dos semanas después
	Época húmeda (abril 2010) El río se ha vuelto caudaloso

8 Definición de puntos de muestreo en ríos y descripción de los ríos

Los puntos de muestreo en los ríos de la cuenca de Cohana se han definido bajo los siguientes criterios:

- Ríos importantes de la cuenca
- Análisis de ríos de cordillera y ríos de serranía altiplánica
- Puntos importantes de contaminación
- Accesibilidad durante todo el año.

Se seleccionaron en total 9 puntos de muestreo en los ríos (ver anexos 2 y 3).

Hacia delante se muestran fotos de los ríos seleccionados de las dos épocas y se describen las características de cada sitio.

<u>Punto 3: Rio Seco, antes de la entrada del efluente de la planta de tratamiento Puchu Khollo</u>

En este lugar el río ya ha atravesado la ciudad de El Alto, pero todavía no ha recibido las aguas efluentes de la planta de tratamiento.

Fig. 3: Río Seco, arriba del efluente de Puchu Khollo y efluente de Puchu Khollo

	Época húmeda (octubre 2009) Rio Seco, antes de recibir el efluente de Puchu Khollo Muestreo de la fauna béntica mediante Kick-Sampling
	Época húmeda (abril 2010) Efluente Puchu Khollo; en el fondo se ve el río Seco
	Época seca (septiembre 2010) Efluente Puchu Khollo; crecimiento de algas y bacterias de varios colores en las paredes del canal

El efluente de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de El Alto (Puchu Khollo, punto de muestreo 3A) se encuentra todavía altamente contaminado, con formación excesiva de espumas y olor fétido. La planta de Puchu Khollo, por lo menos en las fechas de muestreo, no era eficiente en el tratamiento de las aguas.

Punto 4: Río Seco en Viacha

En este lugar el río ya recibió algunas aguas contaminadas adicionales, las aguas de la planta de tratamiento de Puchu Khollo y aguas contaminadas de Viacha.

Fig. 4: Río Seco, cerca de la Cementera de Viacha

	Época húmeda (abril2010) Lodos y sedimentos finos acumulados por el río
	Época seca (septiembre 2010) Basura acumulada, en el fondo la cementera de Viacha

Las principales características son una alta carga de basura que se acumula en distintas partes de su lecho y en los bordes, una carga alta de lodos y sedimentos finos con malos olores.

Punto 5: Río Seque - Jalaqueri

En este lugar el río Seque ha cambiado su nombre a río Jalaqueri. Ya ha atravesado la ciudad de El Alto y está lleno de basura que se depositó en sus orillas y planicie de inundación.

Fig. 5: Río Jalaqueri

	Época húmeda (abril2010) Lodos y sedimentos finos y basura acumulados en los bordes del río
	Época húmeda (abril2010) Derrumbes de ribera, sustrato de cascajo grueso y basura

El río acumula altas cantidades de basura en su cauce y en sus bordes, depositadas durante las crecidas.

Punto 6: Río Pallina, antes de su entrada a Viacha, cerca de Choquenaira

El río todavía no ha recibido las aguas contaminadas de Viacha. Atraviesa una zona de campos agrícolas y recibe los nutrientes de la agricultura y ganadería. Sus aguas son altamente eutrofizadas, lo que se expresa en el crecimiento de algas y algunas espumas flotando en la superficie.

No cambia sustancialmente su caudal y aspecto en época húmeda.

Fig. 6: Río Pallina, antes de su entrada a Viacha

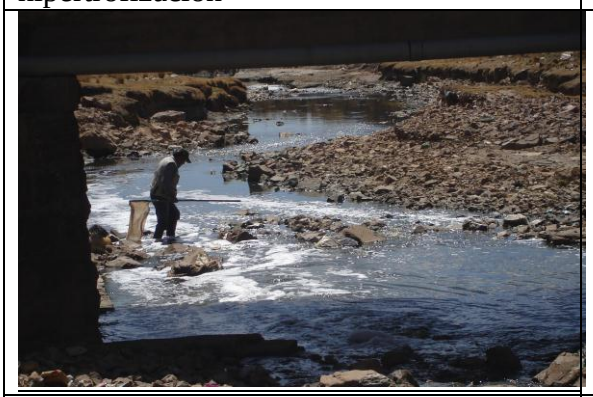
	Época seca (octubre 2009) Sedimentos finos
	Época seca (octubre 2009) Espumas y algas flotando
Época seca (septiembre 2010) Derrumbes en riberas y afloramientos de sal en el suelo	**Época seca** (septiembre 2010) Basura y masas de algas filamentosas como signo de hipertrofización

<u>Punto 7: Río Pallina, Puente</u>

El rio ya ha recibido las aguas contaminadas de Viacha. Eso se refleja en los lodos negros y en el crecimiento exuberante de algas filamentosas.

Los lodos tienen fuerte olor fétido.
Los substratos muy gruesos en este lugar son atípicos para la zona y dependen de la geología local. Por las turbulencias de las aguas sobre las piedras se forman espumas indicando la contaminación de las aguas por detergentes y materia orgánica.
Como durante la época seca carecen fuentes de agua, los campesinos llevan su ganado al río y usan el agua contaminada como bebedero para sus animales.

Fig. 7: Río Pallina, después de su salida de Viacha

Época húmeda (abril2010)	**Época húmeda** (abril2010) Lodos negros
Época húmeda (abril2010) Algas filamentosas como signo de hipertrofización	**Época seca** (septiembre 2010) Vacas usando el lugar como bebedero
	
Época seca (septiembre 2010) Sustratos muy gruesos típicos para este sitio	**Época seca** (septiembre 2010) Formación de espuma como signo de hipertrofización

Punto 8: Rio Katari, Puente

El punto de muestreo se encuentra antes de la confluencia del los ríos Katari y Pallina, así que todavía no ha recibido las aguas contaminadas y eutrofizadas del rio Pallina. El rio tiene alta carga de sedimentos. Está frecuentado como bebedero por el ganado.

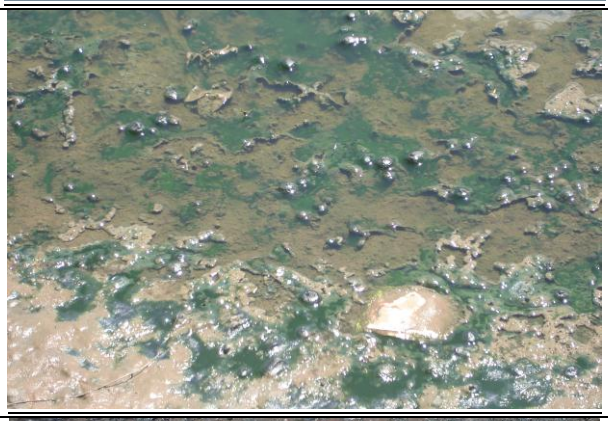
En época seca, el cauce del río se seca completamente y en los bancos y terrazas del río se observan afloraciones de sal formados por la fuerte evapotranspiración de las aguas capilares y subsecuente precipitación de las sales contenidas.

Fig. 8: Río Katari, antes de su confluencia con el río Pallina

	Época húmeda (abril2010) Sedimentos finos
	Época seca (septiembre 2010) Cauce seco con charcos de agua restante y afloramientos de sal en el suelo

Punto 9: Rio Katari bajo, en el camino de Tambillo a Pucarani
Es el último punto accesible en el río Katari antes de entrar a la bahía de Cohana.

Fig. 9: Río Katari, después de su confluencia con el río Pallina

	Época húmeda (abril2010) Ribera vertical con nidos de pájaros
	Época seca (septiembre 2010) Gaviotas en el agua, indicadoras de contaminación por materia orgánica
	**Época seca** (septiembre 2010) Lodos con algas azules
	Época seca (septiembre 2010) Lodos negros profundos con huellas de aves, principalmente gaviotas

En época de lluvias el río parece relativamente limpio, por la dilución con el gran caudal del río Katari con sus aguas limpias. En época seca, el río Katari se seca en toda su parte superior al punto de confluencia con el río Pallina. De este modo, las aguas en este sitio de muestreo solo se derivan del río Pallina altamente contaminado.
Así que se observan durante la época de estiaje lodos negros profundos con fuerte olor fétido, que en su superficie generalmente son cubiertos con una fina capa de sedimentos (menor a 1 cm de espesor) de color beige oxidados. Esta superficie de sedimentos oxidados se cubre con algas, muy probablemente algas cianófita. El río está frecuentado por aves que se alimentan de la gran cantidad de materia orgánica. Se observan las aves en el agua y sus huellas frecuentes en los lodos acumulados en el cauce.

Punto 10: Rio Huancané, en el camino de Laja a Pucarani
El rio tiene sedimentos gruesos, y crecimiento de algunas especies de macrófitas. Es un rio limpio de poco caudal, que se seca en época de estiaje.

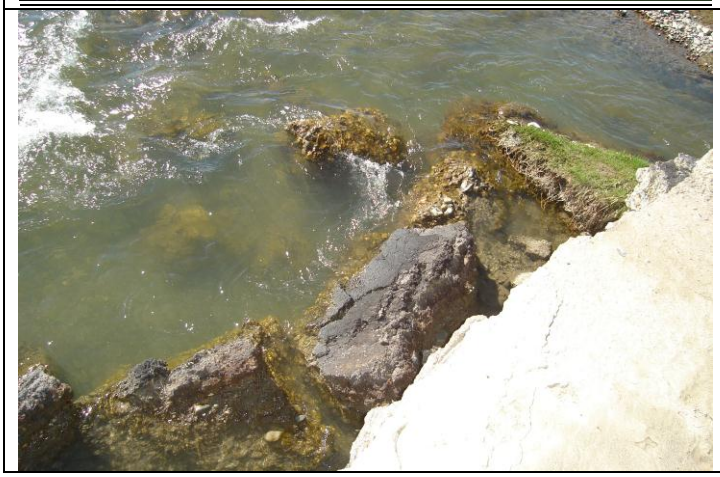
Fig. 10: Río Huancané

	Época húmeda (abril2010)
	Época seca (septiembre 2010) Cauce seco

Punto 11: Rio Sehuenca, cerca de Pucarani, en el camino a Batallas

El rio tiene mucho caudal en época húmeda. La gran velocidad y el gran caudal hacen que las riberas son totalmente inestables. La tierra suelta por derrumbes ha caído en bloques al curso de agua.

Fig. 11: Río Sehuenca, cerca de Batallas

	Época húmeda (abril2010)
	Época húmeda (abril2010) Derrumbe en la ribera
	**Época húmeda** (abril2010) Derrumbes y bloques de tierra en el agua, sobre las cuales crecen algas filamentosas.

	Época seca (septiembre 2010) Caudal reducido sin fuerza de erosión

Resumen:
El río Katari y el río Pallina tienen su origen en las serranías altiplánicas, así que observamos la predominancia de sustratos finos. Por este motivo, el sitio 7 de muestreo en el Puente Pallina, es atípico por sus sustratos gruesos.

Todos los otros ríos tienen sustratos más gruesos, con dominancia de piedra fina, cascajo grueso y cascajo fino.

Conforme al grado de contaminación y especialmente a la cantidad de materia orgánica que reciben, se forman lodos negros mal olientes y se depositan en los bordes de los ríos en lugares de menor velocidad y caudal. Otros signos de eutrofización son: el crecimiento de algas (algas cianófita y algas filamentosas) en grandes cantidades y la formación de espumas en las partes turbulentas del lecho. También es notoria la acumulación de basura en el cauce y sobre los bordes del río.

Durante la época húmeda, casi todos los ríos son muy caudalosos y turbulentos. Una excepción es el río Huancané que tiene poco caudal. Por eso, todos los ríos, también el río Huancané, muestran derrumbes de menor o mayor tamaño en sus bordes.

En la época seca, todos los ríos, menos el río Suriquiña, reducen su caudal significativamente y varios secan completamente, por el uso intensivo de sus aguas en la agricultura. Estos son los ríos Katari, Huancané y Sehuenca, los cuerpos de agua corrientes de mejor calidad de agua.

Los ríos son la fuente de agua más importante para la ganadería, especialmente durante la época de estiaje, así que la contaminación acuática pone en riesgo la salud de los animales y sus productos.

9. Definición de puntos de muestreo en el lago Titicaca

9.1 Salida de prospección en riberas del lago Titicaca

Este viaje del 6 de noviembre se coordinó con el Dr. Álvaro Garitano y sus dos estudiantes. Se utilizaron los mismos puntos de muestreo ya definidos por el grupo ornitológico (ver lista de puntos de muestreo).

Como en los ríos, el nivel de agua en el lago Titicaca se encontró muy bajo.

Fig. 12: Puntos de muestreo en orillas del lago Titicaca

COHA 6, Puente (octubre 2009)	COHA Pueblo Cohana, Canal (octubre 2009)
COHA 3, encuentro de flamencos (octubre 2009)	COHA 1, Pajchiri (octubre 2009)
	Lodos profundos en Pajchiri (octubre 2009)

Todos los puntos visitados mostraron un alto nivel de contaminación, especialmente los puntos COHA Pueblo, COHA 3 y COHA 1. Los lodos negros acumulados en la orilla, de un espesor de más de un metro, impidieron la llegada al agua, así que no se podía realizar el muestreo de la fauna béntica y era muy difícil el muestreo de agua.

La vegetación acuática había cambiado comparado con observaciones anteriores. La presencia de la lenteja de agua (*Lemna spp*.) y de *Hydrocotyle ranunculoides* era muy rara, también en el lugar de Pajchiri, donde se ven todavía los montículos amontonados

de *Lemna* recogidos del agua por un proyecto de la ALT. Los totorales se encontraron parcialmente amarillos recuperándose del invierno y por el bajo nivel del agua.

Estos lugares no se visitaron una segunda vez en época húmeda, por su difícil accesibilidad para el muestreo. Se decidió tomar los puntos de muestreo lago adentro (interior de la bahía de Cohana) como puntos de selección final.

9.2 Salida por bote al interior de la bahía de Cohana, en época seca del año 2009

En fecha 15 de diciembre se realizó la salida con bote a interiores de la bahía para definir hasta donde se puede detectar la contaminación acuática causada por el aporte de materia orgánica y sustancias tóxicas de los ríos.

Esta salida se había coordinado anteriormente con los representantes de las comunidades de la bahía.

Se logró la participación de tres representantes agrónomos de LIDEMA, organización que también trabaja en la contaminación de la bahía de Cohana. LIDEMA tiene especial interés en las observaciones en aguas interior de la bahía y por este motivo financió la movilidad para entrar a Cohana y la contratación del bote.

Se llegó a Cohana el 14 de diciembre y se pernoctó en las oficinas de la población de Cohana.

Por la observación de los atracaderos para botes en las orillas del lago, que estaban totalmente fuera del agua, era posible estimar que el nivel del agua había bajado por aproximadamente dos metros.

Fig. 13: Puerto de Quehuaya

Atracaderos fuera del agua (abril2010)	Totorales en Quehuaya (abril2010)

Con la embarcación grande contratada en Quehuaya se llegó por aguas interior de la bahía, fuera de los totorales, hasta la isla de Pariti. La embarcación ofrecía la ventaja de poder llevar a todas las personas: los consultores, los representantes del IRG y de LIDEMA y los representantes de las comunidades de la bahía.

Fig. 14: Participantes de la excursión al lago

Interior de la embarcación (abril2010)	Participantes de la excursión (abril2010)

Por otro lado, el nivel bajo del lago y la densa vegetación subacuática que se enredaba al motor, dificultó el desplazamiento de la embarcación.
Por este motivo, cerca de la isla Pariti se debía contratar un pequeño bote de uno de los lugareños de la isla, para llegar más cerca hacia las riberas y entrar al atracadero de la isla Pariti. Se trasladaron solo tres personas al bote a remo: Margot Franken, Rubén Marín para la toma de muestras y uno de los representantes de Lidema, para documentar los lugares de muestreo y los trabajos.

Fig. 15: Bote para entrada a los totorales

	Bote pequeño (abril2010)

Todo el viaje se documentó mediante fotos y video, principalmente con equipos del IRG.

Durante la salida se tomaron las siguientes muestras:
- fauna béntica, mediante una draga Ekman
- macrófitas
- sedimentos, mediante la draga
- agua de superficie y fondo, para los ensayos ecotoxicológicos

Las macrófitas y los sedimentos se almacenaron en estado fresco, para su posterior análisis de elementos traza.

<u>Observaciones de la vegetación acuática:</u>
Se identificaron las siguientes especies:
- *Schoenoplectus californicus ssp. totora*
- *Potamogeton sp.*

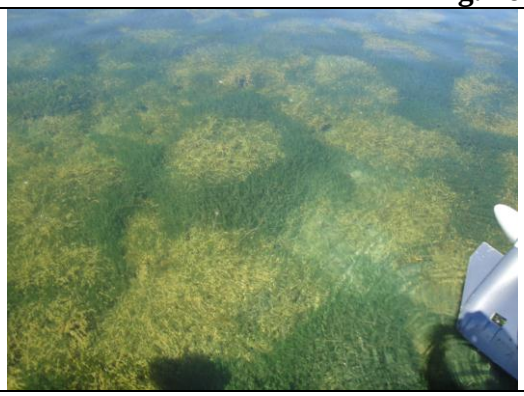
- *Myriophyllum sp.*
- Caráceas
- Algas filamentosas

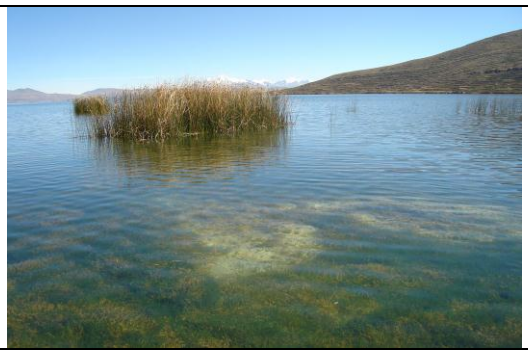
Los totorales estaban todavía bastante secos y actualmente en recuperación.
No se observaron las plantas indicadoras de alta concentración de materia orgánica, como la *Lemna* y la *Hydrocotyle*.
En las bahías cercanas a las orillas, en Quehuaya y en Pariti, se observaron masas de algas filamentosas enredando otras plantas acuáticas como las totoras y los *Potamogeton*. Las algas filamentosas son buenas indicadoras de exceso de materia orgánica y nutrientes.
Fuera de los totorales hacia el interior de la bahía predominan densas praderas subacuáticas formadas por una sola especie, las praderas de caráceas famosas para el lago Titicaca. Las caráceas son generalmente plantas indicadoras de buena calidad de aguas. Las caráceas observadas se encontraron parcialmente amarillas, en más de un 50 %, y solo en parte de la bahía lejos de las riberas aparecieron praderas verdes y de buena salud. En proximidades a los totorales, las plantas aparecieron muertas y luego desaparecieron, dejando el espacio a *Potamogeton* y las algas filamentosas, luego continúan los totorales.

En el primer lugar de muestreo (estación 1) dominaron totalmente las caráceas, pero ya parcialmente muertas. La pradera era muy densa, así que no se llegó a extraer el sedimento debajo de las plantas.

En el segundo lugar de muestreo (estación 2), las caráceas se encontraron aún más dañadas y aparecieron lugares de sedimento casi libres de vegetación. El sedimento era blanco y casi sin olor. Este lugar se encuentra cerca de la isla Pariti y cercano a los totorales de la isla.
En esta estación 2 se cambió al bote pequeño, para entrar a los totorales.

Fig. 16: Estación 2

	
Praderas de caráceas, las partes amarillas están muertas, cerca estación 2 (abril2010)	Extracción de totora, estación 2 (abril2010)

	Fondo desnudo entre praderas de caráceas, estación 2 (abril 2010) El sedimento es blanco y se constituye mayormente de conchas desmenuzadas de moluscos.

El tercer lugar de muestreo (estación 3 y 4) se encuentra cerca al atracadero del pueblo principal de la isla, donde en época seca se estaba construyendo un nuevo atracadero, por el bajo nivel del agua que deshabilitó el anterior. El agua era ligeramente turbia, había poco *Potamogeton* y *Myriophyllum*, pero muchas algas filamentosas entre los totorales. El sedimento era negro, muy fino, profundo y de fuerte olor fétido.

Fig. 17: Estación 4

Atracador nuevo, en construcción (abril2010)	Pueblo de Pariti, con atracador anterior (abril2010)
Potamogeton flotando (abril2010)	Sedimentos negros y fétidos (abril2010)

9.3 Definición final de los puntos de muestreo al interior de la bahía de Cohana, y toma de muestras en época húmeda y seca del año 2010

Para la definición de los puntos de muestreo se consideraron los siguientes criterios:

- Distribución de puntos en un transecto desde la entrada de aguas contaminadas hacia aguas limpias lago adentro.

- Accesibilidad de los puntos de muestreo desde el puerto de Quehuaya y disponibilidad de botes en el puerto de Quehuaya.

Puntos definidos:
Se definieron las estaciones seleccionadas durante el primer viaje de prospección como puntos de muestreo finales.

La estación 1 se encuentra en aguas libres (pelagial) y relativamente profundas, fuera de la influencia directa de las orillas y fuera del cinturón de totorales y otras plantas acuáticas relacionadas con el litoral.

La estación 2 está ubicada al borde de los totorales, es de transición entre pelagial y litoral.

Las estaciones 3 y 4 se ubican dentro de los totorales, en el litoral, el agua es de poca profundidad, entre 50 cm a 1 m. En el fondo se observan lodos negros.

La estación 4 se encuentra directamente en el puerto de la isla Pariti.

No era posible entrar más a la zona contaminada, por la densidad de la vegetación. Por otro lado, el interés de este estudio y el interés futuro es conocer la zona de límite entre las aguas todavía contaminadas y las aguas relativamente limpias.

Salida de abril 2010 (época húmeda):
En abril 2010, los lugareños del pueblo de Quehuaya nos contaron de un fuerte evento de contaminación con muerte de peces y otros animales acuáticos que ocurrió días antes de nuestra visita. Todavía se podía presenciar espumas en la orilla y aguas turbias con olores en la bahía.
No se ha podido averiguar con precisión a qué se debe este evento de contaminación. Es probable que el fuerte viento en dirección de la bahía removió los sedimentos y liberó los contaminantes contenidos en ellas.

Se tomaron muestras de bentos y de agua durante las dos salidas del año 2010.

El agua se colectó solo de la superficie, porque los lugareños no tienen el equipo especializado para tomar muestras de agua en la profundidad ni de sedimento, para un futuro monitoreo de la bahía.

10. Medición de metales pesados en plantas y sedimentos

Durante la salida en diciembre de 2009, se colectaron plantas acuáticas y sedimentos en los distintos lugares de muestreo, a fin de realizar un análisis preliminar del contenido de elementos traza.

Entre los metales registrados, se observó la constante presencia de cromo en concentraciones altas, en las plantas y en los sedimentos, además en todos los lugares de muestreo (ver anexo 4).

Como los resultados de la metodología utilizada no son suficientemente precisos, sino representan tendencias, y además se debería reportar los datos en relación al peso seco de las muestras, **se recomienda analizarlas con especial énfasis en el cromo por absorción atómica o ICP en un laboratorio confiable**. Actualmente las muestras (en total 17 muestras de vegetación y sedimentos) se han secado y reportado en listas para su entrega a un laboratorio especializado (Anexo 5). Las algas filamentosas (2 muestras) se podían medir en estado fresco, pero su cantidad en estado seco parece insuficiente para análisis.
Todavía no se podían mandar las muestras a un laboratorio especializado por la falta de autorización de parte del IRG.

Resultados, Discusión y Conclusiones

Para todos los ensayos ecotoxicológicos y de bacterias fecales se define el Río Suriquiña como río de referencia. El río Katari, durante varios meses en época seca, no tiene caudal de agua significante y en general se seca completamente. En el lago Titicaca, estación 1, se observó la muerte parcial de las plantas acuáticas, así que se descartan estos lugares como sitios de referencia.

11 Ensayos ecotoxicológicos con lechuga y cebolla – Resultados

En anexos se encuentran los resultados de los análisis para las semillas de lechuga y el crecimiento de raíces en cebollas, en planillas de Excel (Anexos 6 al 13).

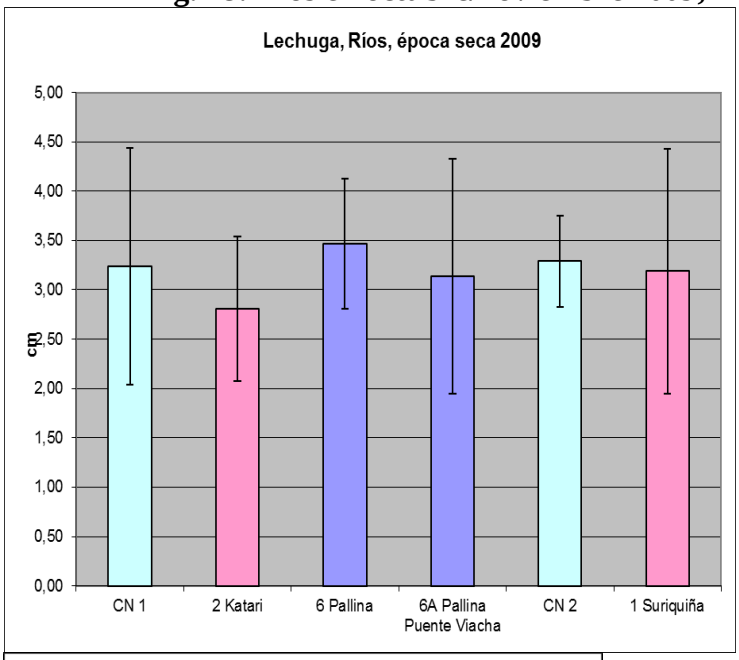
Los gráficos muestran la longitud promedio (en cm) de las radículas en las semillas de lechuga brotadas y la longitud promedio de las raíces de cebolla. En cada gráfico se incluye la desviación estándar. Adicionalmente, se muestran los gráficos en base al análisis de Kruskal-Wallis.

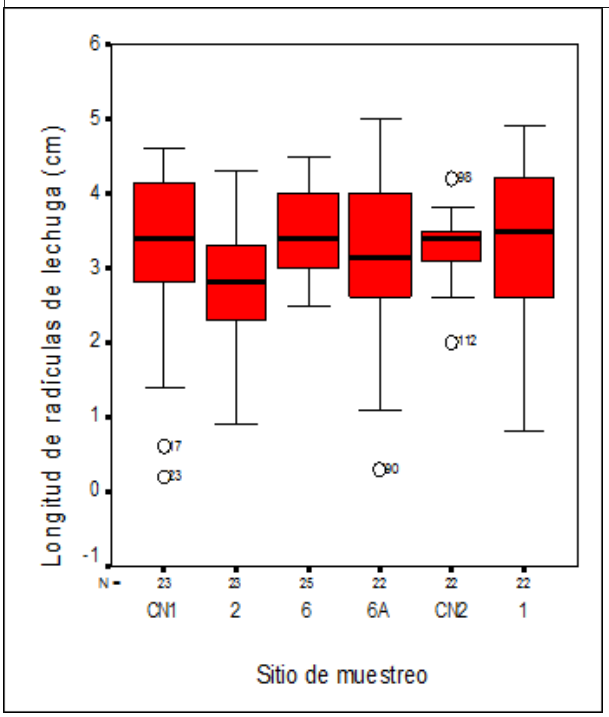
En los gráficos de base se indican los controles negativos en celeste y los ensayos de las aguas de referencia en rosado.

11.1 Ríos de la Cuenca Cohana

Ensayos con semillas de lechuga:

Fig. 18: Ríos en octubre/noviembre 2009; Ensayos con lechuga



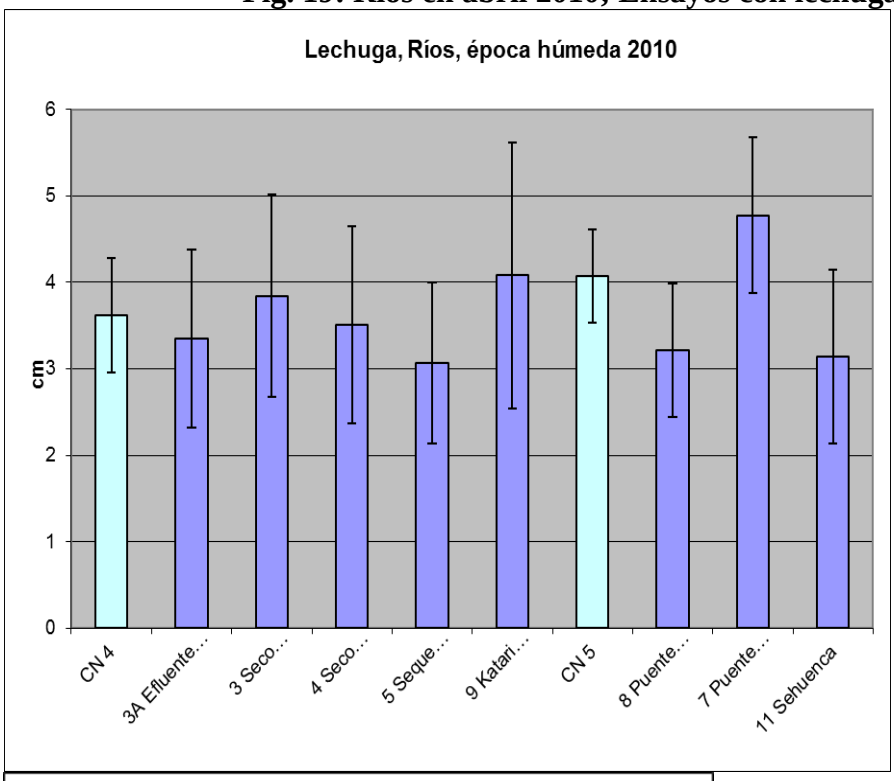


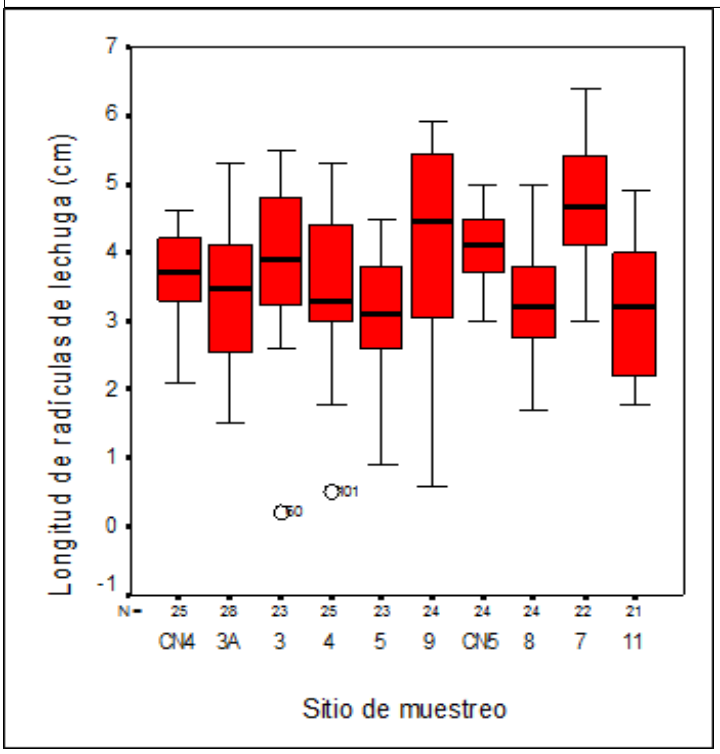
Prueba de Kruskal-Wallis, ríos época seca de 2009

Los ensayos no difieren significativamente de su respectivo control negativo.
El menor crecimiento de radículas encontramos en el río Katari (2), en su punto de referencia río arriba, el mayor crecimiento en el río Pallina (6), antes de su entrada a la ciudad de Viacha, en un lugar eutrofizado por la agricultura, pero sin contenido de sustancias tóxicas.

Llama la atención la muestra 6A, que proviene de un puente dentro de la ciudad de Viacha, con aguas llenas de basura, drenajes del botadero de Viacha, desagües domésticos e industriales y lodos negros con olor fétido. Aún en estas condiciones, el desarrollo de las radículas era muy bueno, con la misma longitud promedia como en el control negativo. Aparentemente la gran cantidad de nutrientes en este caso camufla la toxicidad de las aguas.

Fig. 19: Ríos en abril 2010; Ensayos con lechuga



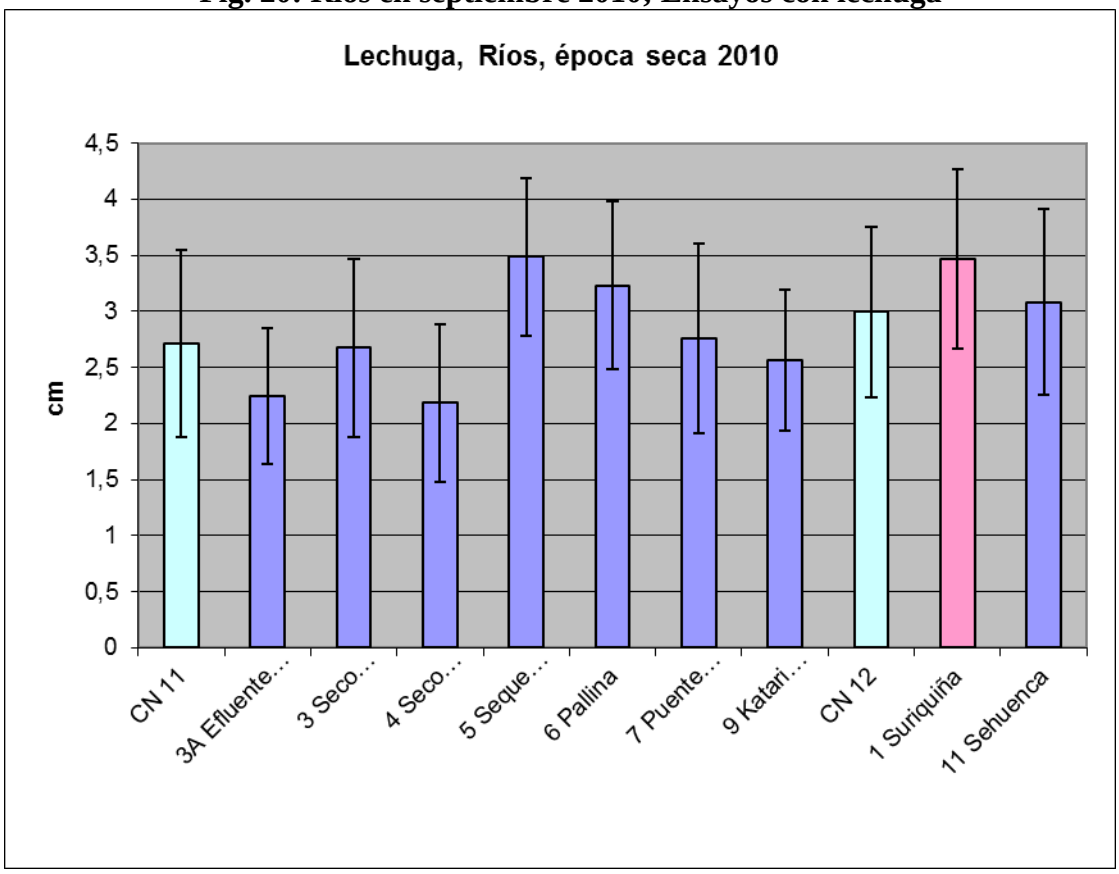


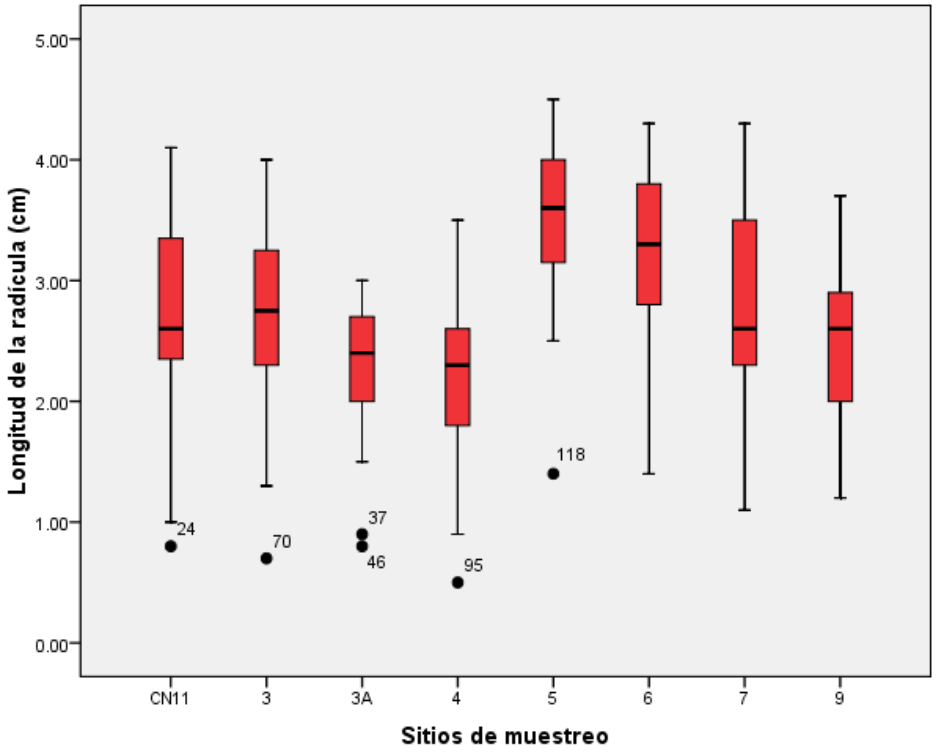
Prueba de Kruskal-Wallis, ríos época húmeda, abril 2010

Primer Grupo, comparable con el Control negativo CN4:
Los ensayos no difieren significativamente del control negativo.
El ensayo 5 (río Seque-Jalaqueri), donde se observa el menor crecimiento de radículas, es significativamente diferente del ensayo 9 (río Katari bajo), que muestra el mayor crecimiento de radículas.
El efluente de la planta de Puchu Khollo (3A) no parece ser dañino para el desarrollo de las radículas aunque su crecimiento promedio es un poco menor que en el control negativo. El menor crecimiento se observa en el río Seque-Jalaqueri (5) que trae todas las aguas domésticas e industriales de la ciudad de Alto así que contiene varios tóxicos industriales. El mayor crecimiento observamos en las aguas de río Katari, después de su confluencia con los ríos contaminados. Es posible que las sustancias tóxicas ya se han precipitado en los sedimentos y no ejercen su daño ya en las aguas.

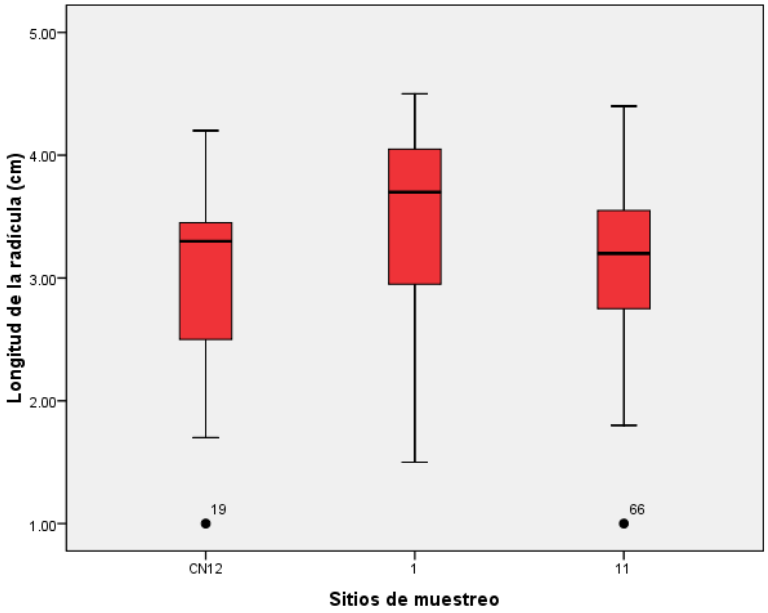
Segundo grupo, comparable con el Control Negativo CN5:
Los ensayos no difieren significativamente del control negativo.
Las muestras 8 (rio Katari, en el puente) y 11 (río Sehuenca) muestran el menor crecimiento de radículas. Ambas son significativamente diferentes de la muestra 7 (río Pallina, en el puente), que tiene el mayor crecimiento de radículas. Otra vez parece que el gran contenido de nutrientes en el río Pallina camufla la presencia de los tóxicos, y/o las sustancias dañinas ya se han precipitado en los sedimentos.

Fig. 20: Ríos en septiembre 2010; Ensayos con lechuga





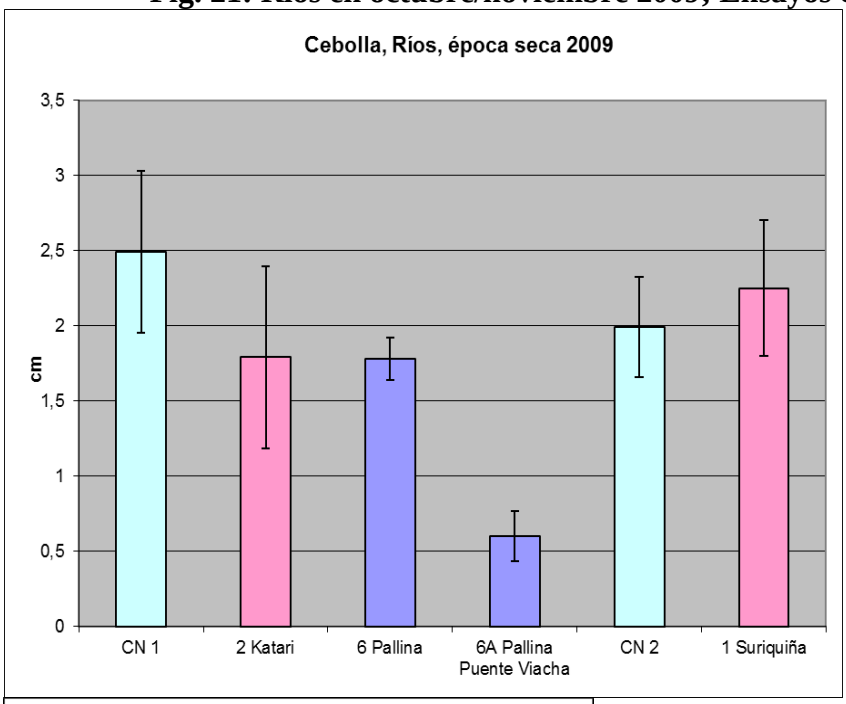
Prueba de Kruskal-Wallis, ríos época seca, sept 2010, Grupo 1:
Solo uno de los ensayos muestra diferencias significativas con el control negativo, es el caso del río Seque-Jalaqueri (5), donde las radiculas crecen más que en el control. Esto es sorprendente porque el río contiene muchas aguas industriales de la ciudad de El Alto.

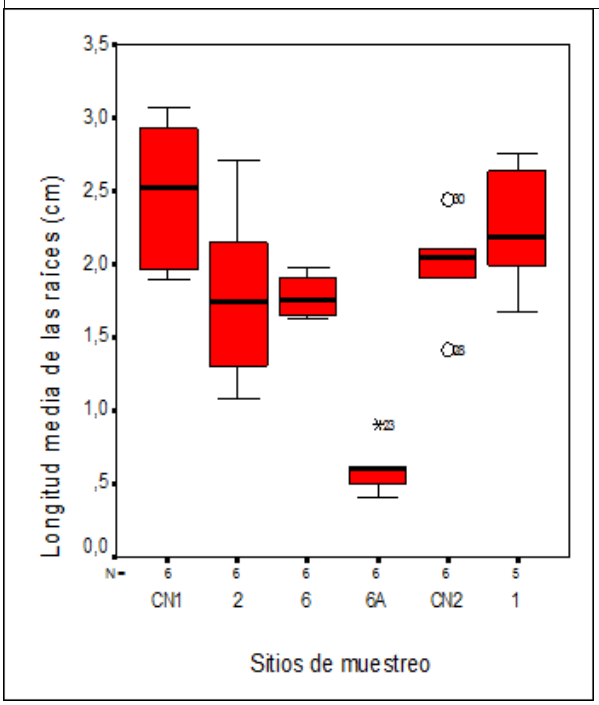


Prueba de Kruskal-Wallis, ríos época seca, sept 2010, Grupo 2:
En este caso no existen diferencias significativas. El mayor crecimiento de radículas se observa en aguas del río Suriquiña (1).

Ensayos con cebolla:

Fig. 21: Ríos en octubre/noviembre 2009; Ensayos con cebolla

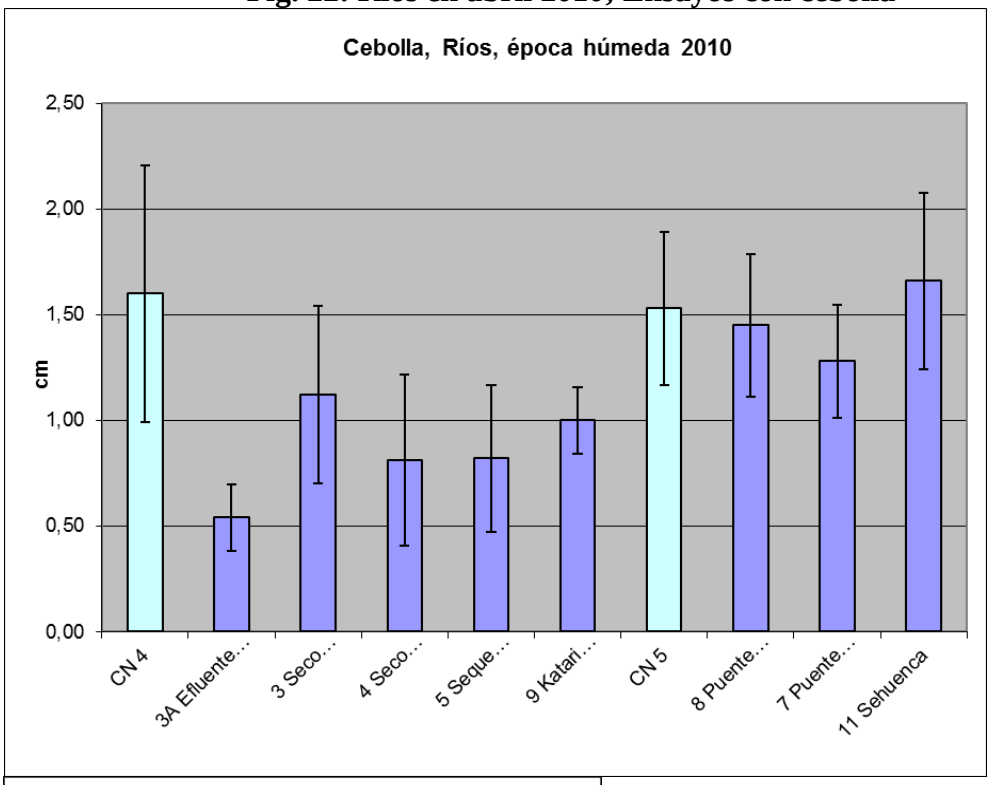


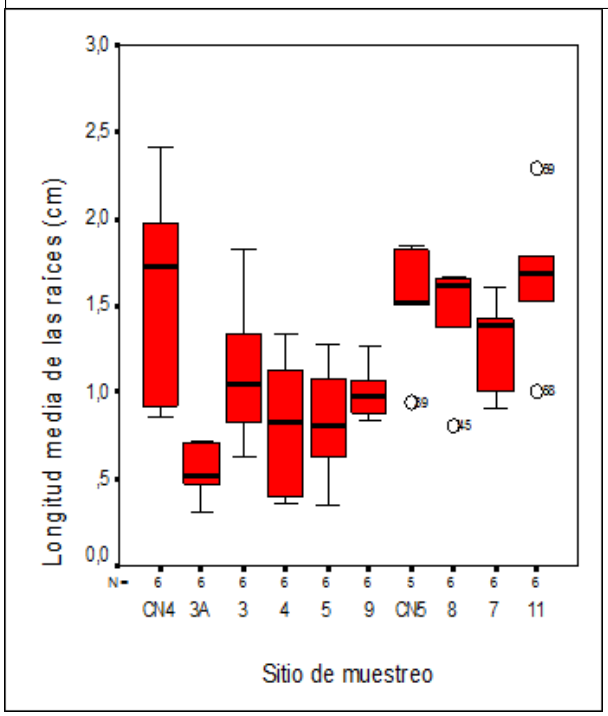


Prueba de Kruskal-Wallis, Ríos, época seca 2009

En el río Suriquiña (1), que es el río de referencia, se observa un crecimiento normal y de igual longitud comparado con su respectivo control negativo CN5.
Todos los ensayos comparables con el control negativo CN4, muestran un menor crecimiento de raíces significativamente diferente de su control respectivo.
En el sitio Puente Viacha del río Pallina (sitio 6A) hay una inhibición fuerte del crecimiento de raíces. Este sitio es extraordinariamente contaminado. **En este caso las raíces de la cebolla reaccionan sensible, mientras que las radiculas de la semilla de lechuga crecen normal.**

Fig. 22: Ríos en abril 2010; Ensayos con cebolla



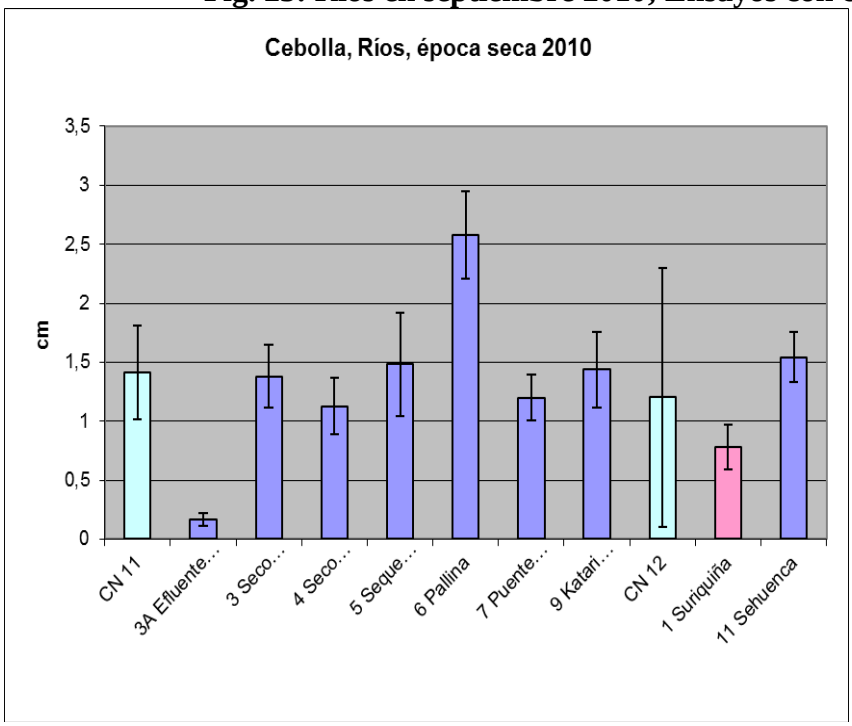


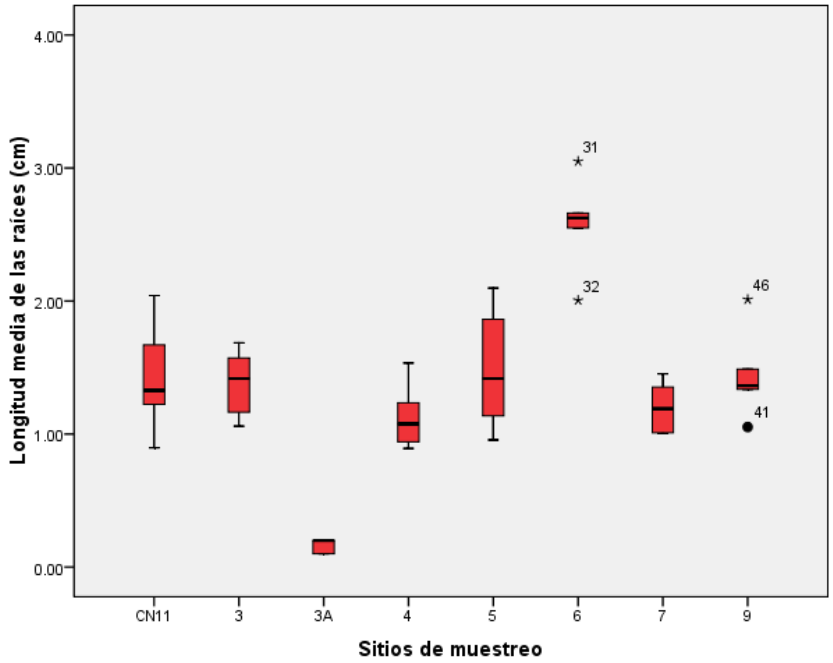
Prueba de Kruskal-Wallis, Ríos, época húmeda 2010

Primer grupo, comparable con el control negativo CN4:
Todos los ensayos son significativamente diferente al control negativo.
En el sitio 3A, el efluente de la planta de Puchu Khollo, las raíces muestran inhibición fuerte de su crecimiento. Otra vez se puede constatar, **que la cebolla reacciona mucho más sensible que la lechuga.**

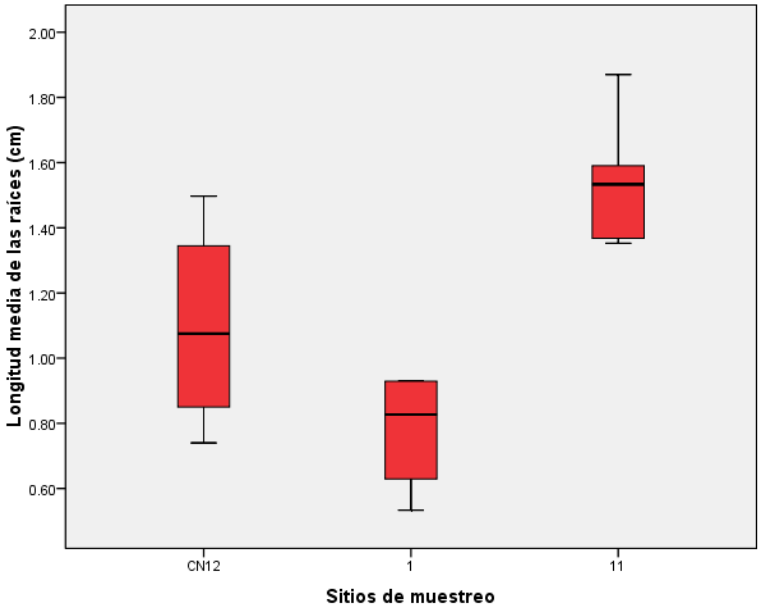
Segundo grupo, comparable con el control negativo CN5:
No se detectan diferencias significativas entre los ensayos y el control. La muestra del río Pallina (7), en el puente después de Viacha, en este caso muestra el menor crecimiento promedio de sus raíces, lo que contradice los resultados obtenidos por la lechuga y se adecua más a la situación de calidad de aguas.

Fig. 23: Ríos en septiembre 2010; Ensayos con cebolla





Existen diferencias significativas, entre el control negativo y el efuente Puchu Khollo (3A), que muestra un claro déficit en el desarrollo de sus raíces; también entre el control negativo y el crecimiento exuberante de las raices en las aguas del río Pallina (6). Eso se explica por la alta eutrofización de sus aguas, sin recibir todavía afluentes tóxicos.

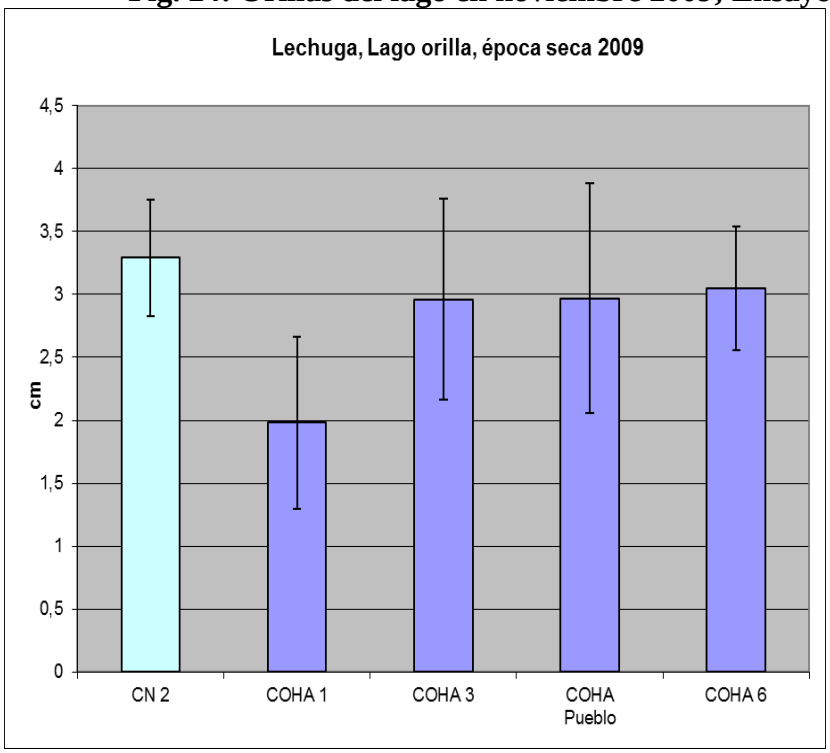


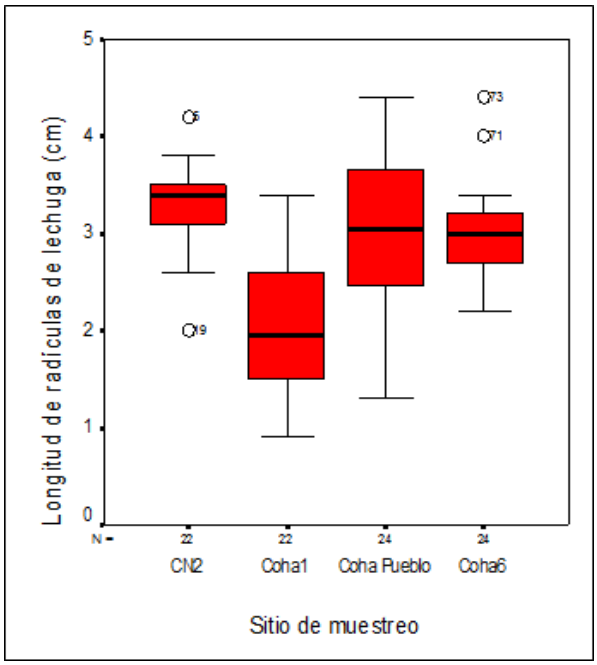
No existen diferencias entre el control negativo y las aguas de los dos ríos ensayados, pero hay diferencia significativa entre las muestras del río Suriquiña (1) y el río Sehuenca (11). Llama la atención el poco crecimiento de las raíces en el agua del río de referencia, el río Surriquiña. **Esto no coincide con el ensayo de lechuga!**

11.2 Lago Titicaca - Bahía Cohana, Orillas

Ensayos con semillas de lechuga:

Fig. 24: Orillas del lago en noviembre 2009; Ensayos con lechuga





Prueba de Kruskal-Wallis, lago orilla, época seca 2009 (La muestra COHA 3 no se tomó en cuenta en el análisis porque solo se desarrollaron 5 semillas.)

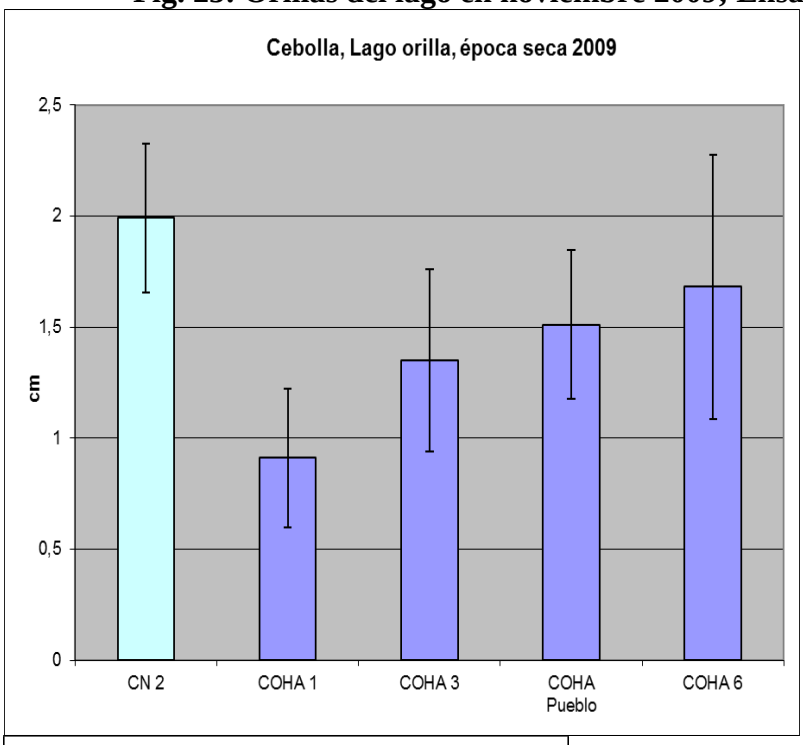
Hay una diferencia significativa en la longitud de las radículas de la muestra COHA 1, comparado con el control negativo. Además la muestra COHA 1 se diferencia significativamente de las otras muestras de ensayo, COHA 3, COHA Pueblo y COHA 6.

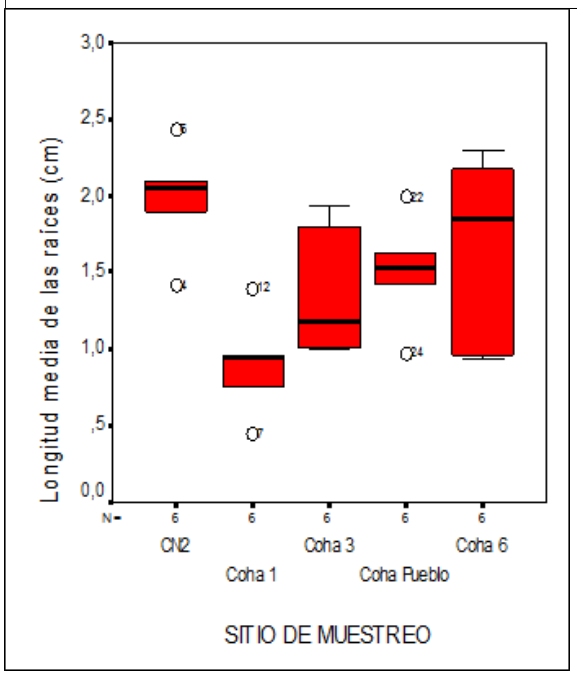
La muestra COHA 3 no se diferencia en la longitud de sus radículas, pero en este caso han brotado solo 5 semillas, las cuales desarrollaron a normal longitud; por otro lado las radículas en COHA 3 desarrollaron una cantidad extraordinaria de pelitos, mientras que en las muestras COHA 1 y COHA 6 se observaron pocos pelos comparado con el control negativo. La cantidad de pelos desarrollados en COHA PUEBLO era semejante al control negativo.

En resumen: Las muestras COHA 1 y COHA 3 son de menor calidad de agua.

Ensayos con cebolla:

Fig. 25: Orillas del lago en noviembre 2009; Ensayos con cebolla





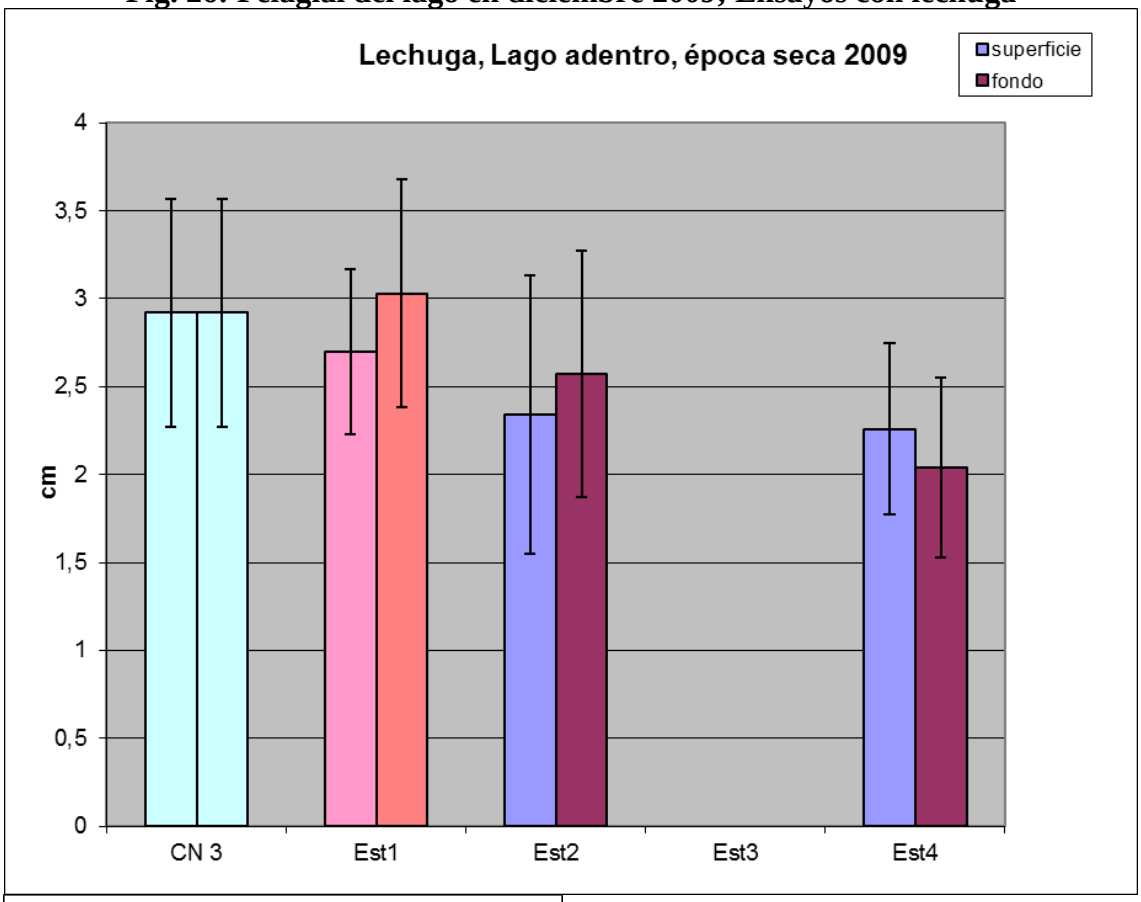
Prueba de Kruskal-Wallis, Lago, orilla, época seca 2009

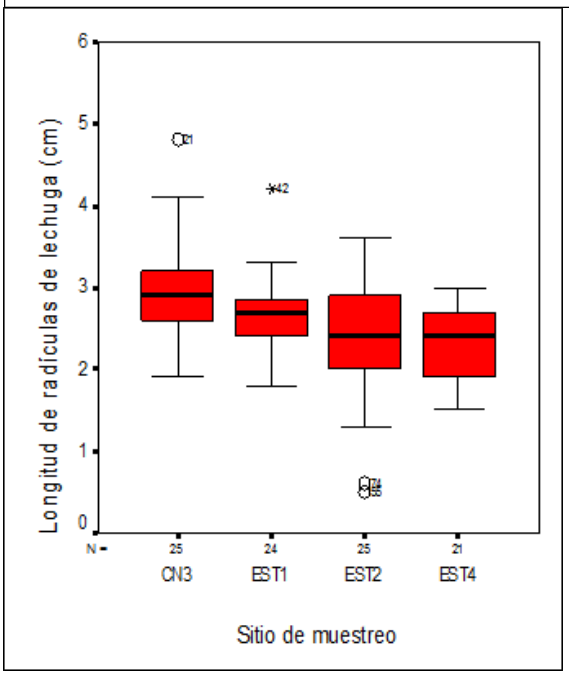
En todos los lugares las raíces de cebolla muestran menor crecimiento que en el control negativo, lo que coincide con los ensayos de lechuga.
La inhibición es mayor en el lugar COHA 1, lo que otra vez coincide con los ensayos de lechuga. También en COHA 3 se observa un crecimiento menor de las raíces. Las radículas de lechuga mostraron anomalidades en este lugar y solo brotaron 5 semillas. Las diferencias en el crecimiento comparado con el control negativo son significativas para COHA 1, COHA 3 y COHA Pueblo.

11.3 Lago Titicaca - Bahía Cohana, Lago adentro

Ensayos con semillas de lechuga:

Fig. 26: Pelagial del lago en diciembre 2009; Ensayos con lechuga

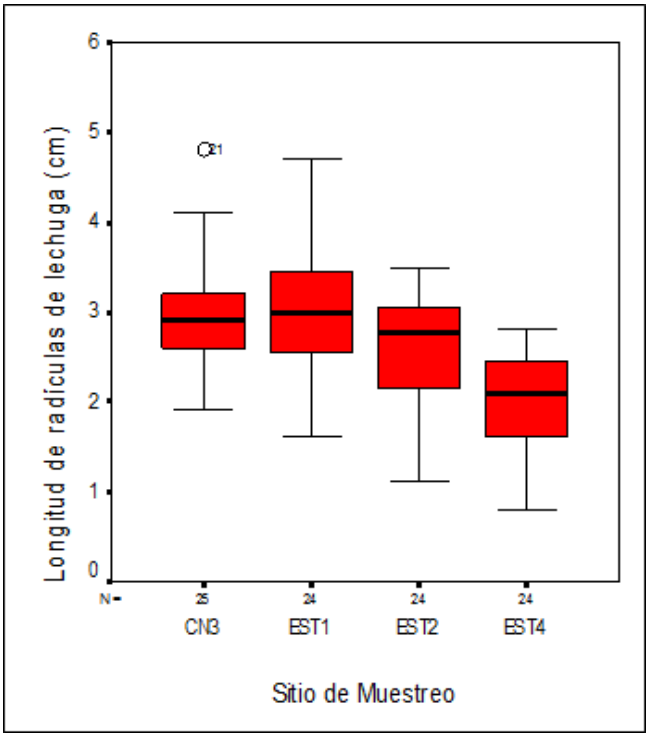




Prueba de Kruskal-Wallis, lago adentro época seca 2009, superficie

Los ensayos de la estación 2 y de la estación 4 tienen menor crecimiento de radículas, pero solo la estación 4 difiere significativamente del control negativo, por tener una

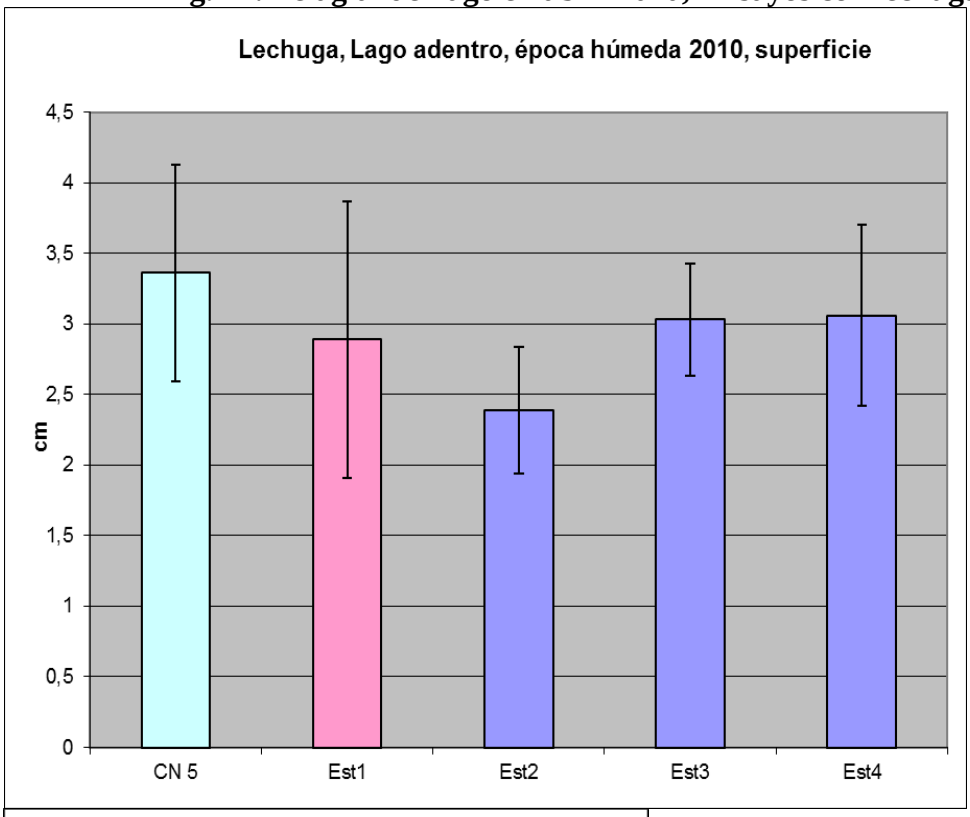
menor desviación estándar entre las semillas. Las estaciones 2 y 4, en especial la estación 4 son las más cercanas a la zona de entrada de los contaminantes a la bahía de Cohana.

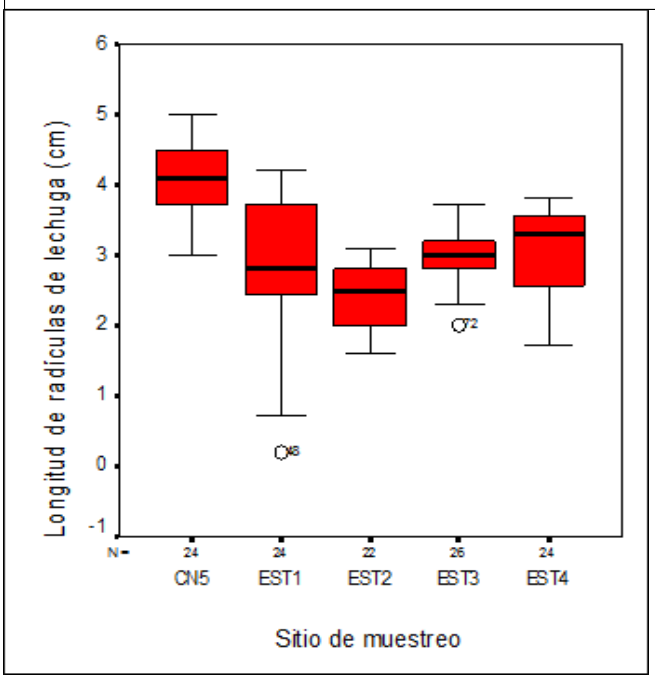


Prueba de Kruskal-Wallis, lago adentro época seca 2009, fondo

Solo la estación 4, con el menor crecimiento de radículas, difiere significativamente del control negativo y de todos los otros ensayos. La estación 4 es la más cercana a la zona de entrada de los contaminantes a la bahía de Cohana. Los lodos del fondo son negros y tienen olor fétido.

Fig. 27: Pelagial del lago en abril 2010; Ensayos con lechuga

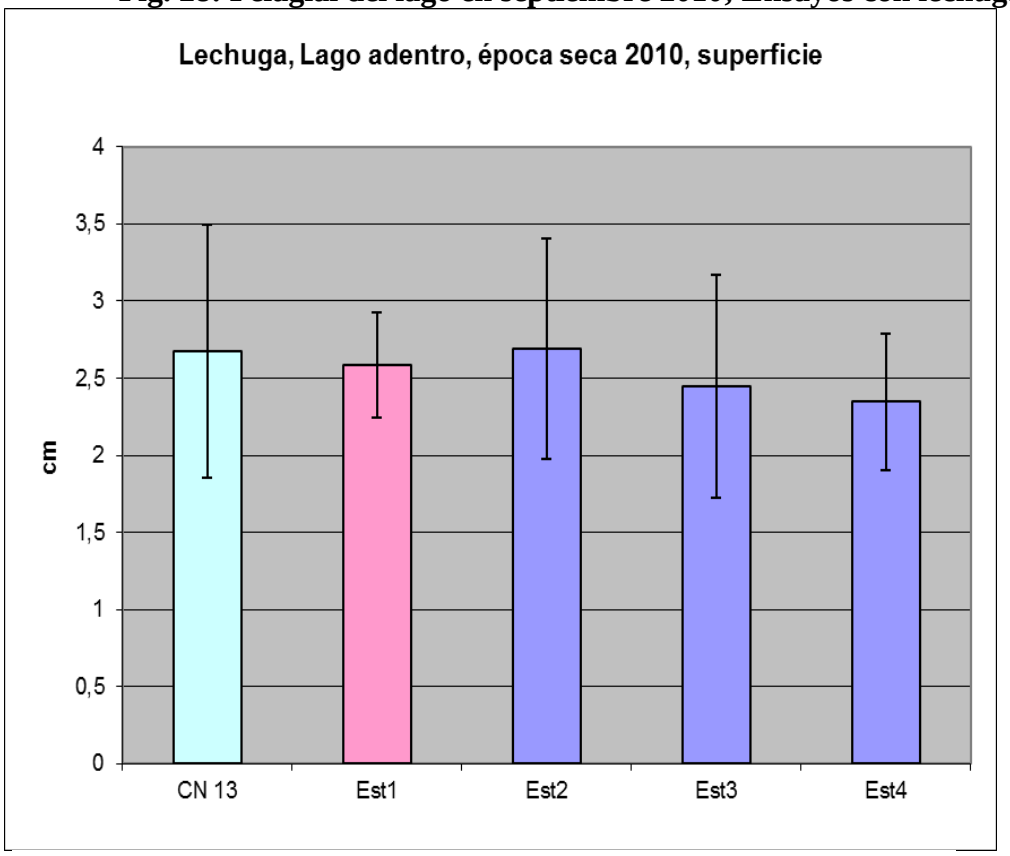


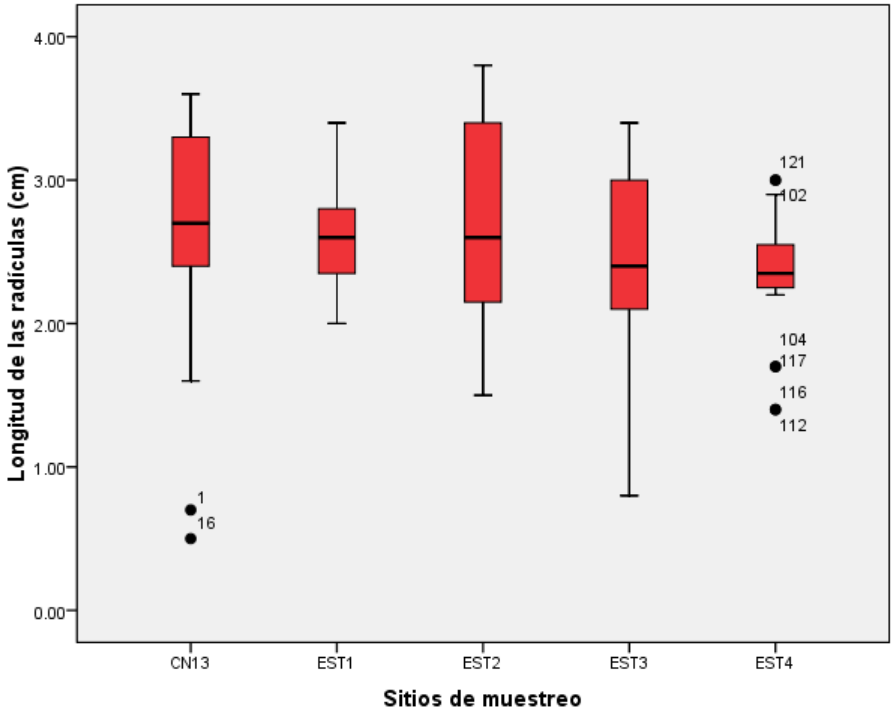


Prueba de Kruskal-Wallis, lago adentro, época húmeda 2010

Todos los ensayos difieren significativamente del control negativo y tienen menor crecimiento de radículas que éste.
Además, la estación 2, con el menor crecimiento de radículas difiere significativamente de las estaciones 3 y 4.
Lo que llama la atención, es que para las estaciones 3 y 4 se observa un mayor crecimiento de radículas que para las estaciones 1 y 2, aunque se encuentran en la zona de mayor influencia de los contaminantes llevados a la bahía.

Fig. 28: Pelagial del lago en septiembre 2010; Ensayos con lechuga

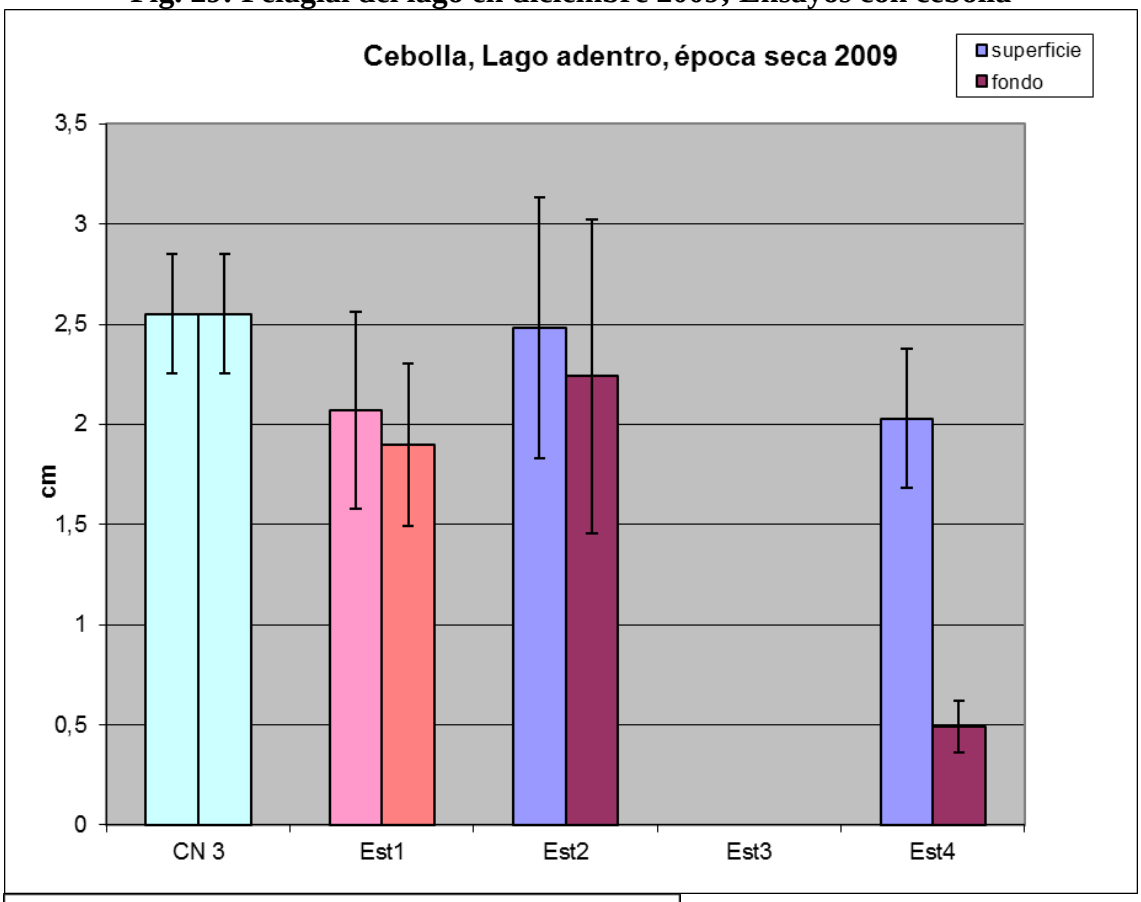


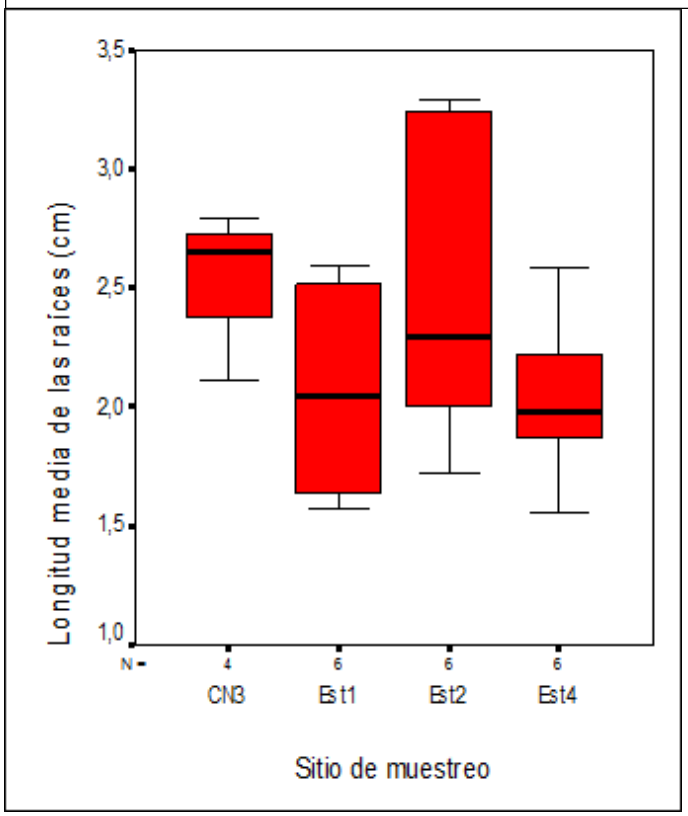


No existen diferencias significativas entre los ensayos.

Ensayos con cebollas:

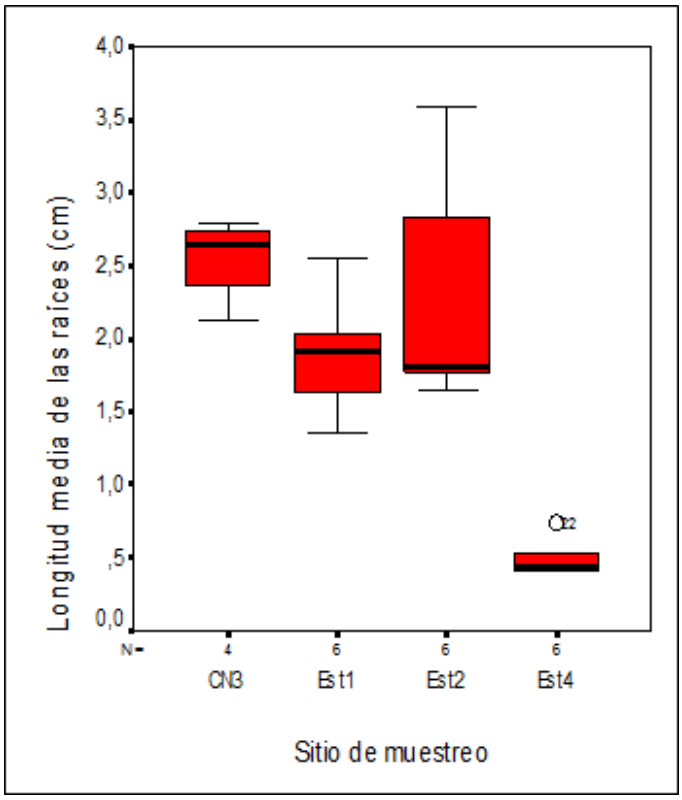
Fig. 29: Pelagial del lago en diciembre 2009; Ensayos con cebolla





Prueba de Kruskal-Wallis, Lago adentro, época seca 2009, superficie

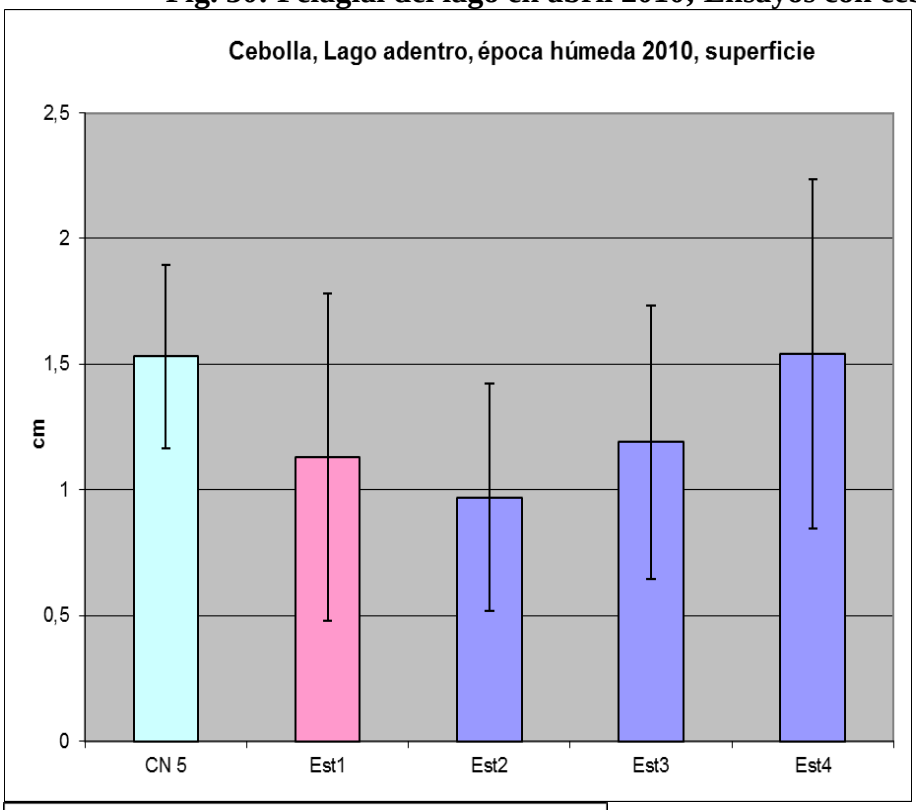
No existen diferencias significantes comparado con el control negativo. El menor crecimiento de las raíces se observa en las estaciones 1 y 4. Las observaciones para la estación 4 coinciden con los hallazgos en las semillas de Lechuga.

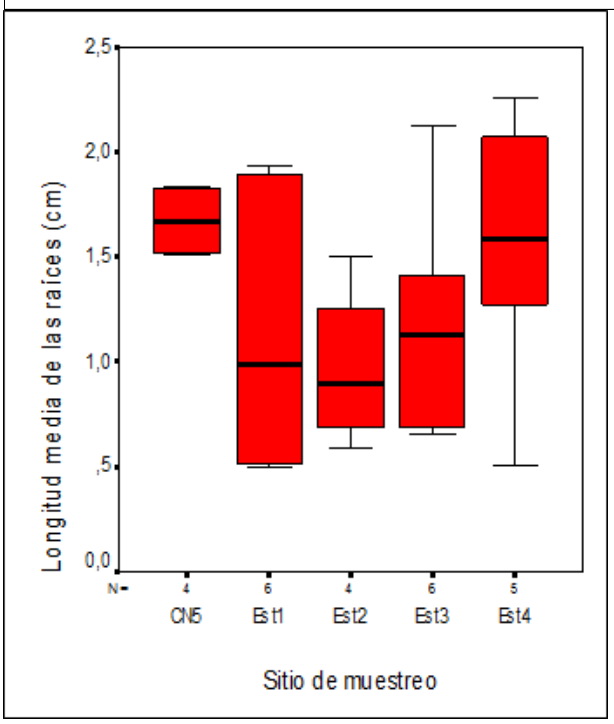


Prueba de Kruskal-Wallis, Lago adentro, época seca 2009, fondo

En la estación 4, en la muestra tomada sobre el fondo de sedimentos negros, se inhibe significativamente el crecimiento de las raíces, lo que coincide con las observaciones en la Lechuga.

Fig. 30: Pelagial del lago en abril 2010; Ensayos con cebolla

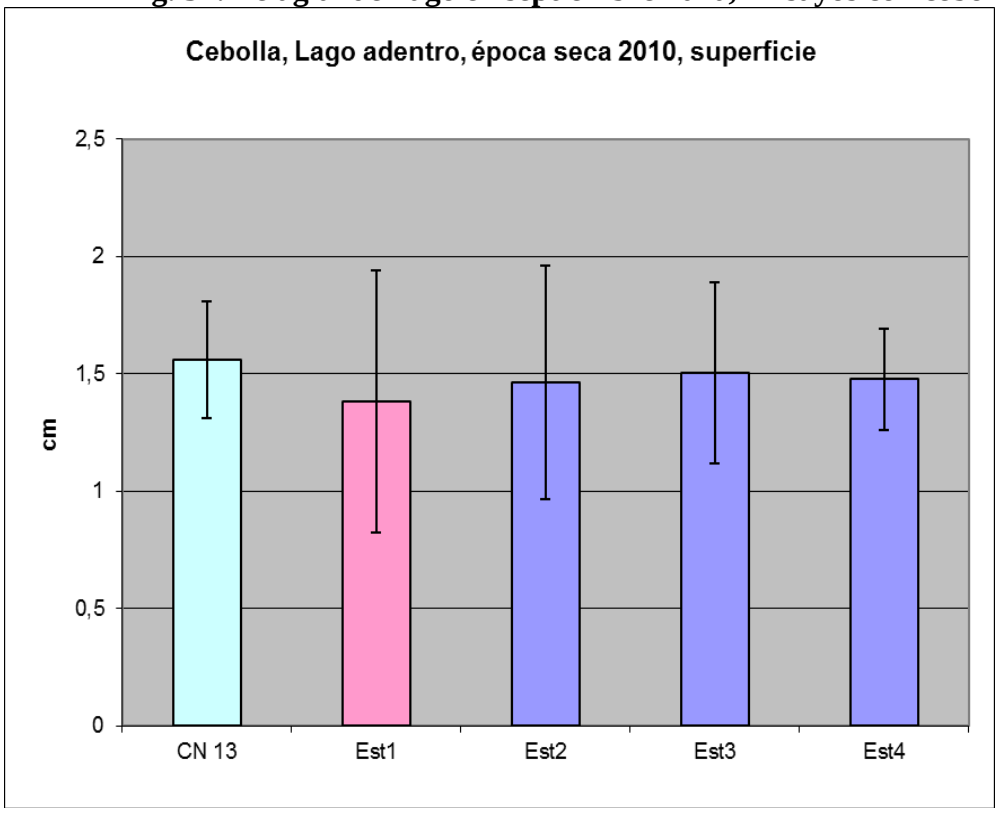


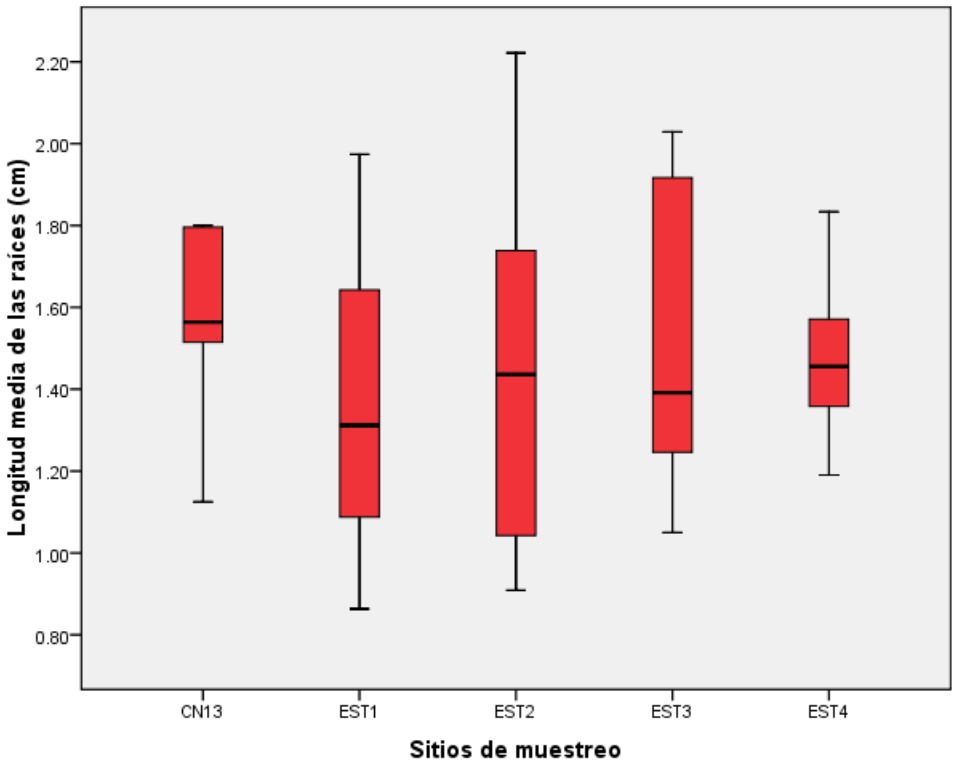


Prueba de Kruskal-Wallis, Lago adentro, época húmeda 2010, superficie

Se observa una inhibición significante del crecimiento de las raíces en las estaciones 1, 2 y 3. El menor crecimiento de las raíces se muestran en el ensayo de la estación 2. Aúnque la estación 4 se encuentra muy cercana a la estación 3, no es diferente del control negativo. El comportamiento es muy semejante al ensayo con las semillas de lechuga.

Fig. 31: Pelagial del lago en septiembre 2010; Ensayos con cebolla





No existen diferencias significativas, ni entre ensayos, ni comparado con el control negativo.

12 Ensayos ecotoxicológicos – Discusión y conclusiones

Casi todos los ensayos realizados muestran una desviación estándar elevada así que es difícil encontrar diferencias estadísticas. Eso es cierto para los ensayos de lechuga y de cebolla.

Las cebollas, por otro lado, muchas veces no desarrollan raíces, por tratarse de material defecto, lo que no se puede ver antes del ensayo, de tal forma que el tamaño de la muestra (n) se puede disminuir drásticamente por causas ajenas al ensayo.

En las semillas de lechuga también casi siempre se encuentran uno a tres semillas inviables, pero eso no tiene influencia significativa en el tamaño de la muestra (n). Si la cantidad de semillas brotadas es menor a 20 semillas se puede deducir que el agua de ensayo les causó daño.

En la mayoría de los ensayos no se observan diferencias significativas entre los ensayos y el control negativo. Aparentemente, la alta concentración de nutrientes y materia orgánica estimula el crecimiento de las plantas de ensayo camuflando de esta manera la presencia de tóxicos en el agua. Especialmente las semillas de lechuga reaccionan con una elongación de sus radículas en caso de eutrofización de las aguas. La cebolla parece ser más sensible a la toxicidad y muestra la inhibición del crecimiento de sus raíces en lugares especialmente contaminados, como por ejemplo el efluente de la planta de la planta de tratamiento de Puchu Khollo.

Consecuentemente, estos ensayos ecotoxicológicos con plantas superiores no son válidos para aguas eutrofizadas.

13 Pruebas de bacterias fecales – Resultados

En todos los análisis realizados, el ensayo de control negativo ha dado resultados negativos, es decir no había crecimiento de bacterias. Eso quiere decir, que no había contaminación con bacterias durante los ensayos y los análisis son válidos.

Tabla 5: Resultados de pruebas de bacterias

Lugar de muestreo:	**Número aproximado de bacterias en 100 ml**	
1 Suriquina (E. seca 2009)	< 10	bajo
1 Suriquina (E. seca 2010)	< 10	bajo
2 Katari cabecera (E. seca 2009)	< 10	bajo
3 Seco, antes Puchu Khollo (E. húmeda 2010)	> 100	alto
3 Seco, antes Puchu Khollo (E. seca 2010)	>> 100	muy alto
3A Efluente Puchu Khollo (E. húmeda 2010)	>> 100	muy alto
3A Efluente Puchu Khollo (E. seca 2010)	>> 100	muy alto
4 Seco, Viacha (E. húmeda 2010)	> 100	alto
4 Seco, Viacha (E. seca 2010)	>> 100	muy alto
5 Seque-Jalaqueri (E. húmeda 2010)	> 10	intermedio
5 Seque-Jalaqueri (E. seca 2010)	> 100	alto

6 Pallina, antes Viacha (E. seca 2009)	> 10	intermedio
6 Pallina, antes Viacha (E. seca 2010)	> 100	alto
7 Pallina, Puente (E. húmeda 2010)	> 100	alto
7 Pallina, Puente (E. seca 2010)	> 100	alto
8 Katari, Puente (E. húmeda 2010)	> 100	alto
9 Katari bajo (E. húmeda 2010)	> 100	alto
9 Katari bajo (E. seca 2010)	> 100	alto
10 Huancané (E. húmeda 2010)	< 10	bajo
11 Sehuenca (E. húmeda 2010)	> 10	intermedio
11 Sehuenca (E. seca 2010)	< 10	bajo
Lago, orilla		
COHA 6 (E. seca 2009)	> 100	alto
COHA Pueblo (E. seca 2009)	>> 100	muy alto
COHA 3 (E. seca 2009)	> 100	alto
COHA 1 (E. seca 2009)	> 100	alto
Lago, bahía adentro		
Est.1A (E. seca 2009) superficie	> 100	alto
Est.1B (E. seca 2009) fondo	> 100	alto
Est.1 (E. húmeda 2010) superficie	> 100	alto
Est.1 (E. seca 2010) superficie		
Est.2A (E. seca 2009) superficie	> 100	alto
Est.2B (E. seca 2009) fondo	> 100	alto
Est.2 (E. húmeda 2010) superficie	> 100	alto
Est.2 (E. seca 2010) superficie		
Est.3 (E. húmeda 2010) superficie	>> 100	muy alto
Est.3 (E. seca 2010) superficie		
Est.4A (E. seca 2009) superficie	> 100	alto
Est.4B (E. seca 2009) fondo	>> 100	muy alto
Est.4 (E. húmeda 2010) superficie	>> 100	muy alto
Est.4 (E. seca 2010) superficie		

Se ha definido el riesgo como muy alto, cuando el color negro era ya muy intenso después de 24 horas de ensayo. El riesgo definido como muy alto es algo subjetivo, porque se basa solamente en la intensidad del color negro.

En el lago Titicaca siempre se encontró un riesgo por bacterias fecales entre alto y muy alto, sea en las orillas o en aguas libres, sea en época seca o en época húmeda.

En los ríos existen diferencias en el grado de contaminación fecal.

En los dos ríos de referencia no se podía verificar la coloración de las tiras, igual como en los controles negativos. Pero por la relativa insensibilidad del método no se puede afirmar la total ausencia de bacterias fecales. Por este motivo, se habla de un número de bacterias menor a 10 por 100 ml de agua y un bajo riesgo.

Otro río con bajo riesgo en época húmeda es el río Huancané, porque no fluye por zonas de asentamiento humano. No se podía verificar eso en época seca, porque el río se encontró seco.

Varios ríos aumentan la cantidad de bacterias fecales durante la época de estiaje, solo el río Sehuenca muestra una cantidad de bacterias menor en época seca. Así que el río Sehuenca parece ser relativamente limpio.

El mayor riesgo para la salud humana son las aguas de los ríos Seco, Seque y Pallina, y el río Katari después de su confluencia con el río Pallina.

14 Pruebas de bacterias fecales – Discusión y conclusiones

El método ha mostrado diferencias de respuesta en los distintos lugares de muestreo. Algunos de los ríos analizados muestran bajo riesgo, en especial, los dos ríos de referencia, como era de suponer.

Todos los puntos muestreados en el lago Titicaca, mostraron un riesgo alto para la salud humana, también aguas adentro de la bahía, consecuencia de la gran cantidad de materia fecal llevado por los ríos a la bahía de Cohana.

Como esta evaluación de la concentración de bacterias fecales tiene un alto significado para la estimación de los riesgos en la salud humana y es suficientemente sensible para poder detectar diferencias (tres rangos de riesgo), se recomienda este método para su transferencia a la población lugareña.

15 Macrófitas del Lago Titicaca – Resultados

Se encontraron nueve géneros de plantas Macrófitas en la bahía de Cohana (nombres científicos en base al libro “Lago Titicaca” de Dejoux & Iltis 1991) Las especies no siempre se podían identificar, pero la identificación del género en este caso, es suficiente para fines de bioindicación.

Tabla 6: Lista de especies de Macrófitas

- Schoenoplectus californicus ssp. totora
- Hydrocotyle ranunculoides
- Lemna spp.
- Azolla filiculoides
- Potamogeton strictus
- Myriophyllum elatinoides
- Elodea potamogeton
- Caráceas (varias especies)
- Algas filamentosas (una mezcla de especies, principalmente Chlorophyta)

Durante los muestreos en época seca y en época húmeda se encontraron las mismas especies de plantas acuáticas.

Las grandes cantidades de Lemna (lenteja del agua) reportada anteriormente desaparecieron. Lemna es una planta indicadora de la hipertrofización de aguas y dañino para el crecimiento de otras especies de plantas acuáticas y la vida acuática en general, en sus áreas de proliferación. La razón es su crecimiento denso en la superficie

del agua lo que ni permite la entrada de oxígeno atmosférico ni la actividad fotosintética dentro de la columna del agua. Eso lleva a un déficit de oxígeno en el agua dañino para toda la vida acuática.

Durante las salidas actuales, en algunos lugares proliferó Hydrocotyle, también indicadora de aguas altamente eutrofizadas. Esta planta se cosecha a menudo por los lugareños como forraje para su ganado. Según ellos es muy palatable, apreciado por el ganado y mejor que la totora para su crecimiento.

Las plantas sumergidas como Elodea, Potamogeton y Myriophyllum se observaron en pocas cantidades y generalmente enredadas por las algas filamentosas que impiden su crecimiento normal y causan su muerte.

Las praderas densas de Caráceas se observaron principalmente entre Quehuaya y Pariti en aguas abiertas fuera de los totorales. Caráceas son indicadoras de buena calidad de agua hasta aguas poco eutrofizadas. En Europa, las caráceas se han identificado como un grupo de macrófitas sensible a la contaminación (Krause 1981). En el caso de la bahía de Cohana, se observaron muchas manchas amarillas en las praderas de Caráceas donde las plantas estaban muertas, alrededor de un 50 % en aguas abiertas lejos de las riberas aumentando la superficie de manchas amarillas hacia la isla Pariti.

16 Macrófitas del Lago Titicaca – Discusión y conclusiones

En la bahía de Cohana se encuentran varias plantas indicadoras de eutrofización elevada, como la Lemna, la Azolla, la Hydrocotyle y en especial la proliferación de algas filamentosas. Las algas enredan las plantas acuáticas sumergidas causando su muerte.

Por otro lado, las caráceas, indicadores de una calidad buena a regular de las aguas, están deteriorándose formando grandes manchas amarillas de plantas muertas.

Se puede usar el avance de estas manchas amarillas como indicador del avance de la contaminación.

17 Resumen de conclusiones

Después de los ensayos preliminares en época seca de 2009 y época húmeda de 2010, se seleccionaron los **lugares de muestreo definitivos** en los ríos y en el lago.
En el lago se obviaron los puntos en la orilla, en primer lugar porque todos son altamente contaminados con bacterias fecales y muestran lodos negros profundos. Por otro lado, los lodos dificultan la accesibilidad y la toma de muestras.

Se definieron finalmente tres estaciones de muestreo importantes:

- Estación 1, en aguas libres, sobre praderas de caráceas
- Estación 2, cerca de la isla Pariti, donde comienzan los totorales

- Estación 3/4, en el puerto de la isla Pariti (estos dos puntos se encuentran muy cercanos uno al otro y casi no muestran diferencia)

En los ríos se definieron dos puntos de referencia (especialmente para la fauna béntica), uno en un río de origen glaciar, otro en un río de serranía. Para fines de los ensayos de laboratorio se define el río Suriquiña, río de origen glaciar, que tiene un caudal regular durante todo el año.
Aparte de estos puntos de referencia se seleccionaron 9 puntos de monitoreo en diferentes ríos. En los ríos contaminados principales se tienen varios puntos de muestreo.

Los **ensayos ecotoxicológicos** no se recomiendan ni para el monitoreo con fines científicos, menos para la transferencia de la metodología a los lugareños. El crecimiento de las radículas en los brotes de lechuga y también en las cebollas aumenta con la contaminación orgánica o, por lo menos, no disminuye sustancialmente, por el aporte de nutrientes en gran cantidad. Eso camufla cualquier otro tóxico probablemente presente en el agua. Por otro lado, el buen crecimiento de las raíces de las dos especies comestibles puede llevar los campesinos a la conclusión que estas aguas son buenas para el riego y no constituyen ningún peligro.

Por otro lado, los ensayos ecotoxicológicos se realizan con el **agua** de los ríos y del lago. Muchos contaminantes se acumulan en los **sedimentos** de los cuerpos de agua, que actúan como sumidero final. Así, los ensayos no reflejan la situación real y solo reaccionan en casos muy extremos.
Por este motivo, la fauna béntica, que vive encima y adentro de los sedimentos acuáticos, parece ser un mejor bioindicador.

Los **ensayos indicadores de la contaminación fecal** han dado buenos resultados. Todos los lugares del lago y muchos ríos mostraron alta incidencia de contaminación fecal.
La sensibilidad del ensayo es suficiente para indicar riesgos para la salud humana y animal, y el ensayo es relativamente fácil de realizar. Cuando se traspasa el método a la población del lugar hay que poner especial atención en el riesgo de infectarse con patógenos durante el ensayo y concientizar en el cuidado personal (usar gantes, lavado de manos) y la limpieza minuciosa de todo el material y mesas que estaban en contacto con el material contaminante con soluciones antibacteriales, que se van a proveer junto con el Kit.

Las **plantas acuáticas en el lago Titicaca** son muy distintas en su calidad de bioindicadores. La cantidad de plantas flotantes indicadoras de eutrofización, como la Lemna y la Azolla, es muy cambiante y por eso **la observación de su cobertura de superficie del agua no es recomendable** para evaluar ni la contaminación ni la hipertrofización de las aguas.

Por otro lado, en la bahía de Cohana existen densas praderas subacuáticas de caráceas. Estas **praderas de Caráceas** y su estado de salud pueden servir para un monitoreo a largo plazo, midiendo la extensión de praderas en buen estado (verde intensivo) frente a la superficie de fondo cubierta por plantas amarillas en estado de putrefacción y/o las partes del fondo sin cobertura de caráceas. Las caráceas son indicadoras de calidad de

agua buena a regular. Viven totalmente sumergidas y están enraizadas en el sedimento. Este tipo de plantas acuáticas son los mejores indicadores (Kohler 1995, Weyer 2004).

Recomendaciones

Acerca de entrega y uso de los Kits:

- Entregar los 4 Kits a colegios de la región de la bahía de Cohana, por el mejor cuidado que se puede dar al material en los colegios que en una sede social de los lugareños.
- Obligar a los colegios beneficiarios de mantener los Kits en buen estado y realizar los ensayos requeridos por los lugareños, con los alumnos del colegio respectivo y los lugareños interesados.
- No usar los ensayos ecotoxicológicos con cebolla y lechuga en aguas eutrofizadas.
- Poner el mayor cuidado en higiene y desinfección durante los ensayos.

Acerca de la observación de la flora y fauna:

- Observar en el lago especialmente el grado de salud de las praderas de caráceas y la extensión de praderas amarillentas muertas, porque las caráceas crecen en el sedimento y totalmente sumergidas.
- Poner énfasis en la observación de la fauna bentónica en los ríos, porque estos animales viven en contacto continuo con los sedimentos.

Acerca de la capacitación de los beneficiarios:

- Seleccionar colegios en las poblaciones de la bahía Cohana con los siguientes criterios:
    - Distribución homogénea en la cuenca.
    - Dirección y por lo menos un profesor interesados en el tema y en la inclusión de los ensayos al curriculum escolar.
    - Espacio definido y seguro para el Kit.
- Hacer convenios con los colegios seleccionados, que incluyen el préstamo de materiales a los lugareños en caso se solicitud y la supervisión técnica de todos los ensayos por parte del profesor entrenado del colegio.
- Realizar la capacitación en los colegios beneficiarios de los Kits, no solo a los profesores sino también a los lugareños interesados. El tiempo ideal para el curso son 5 días, tiempo requerido para el ensayo más largo.
- Usar la guía para maestros y estudiantes del CIID (2008), el video elaborado por AguAmiga, y la guía corta elaborada durante este estudio (Anexo 14)
- Entregar guías y video a los colegios junto con el Kit.

Bibliografía

AQUATOX (2000): La Red Escolar Internacional sobre la Toxicidad del Agua. http://www.aquatox.net

CASTILLO, G. (2004): Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. 202 pp. www.idrc.ca/es/ev-66572-201-1-DO_TOPIC.html

CIID (2008): Guía para los maestros y estudiantes. Proyecto AguAmiga/Aquatox. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá.

IRG (2009): Informe Preliminar del junio 2009 "Análisis del monitoreo de calidad ambiental en los cuerpos de agua en el eje hidrográfico El Alto – Lago Titicaca"

DEJOUX, C. & A. ILTIS (eds.) (1991): El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico acrual. ORSTOM, Paris y HISBOL, La Paz

KOHLER, A. (1978): Methoden der Kartierung von Flora und Vegetation von Süßwasserbiotopen. Landschaft und Stadt, 10(2): 73-85.

KOHLER, A. (1995): Wasserpflanzen als Bioindikatoren - was können sie als Zeigerorganismen für Gewässerbelastung leisten? Ber. Inst. Landschafts-Pflanzenökologie Univ. Hohenheim 4:15-28.

KRAUSE, W. (1981): Characeen als Bioindikatoren für den Gewässerzustand. Limnologica, 13: 399-418, Berlin.

MELZER, A. (1985): Makrophytische Wasserpflanzen als Bioindikatoren. Naturwissenschaften 72:456-460.

MELZER, A. (1988): Der Makrophytenindex - Eine biologischen Methode zur Beurteilung der Nährstoffbelastung von Seen. Habilitationsschrift TU München, 249 S.

MELZER, A. (1994): Möglichkeiten einer Bioindikation durch submerse Makrophyten – Beispiele aus Bayern. Beiträge zur angewandten Gewässerökologie Norddeutschlands 1: 92-102.

MELZER, A.; GROSSER, S.; POHL, W. (1996): Untersuchung des Schilfrückgangs an bayerischen Seen. Forschungsprojekt des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen. In: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (LFU; Hrsg.): Schriftenreihe Heft 141, München.

STAB, S. (1990): Vegetation und Hydrochemie tropischer Hochgebirgslagunen in der Cordillera Real – Bolivien.- Tesis de Diploma, Muenster, Alemania

WEYER, K. van de (2004): Die Bewertung von Fließ- und Stillgewässern mit Makrophyten gemäß EU-WRRL und FFH-Richtlinie in Nordrhein-Westfalen. Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Tagungsbericht (Köln), Werder.