



ANEXO 5 – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN O PLAN DE TRABAJO PARA LAS CATEGORÍAS A Y B RESPECTIVAMENTE.

CATEGORÍA A _ PROYECTO DE INVESTIGACIÓN (Máx. 10 carillas):

1 TITULO

**MODIFICACIÓN DE LA TRAMA TRÓFICA EN LA LAGUNA BLANCA
TENDIENTE A ASEGURAR EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE AL ESTE DEL ARROYO MALDONADO**

2 PALABRAS CLAVES (no más de tres)

calidad de agua; conservación; rehabilitación.

3 DURACIÓN EN MESES

24 meses

4 RESUMEN DEL PROYECTO (No más de una carilla)

El crecimiento no controlado de las poblaciones de fitoplancton (floración o *bloom*) es una de las consecuencias más comunes de la contaminación antrópica por nutrientes de lagos someros (eutrofización). Este tipo de contaminación se ha convertido en la problemática más seria y extendida de los sistemas acuáticos tanto a nivel nacional, como mundial. La abundante biomasa producida por las floraciones puede descomponerse generando malos olores, desoxigenando el agua y causando la muerte masiva de peces. Uno de los inconvenientes más serios asociados a la eutrofización es la toxicidad de ciertos metabolitos secundarios de las cianobacterias (cianotoxinas), que representan un creciente peligro para la salud humana.

Considerando en conjunto la situación actual de la laguna Blanca y las tendencias de los últimos 150 años, cabe esperar a corto plazo un importante detrimento en la calidad de agua relacionado al incremento en la frecuencia y duración de blooms fitoplanctónicos. Esta situación podría llegar a provocar estados turbios lo suficientemente estables como para imposibilitar la utilización del sistema como fuente de agua potable, lo que genera un importante aumento de los costos operativos a la empresa. Es por esta razón que se hace urgente intervenir en el sistema de forma de revertir esta marcada tendencia.

La presente propuesta de trabajo involucra modificar la proporción de abundancia de organismos nectónicos planctívoros/bentívoros vs. piscívoros por medio de la introducción de estos últimos desde un sistema cercano.

Se espera que esta modificación deliberada de la trama trófica (biomanipulación) mejore significativamente la calidad de agua a través de los siguientes mecanismos: a) una disminución en la concentración de nutrientes disponibles para el crecimiento fitoplanctónico, b) una disminución en la presión de depredación sobre el zooplancton (especialmente sobre los grandes cladóceros), el que aumentaría su número y tamaño y en consecuencia el forrajeo sobre el fitoplancton. La menor disponibilidad de nutrientes y la mayor presión de forrajeo disminuirá la biomasa fitoplanctónica y la frecuencia de ocurrencia de cianobacterias potencialmente tóxicas.

5 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A SER ABORDADO Y RELEVANCIA DEL MISMO COMO LIMITANTE PARA LA EMPRESA

5.1 EUTROFIZACIÓN Y CALIDAD DE AGUA

El crecimiento no controlado de las poblaciones de fitoplancton (floración o bloom) es una de las consecuencias más comunes de la contaminación antrópica por nutrientes de lagos someros (eutrofización) (Tarczyńska *et al.* 2001). La abundante biomasa producida por las floraciones puede descomponerse generando malos olores, desoxigenando el agua y causando la muerte masiva de peces. Uno de los inconvenientes más serios asociados a la eutrofización es la toxicidad de ciertos metabolitos secundarios de las cianobacterias (cianotoxinas), que representan un creciente peligro tanto para la salud humana como la ambiental (Jochimsen *et al.* 1998, Tarczyńska *et al.* 2001). Este tipo de fenómenos afectan profundamente la calidad del agua, llegando a impedir la utilización del recurso para algunos fines (recreación, potabilización, etc.) (Moss *et al.* 1996).

5.2 LA LAGUNA BLANCA: pasado, presente... ¿y futuro?

Laguna Blanca es un sistema poco profundo ubicado en Manantiales, Maldonado (34°54' S, 54°50' W). El área del cuerpo de agua y su cuenca son de aproximadamente 0,5 y 7,5 km², respectivamente, y presenta una profundidad máxima de 3,6 m. Desde 1971 se utiliza para el suministro de agua de la zona balnearia ubicada entre la Barra de Maldonado y José Ignacio.

Detallados estudios paleolimnológicos han permitido reconstruir la historia de los últimos 1.100 años de la Laguna Blanca (García-Rodríguez *et al.* 2002, García-Rodríguez *et al.* 2004). De acuerdo a los mismos, el sistema presentó cargas de nutrientes moderadas (mesotrofia) hasta la década de 1960, período en que se incrementaron las actividades ganaderas y forestales. Posteriormente, durante la década de los 90's, el desarrollo turístico y urbano, en conjunto con la elevada demanda de agua potable, causó la reducción de su área, comenzándose a registrar blooms fitoplanctónicos. La reducción del área se acentuó durante el período 1995/2000 debido a una importante sequía asociada al fenómeno de El Niño, provocando una mortandad masiva de peces y una colonización extensiva de la macrófita *Egeria densa* Planch. (Mazzeo *et al.* 2003). En el período 2000-2001 el sistema se encontraba en un estado de aguas claras asociado a la elevada cobertura de *E. densa* (Mazzeo *et al.* 2003). A la fecha, la cobertura de *E. densa* ha disminuido y se han registrado cada vez más frecuentes blooms fitoplanctónicos de especies potencialmente tóxicas (Goyenola *et al.* 2005, Iglesias *et al.* 2005).

Claro síntoma de los recientes disturbios, su comunidad neotónica está compuesta solamente por dos especies de pequeños peces, *Jenynsia multidentata* (Jenyns 1842) y *Cnesterodon decemmaculatus* (Jenyns 1842) y un camarón, *Palaemonetes argentinus* (Nobili 1901) (Mazzeo *et al.* 2003). La carencia de piscívoros ha determinado elevadísimas abundancias de estos peces y camarones (Goyenola 2005) en comparación con los demás sistemas de la región (proyecto South American Lake Gradient Analysis, datos no publicados). En este sistema *J. multidentata* presenta una dieta marcadamente zooplanctívora, mientras *C. decemmaculatus* y *P. argentinus* presentan mayoritariamente perifiton e ítems bentónicos en sus dietas (Goyenola 2005). *Cnesterodon decemmaculatus* presenta una abundancia mucho menor que las otras especies nombradas (Goyenola 2005).

Considerando la tendencia ambiental de los últimos 150 años en la laguna Blanca, la situación actual¹ y el estado del conocimiento en ecología de los sistemas lénticos someros, cabe esperar a corto plazo un importante detrimento en la calidad de agua relacionado al incremento en la frecuencia y duración de floraciones fitoplanctónicas (Moss, 1996, Scheffer 1998). Es también esperable que el incremento en la frecuencia y duración de las floraciones pueda llegar a imposibilitar la utilización del sistema con los fines actuales. De no poder utilizar esta fuente, la empresa puede potabilizar desde una fuente alternativa (arroyo San Carlos), aunque con importantes desventajas. La primer desventaja hace a la distancia del punto de toma respecto a la planta potabilizadora - más de 20 kilómetros - Equipos de bombeo comandados a distancia, cañería de tal longitud por zonas suburbanas y urbanas representan vulnerabilidades importantes a considerar en un suministro que debe ser continuo y más en particular en momentos de suma sensibilidad y significación como lo es la plena temporada turística para nuestro país. La segunda desventaja se refiere a la variabilidad de la fuente y su seguridad de explotación, ya sea tanto en época de estiaje -coincidente

¹ pequeña área, elevada carga de nutrientes, inexistencia de peces piscívoros, elevada abundancia de especies zooplánctivas y bentívoros, disminución de la cobertura de macrófitas sumergidas, aumento de la frecuencia y duración de blooms fitoplanctónicos de especies potencialmente tóxicas.

justo0020con la temporada estival - como en épocas de fuertes lluvias e inundaciones que impiden el acceso a los lugares de toma. Cabe destacar también que por disposiciones del organismo regulador en la materia, la Dirección Nacional de Hidrografía y también de la Dirección Nacional de Medio Ambiente, la extracción de agua de esa fuente está limitada de manera tal de respetar otros usos de agua del arroyo San Carlos. La tercer desventaja se presenta también respecto a la variabilidad de dicha fuente, no solo en su aspecto hidrológico -estiajes e inundaciones- si no en los aspectos de calidad y la adecuación de los tratamientos a los rápidos cambios en la calidad referidos no solo a la variación del caudal y los arrastres producidos si no también por eventuales descargas aguas arriba al referido cuerpo. Por último también como desventaja se deben considerar los importantes mayores costos de explotación de esa fuente respecto a la extracción de agua de la Laguna Blanca. Extraer y conducir agua desde más de 20 kilómetros de distancia representa un importante costo que tomarla desde la Laguna Blanca contigua a la Planta Potabilizadora. De acuerdo a estos antecedentes resulta urgente implementar medidas de rehabilitación para revertir la tendencia actual, logrando asegurar una explotación sustentable en el sistema.

6 RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO DE LOS MISMOS EN LA EMPRESA

La intervención propuesta pretende mejorar significativamente la calidad de agua en la laguna Blanca, disminuyendo la incidencia de las floraciones fitoplanctónicas de forma que permita suministrar agua potable de excelente calidad y a costos adecuados.

7 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA TANTO A NIVEL NACIONAL COMO MUNDIAL

Todos los organismos modifican su ambiente y, entre ellos, la especie humana no es una excepción. El marcado crecimiento poblacional y la expansión del poderío tecnológico han cambiado drásticamente el alcance y naturaleza de las modificaciones ambientales de origen antrópico. En la actualidad entre la tercera parte y la mitad de la superficie terrestre ha sido transformada por la acción humana. La demanda de agua potable es intensa y ya existen problemas de abastecimiento para 1.200 millones de personas (Vitousek *et al.* 1997).

Si bien en Uruguay debemos considerarnos privilegiados por nuestra disponibilidad hídrica, la abundancia ha contribuido a su subvaloración. Particularmente en las zonas sur y este, consecuencia del mayor desarrollo demográfico, industrial, agronómico y turístico, o simplemente de inadecuados o inexistentes planes de manejo, la degradación ambiental afecta profundamente la calidad de agua de nuestros sistemas acuáticos (Scasso and Mazzeo 2000).

El aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos (particularmente nitrógeno y fósforo), relacionado con el uso de fertilizantes, detergentes, la erosión y al vertido directo de materia orgánica, son la causa del fenómeno denominado eutrofización antrópica (Lampert and Sommer 1997). La eutrofización se ha convertido en la problemática más seria y extendida de los sistemas acuáticos tanto a nivel nacional (Mazzeo *et al.* 2002), como mundial (Hosper 1997), esperándose un futuro agravamiento relacionado con el desarrollo económico y el cambio global (Jeppesen *et al.* 2005).

A nivel internacional, durante las últimas décadas, los esfuerzos fueron puestos en combatir la eutrofización reduciendo el ingreso de fósforo a los sistemas. Varios lagos respondieron rápida y positivamente, (Edmondson and Lehman 1981, Bernhardt *et al.* 1985, Bäuerle and Gaedke 1998, Jeppesen *et al.* 2002), mientras otros presentaron una elevada resistencia, lográndose sólo pequeñas mejoras (Marsden 1989, Sas 1989). En estos casos, las medidas tendientes a mejorar la calidad del agua, debieron ser complementadas por acciones que reduzcan los mecanismos de resistencia existentes entre el pasaje de un estado turbio a uno de aguas claras (Jeppesen 1998, Scheffer and Jeppesen 1998).

8 EXPERIENCIA DEL TUTOR UNIVERSITARIO Y DEL GRUPO DE INVESTIGACION EN EL TEMA DEL PROYECTO

El Grupo de Investigación *Ecología y Rehabilitación de Lagos Poco Profundos* creado en 1997 con investigadores nacionales y extranjeros, ha generado un número considerable de proyectos de investigación, publicaciones científicas, formando simultáneamente jóvenes investigadores a nivel de Maestría y Doctorado. Uno de los objetivos de este Grupo es el desarrollo de metodologías que permitan la recuperación de lagos eutróficos aplicables a las condiciones económicas y sociales de América Latina. Precisamente, la presente propuesta puede constituir, en caso de ser aprobado, en uno de los pocos ejemplos en nuestro continente de aplicación de técnicas de biomanipulación con piscívoros nativos. Es importante destacar que el desarrollo de este proyecto ha sido posible gracias a un número de

investigaciones previas que fueron realizadas en este sistema, antecedentes que pueden ser consultados en los currículos del postulante como del tutor.

9 MARCO TEORICO

9.1 Nutrientes, Eutrofización y Estados Estables

En líneas generales un sistema acuático puede clasificarse como: oligotrófico (pobre en nutrientes), mesotrófico (estado intermedio) y eutrófico (rico en nutrientes) (Wetzel 1983). Por extensión de los principios termodinámicos a la ecología, se esperaría que la producción orgánica en los lagos sea una función de la disponibilidad de nutrientes (Carpenter and Kitchell 1996). Concordantemente, la oligotrofia se caracteriza generalmente por baja biomasa fitoplanctónica y alta transparencia del agua y la eutrofia por la intensa proliferación de productores primarios.

De acuerdo con la visión clásica, los cambios asociados al proceso de eutrofización ocurren de forma gradual asociados al gradiente de concentración de nutrientes y, en el caso de los lagos someros, se manifiestan fundamentalmente en alteraciones en la competencia entre los productores primarios (Phillips *et al.* 1978). El aporte de nutrientes estimula el crecimiento de fitoplancton, lo que disminuye la luz que llega al sedimento limitando de este modo el crecimiento de macrófitas sumergidas. Se inicia así un proceso de autopropagación donde se produce la desaparición gradual de la vegetación sumergida y la comunidad de productores primarios queda dominada totalmente por el fitoplancton (Jeppesen 1998).

La eutrofización se asocia entonces con *blooms* fitoplanctónicos (frecuentemente tóxicos), mortandades masivas de peces, generación de malos olores, disminución de la diversidad biológica e interferencias significativas con diversos usos de los recursos acuáticos (Hallegraeff 1992, Ryding and Rast 1992, Meybeck *et al.* 1996, Moss *et al.* 1996, Vezjak *et al.* 1998) (Fig. 1).



Fig. 1.- Esquema con las principales consecuencias del proceso de eutrofización en los sistemas acuáticos (modificado de Mazzeo *et al.* 2002).

Sin embargo se han observado lagos eutróficos con valores de biomasa fitoplanctónica muy diferentes para la misma carga de nutrientes y esa visión clásica de relaciones causales ha sufrido un amplio redireccionamiento. En 1986 se postuló que el desarrollo de la biomasa fitoplanctónica resulta condicionada tanto por controles ascendentes (disponibilidad de nutrientes y luz), como descendentes (por ej. pastoreo del zooplancton) (McQueen *et al.* 1986). Por su parte, Carpenter & Kitchell (1996) formularon la hipótesis de interacciones en cascada trófica que establece que las interacciones entre peces piscívoros y peces planctívoros (variaciones del cociente de biomasa piscívoros: planctívoros) afectan de forma indirecta la biomasa del fitoplancton al condicionar la presión de pastoreo del zooplancton. De esta forma interacciones en niveles superiores de la trama trófica se propagan hacia niveles inferiores (Fig.2). Reduciendo la biomasa de peces planctívoros, se provocaría una disminución en la presión de depredación sobre el zooplancton (especialmente sobre los grandes cladóceros), el que aumenta su número y tamaño y en consecuencia el forrajeo sobre el fitoplancton, mejorando la calidad de agua. En sistemas donde existe una gran abundancia de peces bentívoros o camarones que se alimentan de perifiton y bentos, reciclan los nutrientes, haciéndolos disponibles nuevamente para el crecimiento fitoplanctónico, constituyéndose un factor adicional en la resistencia del sistema (Fig.3). En algunos casos se ha registrado que este efecto resulta aún más relevante que la planctivoría (Horppila *et al.* 1998).

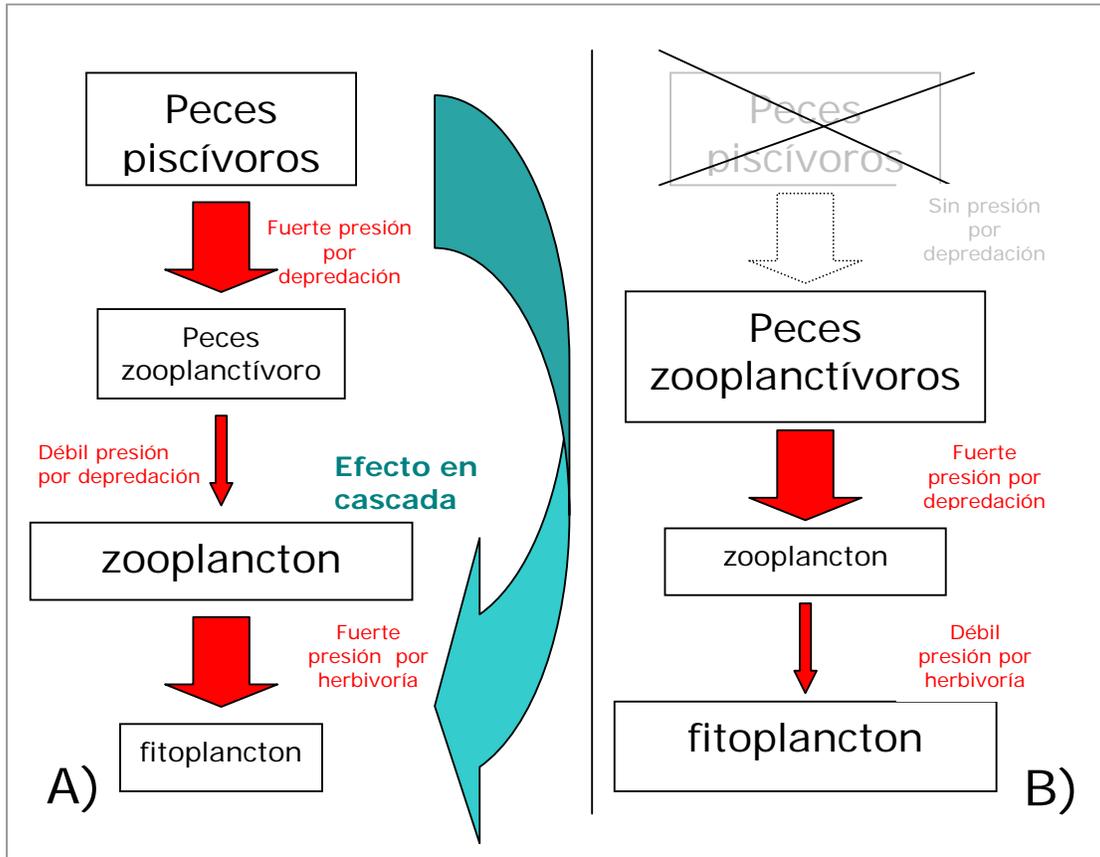


Fig. 2.- Esquemas de interacciones tróficas en lagos someros. A) controles descendentes sobre la población fitoplanctónica (McQueen et al. 1986) según la hipótesis de cascada trófica (Carpenter and Kitchell 1996). La fuerte presión por depredación ejercida por los peces piscívoros sobre los zooplanctívoros, condicionan indirectamente una disminución en la abundancia fitoplanctónica, lo que mejora –indirectamente- la calidad de agua. B) Esquema trófico en un sistema carente de piscívoros como la Laguna Blanca actualmente.

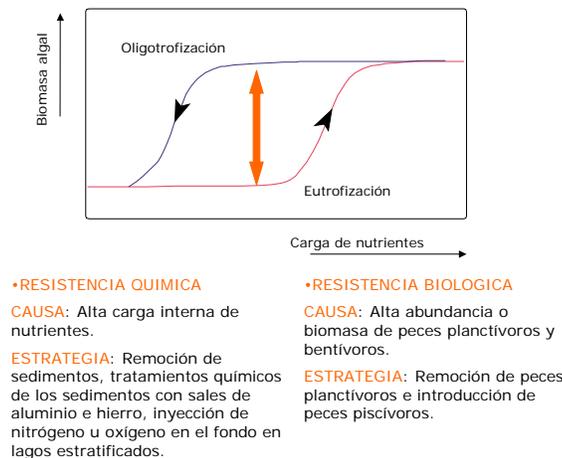


Fig 3. Distintos tipos de resistencia a la reducción del aporte externo de nutrientes. Los mecanismos pueden ser de naturaleza química y/o biológica, se indican en el esquema las posibles estrategias para revertir estos procesos. El sistema presenta un comportamiento de histéresis, en otras palabras puede presentar diferentes biomásas fitoplanctónicas con la misma carga de nutrientes en la columna de agua. Oligotrofización = empobrecimiento de nutrientes, eutrofización = enriquecimiento de nutrientes.

Según Scheffer y Jeppesen (1998), los lagos someros podrían alcanzar dos estados estables alternativos. Uno denominado “claro” con alta transparencia del agua, baja biomasa fitoplanctónica y predominio de macrófitas sumergidas y otro “turbio” con baja transparencia del agua, alta biomasa fitoplanctónica y sin macrófitas sumergidas. Estos dos estados pueden coexistir en un amplio rango de nutrientes, pero la estabilidad de una fase de agua clara decrece a medida que aumenta la concentración de nutrientes. Factores denominados “switches” (cambios bruscos - disturbios) pueden desencadenar el rápido pasaje de un estado a otro (Hosper 1998). Desde el punto de vista del manejo de recursos o de la conservación, resulta deseable mantener (o lograr conducir al sistema hacia) el estado de aguas claras (Moss et al. 1996).

10 METODOLOGÍA (materiales y métodos)

10.1 Estrategia

Se ha adoptado la estrategia tendiente a la conservación/rehabilitación del sistema propuesta por Moss (1996): 1) detección y eliminación de los causantes, 2) control de carga interna y externa de nutrientes, 3) reestructuración ecosistémica (generalmente por biomanipulación), 4) (re) establecimiento de macrófitas 5) estabilización y manejo del sistema restaurado.

Contextualizando a la Laguna Blanca lo anteriormente expuesto:

1) Los estudios paleolimnológicos permitieron detectar las causantes del proceso de eutrofización (forestación, ganadería, etc.). En las últimas dos décadas existió un marcado proceso de sustitución de estas dos actividades por emprendimientos turísticos. Simultáneamente el sector sur de la cuenca cuenta actualmente con saneamiento. Si bien es esperable una disminución de los aportes externos, el sistema cuenta con una elevada carga interna de nutrientes (asociado al sedimento) (Mazzeo et al. 2003)

2) Luego de la rápida colonización de *E. densa* a partir de 1999, se analizó la posibilidad de su cosecha como estrategia para extraer nutrientes del sistema. Sin embargo, no se aconseja esta práctica ya que las macrófitas compiten por nutrientes, luz y otros recursos con el fitoplancton (Ozimek 1990, van Donk et al. 1993). Adicionalmente generan condiciones que favorecen la desnitrificación, contribuyendo a disminuir la disponibilidad de nitrógeno para el crecimiento fitoplanctónico (Weisner et al. 1994). Reducen la mezcla de la columna de agua, favoreciendo la pérdida de fitoplancton por sedimentación (James and Barko 1990, Barko and James 1998) y pueden también producir sustancias alelopáticas (Wium-Andersen et al. 1982, Jasser 1995, Lauridsen and Lodge 1996, Burks et al. 2000). Adicionalmente brindan refugio al zooplancton (Timms and Moss 1984, Lauridsen and Buenk 1996, Jeppesen et al. 1998, Lauridsen et al. 1998). La conservación de la comunidad de macrófitas debería ser una prioridad en este sistema.

Por otra parte, la remoción del sedimento o su aislamiento físico o químico tendientes a disminuir el aporte de nutrientes desde los sedimentos implican elevadísimos costos, además de resultar difícilmente aplicable debido a la extensión del cuerpo de agua.

3) Este análisis nos sitúa necesariamente en la etapa de reestructuración de las comunidades bióticas por medio de la **biomanipulación** (Shapiro et al. 1975). La presente propuesta involucra disminuir la abundancia de organismos planctívoros y bentívoros por medio de la introducción de depredadores (peces piscívoros). Se espera que esta intervención resulte un factor disparador del pasaje hacia el estado de aguas claras, como el observado en el periodo 2000-2001 (Mazzeo et al. 2003).

4) Por último, una importante ventaja práctica es que aún está presente la comunidad de macrófitas, por lo que una intervención temprana evitará la necesidad de realizar reintroducciones o esperar largos periodos para su reestablecimiento.

10.2 Análisis metodológico

Los efectos serán analizados mediante un enfoque “*before and after*” (Underwood 1997), comparándose estadísticamente las principales características físico-químicas y biológicas antes y después de la introducción de piscívoros. La información previa proviene de los siguientes trabajos: (Mazzeo et al. 2003, Goyenola 2005, Goyenola et al. 2005, Iglesias 2005) y de los registros propios de la empresa.

El piscívoro seleccionado es *Oligosarcus jenynsii* (Gunther, 1864). Las principales razones para su elección son: a) es una especie nativa, b) es un depredador muy activo y c) es posible encontrarlo en gran

abundancia en sistemas cercanos. De acuerdo a cálculos de balances de masas, los piscívoros pueden controlar los stocks de planctívoros y su producción anual cuando se encuentran en una relación 25:75 en biomasa (piscívoros:plactívoros) (Wysujack and Mehner 2002). De acuerdo a las estimaciones realizadas anteriormente para este sistema (Mazzeo *et al.* 2003), resultaría necesario introducir 28 kg de piscívoros por hectárea. Los ejemplares se extraerán fundamentalmente de Laguna del Barro (34°51' S, 54°42' W). Este sistema presenta una muy elevada abundancia de esta especie y una alta turbidez causada por la resuspensión del sedimento, lo que permite tener certeza de que al reducir el stock de piscívoros, no disminuirá la calidad de agua por aumento de la biomasa fitoplanctónica (N. Mazzeo, comunicación personal).

Luego de la introducción se evaluará la sobrevivencia y reproducción de *O. jenynsii*, la evolución de las variables fisicoquímicas de la columna de agua y de las comunidades planctónicas, nectónicas y de macrófitas (ver 10.3).

El seguimiento y evaluación de una intervención ecosistémica como la propuesta, deberá realizarse necesariamente por un lapso superior al año, por lo que se evalúa que el tiempo adecuado para la ejecución del proyecto es de dos años. En función de los resultados del monitoreo al finalizar el primer año de estudio, se considerará la necesidad/posibilidad de reforzar la intervención inicial por mecanismos de introducción de más piscívoros o colaborar en la remoción de plactívoros/bentívoros (ej.: utilización de trampas).

10.3 Aspectos sobre los que se realizará el seguimiento *post*-biomanipulación

10.3.1 Macrófitas

La distribución espacial de las macrófitas emergentes y sumergidas será evaluada mediante la realización de mapeos al menos estacionales (la frecuencia podrá intensificarse de detectarse floraciones fitoplanctónicas). Las muestras serán tomadas con un grapnel en aproximadamente 100 sitios georeferenciados mediante GPS. Se calculará un estimador de PVI (porcentaje del volumen infectado por macrófitas sumergidas (Canfield *et al.* 1984)), como el producto del porcentaje de cobertura de la vegetación estimado visualmente, por la longitud de la planta, dividido por la profundidad de la columna de agua.

En base a esta información se seleccionarán tres estratos o tratamientos: sitios de aguas abiertas (PVI = 0%), sitios con vegetación sumergida (PVI \approx 75%) y parches de vegetación emergente, entre los que se investigará la existencia de diferencias ecológicamente significativas. El diseño muestral se basa en un programa de muestreo aleatorio estratificado con replicación por estrato (Snedecor and Cochran 1975).

10.3.2 Agua y plancton

En cada estación, se obtendrán para cada estrato muestras de agua, fitoplancton, zooplancton y necton (replicadas), hasta la culminación del proyecto.

Al mediodía y medianoche se registrará in situ utilizando sensores específicos oxígeno disuelto, conductividad y pH, tomándose simultáneamente las muestras de plancton y agua. Adicionalmente al mediodía se evaluará transparencia (minidisc).

A partir de las muestras de agua se determinará alcalinidad (APHA 1998), nitrógeno total y fósforo total (Valderrama 1981). Se obtendrán estimaciones indirectas de biomasa fitoplanctónica determinando Clorofila *a*, por extracción con etanol caliente a partir de muestras de agua de volumen conocido (Nush 1980) y de la composición utilizando microscopio invertido.

Para análisis cuantitativo, las muestras de zooplancton se coleccionarán con un tubo de 10 cm de diámetro y largo equivalente a la profundidad en el sitio, el que se utilizará repetidamente para tomar 20 L de agua que se filtrará con una malla de 50 μ m. Las muestras serán fijadas con formol al 4% de concentración final. Las muestras de fitoplancton se recogerán en botellas de 250 mL y serán fijadas con lugol. El conteo de zooplancton se realizará en cámaras Sedwick-Rafter de 2 y 5 mL bajo microscopio óptico, siguiendo la metodología de Paggi & de Paggi (1974). La abundancia será expresada como individuos/L.

10.3.3 Peces y camarones

El muestreo se realizará mediante la complementación de diferentes artes: pesca eléctrica (Perrow *et al.* 1996), trampas tipo nasa (minnow traps) (Goyenola 2005) y redes multimesh (Appelberg 2000).

Los organismos nativos del sistema serán fijados rápidamente en formol. Los ejemplares de *O. jenynsii* serán medidos (L_{std}), pesados y devueltos en el momento, conservándose submuestras con el objetivo de realizar estudio de contenido estomacal (Windell and Bowen 1978, Bowen 1983, Amundsen *et al.* 1996, entre otros, Pope *et al.* 2001).

En el laboratorio los peces y camarones se identificarán y cuantificarán, registrándose su peso, sexo, longitud estándar de los peces y la longitud de la parte dorsal del cefalopereión (sin incluir el rostro) de los camarones. Se calculará la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) correspondiente a cada arte (Jennings *et al.* 2001).

10.3.4 Análisis de datos

Se utilizarán métodos multivariados de clasificación y ordenación para identificar las variables más importantes en cuanto a la variación espacial y temporal de las diferentes comunidades (fitoplancton, zooplancton, camarones y peces). Las hipótesis nulas generadas en estos análisis exploratorios serán puestas a prueba mediante análisis de regresión, de varianza y de correspondencia canónica. Los datos podrán ser transformados para satisfacer los requerimientos del análisis (Zar 1999). La homocedasticidad y la distribución de los residuos serán testados respectivamente mediante el test C de Cochran y por inspección visual de los valores ajustados, respectivamente.

Posteriormente se realizarán comparaciones mediante el test de Tukey, procedimientos de correlación no paramétricos (Spearman, r_s) y paramétricos (Pearson, r) dependiendo de los tipos de datos disponibles.

11 DETALLE CUIDADOSO DE LAS TAREAS A SER REALIZADAS POR EL PASANTE

El pasante estará a cargo de las tareas relacionadas con las siguientes actividades:

- Evaluación pre-intervención.
 - diseño muestral
 - realización del muestreo
 - análisis de muestras
- Intervención comunitaria (introducción de piscívoros y remoción planctívoros/bentívoros)
 - diseño
 - realización
- Seguimiento, muestreos periódicos:
 - diseño muestral
 - realización del muestreo
 - análisis de muestras
- Análisis de datos
- Comunicación de resultados
- Evaluación y proyección

12 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

	Mes																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Evaluación pre-intervención	X																								
Intervención comunitaria (introducción de piscívoros/remoción de planctívoros/bentívoros)	X	X	X																						
Seguimiento (campo y laboratorio)			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Evaluación y toma de medidas adicionales						X					X					X									
Redacción de informes, comunicación de resultados																								X	X
Evaluación																								X	X

13 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS RELEVANTES.

Amundsen, P.-A., H.-M. Gabler, and F. J. Staldvik.
1996. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data –modification of the Costello (1990) method. *Journal of Fish Biology* **48**: 607-614.

APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th edition edition.

American Public Health Association,
Washington.

Appelberg, M., editor. 2000. Swedish standard methods for sampling freshwater fish with multi-mesh gillnets. Institute of Freshwater Research, Drottningholm.

- Barko, J. W., and W. F. James. 1998. Effects of submerged aquatic macrophytes on nutrient dynamics, sedimentation, and resuspension. Pages 197-217 *in* E. Jeppesen, Ma. Søndergaard, Mo. Søndergaard & K. Christoffersen, editor. *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. Springer, New York.
- Bäuerle, E., and U. Gaedke, editors. 1998. *Advances in Limnology* 53. Lake Constance: characterization of an ecosystem in transition. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Bernhardt, V. H., J. Clasen, O. Hoyer, and W. Wilhelms. 1985. Oligotrophication in lakes by means of chemical nutrient removal from the tributaries. Its demonstration with the Wahnbach Reservoir. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **70**:481-533.
- Bowen, S. H. 1983. Chapter 17. Quantitative Description of the Diet. Pages 325-336 *in* L. A. Nielsen and D. L. Johnson, editors. *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society, Bethesda.
- Burks, R. L., E. Jeppesen, and D. M. Lodge. 2000. Macrophyte and fish chemicals suppress *Daphnia* growth and alter life-history traits. *Oikos* **88**:139-148.
- Canfield, D. E. J., J. V. Shireman, D. E. Colle, W. T. Haller, C. E. I. Watkins, and M. J. Maceina. 1984. Prediction of chlorophyll a concentrations in Florida lakes: importance of aquatic macrophytes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* **41**:497-501.
- Carpenter, S. R., and J. F. Kitchell, editors. 1996. *The Trophic Cascade in Lakes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Edmondson, W. T., and J. T. Lehman. 1981. The effect of changes in the nutrient income on the condition of Lake Washington. *Limnol. Oceanogr.* **26**:1-29.
- García-Rodríguez, F., N. Mazzeo, P. Sprechmann, D. Metzeltin, F. Sosa, H. C. Treutler, M. Renom, B. Scharf, and C. Gaucher. 2002. Paleolimnological assessment of human impacts in Lake Blanca, SE Uruguay. *J. Paleolimnol.* **28**:457-468.
- García-Rodríguez, F., P. Sprechmann, D. Metzeltin, L. Scafati, D. L. Melendi, W. Volkheimer, N. Mazzeo, A. Hiller, W. von Tümpling Jr., and F. Scasso. 2004. Holocene trophic state changes in relation to sea level variation in Lake Blanca, SE Uruguay. *Journal of Paleolimnology* **31**:99-115.
- Goyenola, G. 2005. Estudio de la interacción neoton-macrófitas en una laguna eutrófica somera sin peces piscívoros: Uso del espacio y rol trófico de peces y camarones en la Laguna Blanca. Proyecto de Tesis de Maestría. Universidad de la República, Montevideo.
- Goyenola, G., C. Iglesias, M. Meerhoff, and N. Mazzeo. 2005. Spatial use of the nekton community in a subtropical shallow lake without piscivorous fish (Lake Blanca Uruguay). *in* *Shallow lakes, Dalfsen, the Netherlands*.
- Hallegraeff, G. 1992. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* **32**:79-99.
- Horppila, J., H. Peltonen, T. Malinen, E. Luokkanen, and T. Kairesalo. 1998. Top-down or Bottom-up Effects by Fish: Issues of Concern in Biomanipulation of Lakes. *Restoration Ecology* **6**:20-28.
- Hosper, H. 1997. *Clearing Lakes: an ecosystem approach to the restoration and management of shallow lakes in the Netherlands*. Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Institute of Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA). Lelystad.
- Iglesias, C. 2005. Distribución espacial del zooplancton en un reservorio sin peces piscívoros. Proyecto de Tesis de Maestría. Universidad de la República, Montevideo.
- Iglesias, C., G. Goyenola, M. Meerhoff, and N. Mazzeo. 2005. Effects of macrophytes and predation risk on the diel distribution of cladocerans in a subtropical lake (Lake Blanca, Uruguay). *in* *Shallow Lakes, Dalfsen, the Netherlands*.
- James, W. F., and J. V. Barko. 1990. Macrophyte influences on the zonation of sediment accretion and composition in a nort-temperate reservoir. *Arch. Hydrobiol.* **2**:129-142.
- Jasser, I. 1995. The influence of macrophytes on a phytoplankton community in experimental conditions. *Hydrobiologia* **306**:21-32.
- Jennings, S., M. J. Kaiser, and J. D. Reynolds. 2001. *Marine fisheries ecology*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Jenyns, L. 1842. Fish. Pages 1-172 *in* E. Smith, and Co., editor. *The zoology of the voyage of H. M. S. Beagle, under the command of Captain Fitzroy, R. N., during the years 1832 to 1836.*, London.
- Jeppesen, E. 1998. The ecology of shallow lakes. Trophic interactions in the pelagial. Doctor's dissertation (DSc). Silkeborg.
- Jeppesen, E., J. P. Jensen, and M. Søndergaard. 2002. Response of phytoplankton, zooplankton and fish to re-oligotrophication: an 11-year study of 23 Danish lakes. *Aquat. Ecosys. Health & Managm.* **5**:31-43.
- Jeppesen, E., T. L. Lauridsen, T. Kairesalo, and M. R. Perrow. 1998. Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton interactions in lakes. Pages 91-114 *in* E. Jeppesen, M. Søndergaard, and K. Christoffersen, editors. *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. Springer, New York.
- Jeppesen, E., M. Søndergaard, N. Mazzeo, M. Meerhoff, C. C. Branco, V. Huszar, and F. Scasso. 2005. Lake restoration and biomanipulation in temperate lakes: relevance for subtropical and tropical lakes. Pages 331-349 *in* V. Reddy, editor. *Restoration and management of tropical eutrophic lakes*. Science Publishers, Inc., New Hampshire.
- Jochimsen, E. M., W. W. Carmichael, J. An, D. M. Cardo, S. T. Cookson, C. E. M. Holmes, M. B. Antunes, D. A. de Melo Filho, T. M. Lyra, V. S. T. Barreto, S. M. F. O. Azevedo, and W. R. Jarvis. 1998. Liver failure and death after exposure to microcystins at hemodialysis center in Brazil. *N. Engl. J. Med.* **338**:873-878.
- Lampert, W., and U. Sommer. 1997. *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, NY.
- Lauridsen, T. L., and I. Buenk. 1996. Diel changes in the horizontal distribution of zooplankton in two shallow eutrophic lakes. *D Arch. Hydrobiol.* **137**:161-176.

- Lauridsen, T. L., E. Jeppesen, M. Søndergaard, and D. M. Lodge. 1998. Horizontal migration of zooplankton: predator-mediated use of macrophyte habitat. Pages 233–239 in E. Jeppesen, M. Søndergaard, and K. Christoffersen, editors. *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. Springer, New York.
- Lauridsen, T. L., and D. M. Lodge. 1996. Avoidance of *Daphnia magna* by fish and macrophytes: chemical cues and predator-mediated use of macrophyte habitat. *Limnol Oceanogr.* **41**:794–798.
- Marsden, S. 1989. Lake restoration by reducing external phosphorus loading: the influence of sediment phosphorus release. *Freshwat. Biol.* **21**:139-162.
- Mazzeo, N., J. Clemente, F. García-Rodríguez, J. Gorga, C. Kruk, D. Larrea, M. Meerhoff, F. Quintans, L. Rodríguez-Gallego, and F. Scasso. 2002. Eutrofización: Causas, consecuencias y manejo. Pages 39-55 in A. Domínguez and R. G. Prieto, editors. *Perfil ambiental del Uruguay*. Nordan, Montevideo.
- Mazzeo, N., L. Rodríguez-Gallego, C. Kruck, M. Meerhoff, J. Gorga, G. Lacerot, F. Quintans, M. Loureiro, D. Larrea, and F. García-Rodríguez. 2003. Effects of *Egeria densa* Planch. beds on a shallow lake without piscivorous fish. *Hydrobiologia* **506**:591-602.
- McQueen, D. J., J. R. Post, and E. L. Mills. 1986. Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **43**:1571-1581.
- Meybeck, M., E. Kuusisto, A. Mäkelä, and E. Mälkki. 1996. Water quality. Pages 9–33 in J. Bartram and R. Ballance, editors. *Water Quality Monitoring*. E and FN Spon, London.
- Moss, B., J. Madgwick, and G. Phillips. 1996. A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes. Environment Agency (CE), Norwich.
- Nobili, G. 1901. Decapodi raccolti dal Dr. Filippo Silvestri nell' America meridionale. *Bolletino dei Musei di Zoologia ed Anatomia Comparata della R. Università di Torino* **16**:1-16.
- Nush, E. 1980. Comparisons of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* **14**:14-36.
- Ozimek, T., Gulati, R.D., van Donk, E. 1990. Can macrophytes be useful in biomanipulation of lakes? The lake Zwemlust example. *Hydrobiologia* **200/201**:399–407.
- Paggi, J., and S. D. Paggi. 1974. Primeros estudios sobre el zooplancton de las aguas lóxicas del Paraná medio. *Physis* **33**:94-114.
- Perrow, M., A. Jowitt, and L. Z. González. 1996. Sampling fish communities in shallow lowland lakes: point-sample electric fishing vs electric fishing within stop-nets. *Fisheries Management and Ecology* **3**:303-313.
- Phillips, G., D. Eminson, and B. Moss. 1978. A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophic freshwaters. *Aquatic Botany* **4**:103-126.
- Pope, K. L., M. L. Brown, W. G. Duffy, and P. H. Michaletz. 2001. A caloric-based evaluation of diet indices for largemouth bass. *Environmental Biology of fishes* **61**:329-339.
- Ryding, S. O., and W. Rast. 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Ediciones Pirámide, Madrid.
- Sas, H., editor. 1989. Lake restoration by reduction of nutrient loading. Expectation, experiences, extrapolation. *Acad. Ver. Richardz GmbH*.
- Scasso, F., and N. Mazzeo. 2000. Ambientes acuáticos urbanos. Pages 205-218 in A. D. y. R. G. Prieto, editor. *Perfil Ambiental del Uruguay/2000*. Editorial Nordan-Comunidad, Montevideo.
- Scheffer, M., and E. Jeppesen. 1998. Alternative stable states in shallow lakes. Pages 397-407 in E. Jeppesen, M. Søndergaard, M. Søndergaard, and K. Cristoffersen, editors. *The structuring role of submerged macrophytes in lakes*. Springer Verlag.
- Snedecor, G. W., and W. G. Cochran. 1975. *Métodos Estadísticos, 1ª en español, 3ª Impresión* edition. Compañía Editorial Continental S.A., México.
- Tarczynska, M., G. Nalecz-Jawecki, Z. Romanowska-Duda, J. Sawicki, K. Beattie, G. Codd, and M. Zalewski. 2001. Tests for the toxicity assessment of cyanobacterial bloom samples. *Environ. Toxicol.* **16**:383-390.
- Timms, R. M., and B. Moss. 1984. Prevention of growth of potentially dense phytoplankton populations by zooplankton grazing, in the presence of zooplanktivorous fish, in a shallow wetland ecosystem. *Limnol. Oceanogr.* **29**:472-476.
- Underwood, A. J. 1997. *Experiments in Ecology*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Valderrama, J. 1981. The simultaneous analysis of total N y P in natural waters. *Mar. Chem.* **10**:1009-1022.
- van Donk, E., R. D. Gulati, A. Iedema, and J. Meulemans. 1993. Macrophyte-related shifts in the nitrogen and phosphorus contents of the different trophic levels in a biomanipulated shallow lake. *Hydrobiologia* **251**:19-26.
- Vezjak, M., T. Savsek, and E. A. Stuhler. 1998. System dynamics of eutrophication processes in lakes. *European Journal of Operational Research* **109**:442-451.
- Vitousek, P. M., H. M. Mooney, J. Lubchenco, and J. M. Melillo. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* **277**:494-499.
- Weisner, S., G. Eriksson, W. Granéli, and L. Leonardson. 1994. Influence of macrophytes on nitrate removal in wetlands. *Ambio* **23**:363–366.
- Wetzel, R. G. 1983. *Limnology*, 2nd edn. edition. Saunders College Publ., Philadelphia.
- Windell, J. T., and S. H. Bowen. 1978. Methods for study of fish diets based on analysis of stomach contents. Pages 219–226 in T. B. Bagneal, editor. *Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters*, third edition. Blackwell Scientific Publishers, Oxford.
- Wium-Andersen, S., C. Christophersen, and G. Houen. 1982. Allelopathic effects on phytoplankton by substances isolated from aquatic macrophytes (Charales). *Oikos* **39**:187–190.
- Wysujack, K., and T. Mehner. 2002. Comparison of losses of planktivorous fish by predation and seine-fishing in a lake undergoing long-term biomanipulation. *Freshwater Biology* **47**:2425-2434.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*, 4th. edition edition. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.



MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA
REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY