

PROYECTO FIP N° 2000-29: Determinación de la capacidad de carga de las zonas estuarinas de los ríos Valdivia y Bueno, X Región

Ejecutor: Instituto de Investigación Pesquera VIII Región

Objetivo general:

Determinar la capacidad de carga de las zonas estuarinas del río Valdivia, del río Tornagaleones y del río Bueno, localizados en la X Región y determinar el potencial de crecimiento de las actividades de acuicultura en dichas áreas geográficas.

Objetivos específicos:

1. Determinar la dinámica de los parámetros físicos, químicos y biológicos en cada uno de los estuarios para definir sus límites.
2. Determinar los aportes alóctonos de las diferentes actividades desarrolladas en las hoyas hidrográficas y las cuencas de los ríos considerados en este estudio (agricultura, ganadería, silvicultura, pesquerías, acuicultura, turismo, centros urbanos y otras a identificar), así como de aquellos originados por aportes sedimentarios de los afluentes y de aguas lluvia.
3. Determinar en forma particular los aportes de fósforo y nitrógeno totales, provenientes de actividades de acuicultura desarrolladas en cada hoya hidrográfica, considerando tanto las realizadas en lagos como en ríos y esteros tributarios.
4. Estimar el aporte de sustancias quimioterapéuticas por parte del(los) centro(s) de cultivo que está(n) operando en cada una de las hoyas hidrográficas y su persistencia en el medio ambiente, en caso que corresponda.
5. Estimar el aporte de sustancias quimioterapéuticas, desinfectantes, abonos y fertilizantes por parte de las actividades silvoagropecuarias que se realizan en cada una de las hoyas hidrográficas y su persistencia en el medio ambiente.
6. Diseñar y validar una metodología que permita proponer un programa para estimar y monitorear en base a variables físicas, químicas y biológicas, la carga a que está sometida cada una de las zonas estuarinas en estudio.
7. Estimar el potencial de crecimiento de las distintas actividades de acuicultura en cada uno de los estuarios, en base a los antecedentes generados en el estudio.
8. Determinar las áreas que podrían considerarse como más apropiadas para establecer centros de cultivo en cada una de las zonas estuarinas en estudio.

Resumen Ejecutivo

Los estuarios son cuerpos de agua semicerrados con una conexión libre con el océano y dentro del cual el agua salada es considerablemente diluída con agua dulce proveniente del drenaje terrestre. Estos sistemas cumplen un papel importante por los altos niveles de productividad que en ellos se registran, siendo ambientes imprescindibles para el desarrollo del ciclo biológico de diversas especies, entre las que destacan los peces. Los estuarios son zonas de transición entre áreas limnéticas y marinas y la interacción entre sus particulares características físicas y químicas, determina patrones de distribución y abundancia, espacial y temporal, tanto de la biota como de los nutrientes existentes en el estuario. Debido a estas características, los estuarios han sido áreas de gran interés para las actividades de acuicultura, destacándose entre éstas la salmonicultura, la cual ha tenido un importante desarrollo en la última década a nivel nacional.

En esta perspectiva el Consejo de Investigación Pesquera propuso investigar la capacidad de carga de estos cuerpos estuarinos, correspondientes a los cursos fluviales Valdivia y Bueno, por los que existe gran demanda para realizar en ellos actividades de acuicultura y así posibilitar el crecimiento de esta actividad económica.

De esta manera, se entrega resultados de campo sobre la variabilidad espacial y temporal de diferentes variables adscritas a los siguientes tópicos: a) Hidrografía (temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto), b) Correntometría (euleriana y lagrangiana), c) Condiciones químicas de la columna de agua (amonio, nitritos, nitratos, nitrógeno orgánico, nitrógeno y fósforo total, DBO, pH) y c) Condiciones bio-ecológicas del ambiente estuarino (comunidades fito- y zooplanctónicas, clorofila-a, comunidades bentónicas, comunidades ícticas). Además, el área estuarina se estudio aerofotogramétricamente, se estimaron tasas de sedimentación en el interior de estas regiones y específicamente en torno a sistemas de cultivo y, se entrega antecedentes sobre actividades de acuicultura y la utilización de sustancias quimioterapéuticas. Así mismo, se entrega el balance, capacidad de carga y eotroficación del sistema estuarino y la aplicación de un método multicriterio para la selección de sitios aptos para la acuicultura

La información de campo (datos y muestras) se recolectó a través de cuatro campañas de muestreo realizadas durante los períodos de primavera (agosto, septiembre y octubre 2000), Verano (enero 2001), Otoño (abril 2001) e Invierno (junio 2001). En estas cuatro campañas el muestreo se realizó en ambas fases de la marea (i.e., llenante y vaciante), para las variables fisicoquímicas de la columna de agua, así como la hidrografía, la dinámica del sistema y el plancton.

El análisis aerofotogramétrico realizado para el área de estudio, que comprende una superficie de 38.602 ha, cerca de un 3% de la superficie total de la cuenca (1.028.026 ha) reveló variabilidad en el uso de suelo, donde predominan los humedales con 5.186 Hás de superficie, seguido del bosque nativo renoval (4.747 Hás), y en extensiones muy similares las plantaciones forestales y praderas, con 4.149 y 4.405 Hás, respectivamente. Destaca la reducida superficie destinada a los terrenos agrícolas, con sólo 54 Hás, en toda el área considerada. En síntesis, la categoría bosque nativo (achaparrado, adulto, adulto/renoval y renoval) abarca el 26% del total de la superficie en estudio. Luego, con porcentajes muy similares se ubican las categorías de praderas (17%), humedales (20%) y plantaciones

forestales (16%, Figura 3.5). El último grupo vegetacional de mayor importancia lo constituyen los matorrales (matorral, arborescente y pradera), los que en su conjunto alcanzan a un 12% del total. Por otra parte, las ciudades (Valdivia, Corral y Niebla) representan un 8% del total del área, sin embargo es necesario señalar que sólo una parte de la ciudad de Valdivia está incluida en el área de estudio. La verificación en terreno reveló la existencia de diferencias con el catastro de bosque nativo de CONAF, principalmente en lo que se refiere a las plantaciones forestales.

El análisis de curvas de nivel reveló mayores alturas (> 350 m) en el sector SW de este sistema estuarino, en la Cordillera de la Costa, al oeste de Corral y de la Ensenada de San Juan. El sector ubicado al este de la Isla San Francisco, en las proximidades de la ciudad del Valdivia, presentó terrenos muy bajos con una altura inferior a los 25 m. Por su parte el análisis de pendientes reveló que los mayores valores (> 26 grados) se ubicaron en el área de la Cordillera de la Costa, en tanto que, en las riberas del río Tornagaleones, entre el extremo sur de la Isla del Rey y la Bahía de Corral, se evidenció una situación distinta, con predominio de terrenos planos, sin pendientes. En síntesis, es notable el predominio de terrenos planos, de muy baja pendiente (inferior a 5 grados), los que cubren sobre el 60% del total. El porcentaje de superficie con pendientes entre 6 y 15 grados es muy similar y cercano al 10%, disminuyendo paulatinamente el aporte de los territorios con pendientes mayores (>30 grados, levemente sobre el 1%).

En términos hidrográficos, existen diferencias significativas en la distribución espacial (horizontal y vertical) de las variables medidas, las que son dependientes de la fase mareal. Durante la marea llenante se observa un mayor grado de penetración del frente salino río arriba en ambos sistemas (Valdivia y Tornagaleones), en tanto que, durante la marea vaciante la penetración de aguas más salinas sólo se restringe al sector de la desembocadura de ambos ríos. La penetración de este frente salino hacia el sistema fluvial depende también de la estación del año, en relación a diferencias en el caudal de los ríos.

En la Bahía de Corral, la distribución de las variables hidrográficas medidas es modulada principalmente por la influencia superficial de aguas continentales y la penetración subsuperficial de aguas de origen marino, lo que se manifiesta fundamentalmente en el diferente grado de estratificación salina y térmica de la columna de agua. Esta estratificación depende de la escala temporal analizada (mareal, estacional) y, en términos espaciales (diferentes subsectores al interior de la Bahía de Corral), notando influencia superficial de aguas dulces hasta en la boca de la bahía y, por el contrario, penetración de aguas salinas hasta la somera Ensenada San Juan, en el fondo de saco de la bahía.

En relación con el escenario dinámico del sistema estuarino Valdivia-Tornagaleones se observa que la circulación de las aguas en Bahía Corral presenta una marcada variabilidad en los flujos que ingresan y salen de la bahía, regulada principalmente por el ciclo mareal. De este modo, las mareas constituyen el principal agente suministrador de energía a la circulación del sistema, afectando a toda la columna de agua. Sólo el estrato inmediatamente superficial (1 m de profundidad) es influenciado por el coacción del viento, el cual aparece sólo como un factor secundario. El análisis espectral establece la importancia del ciclo mareal en la circulación del sector así como su variabilidad en términos energéticos entre períodos de sicigia y cuadratura.

La tendencia de los flujos, establecido a través del análisis de vector progresivo, evidenció una estructura variable a través de los períodos evaluados: durante el período primaveral se observó una estructura estratificada, con una capa superficial con tendencia a fluir desde el sector interno de Bahía Corral hacia el sector costero adyacente, y otra subsuperficial que tiende a ingresar a la Bahía; durante el período estival, tanto en el estrato superficial como en el subsuperficial, se estableció una sola capa con tendencia a ingresar a la bahía; y en el período otoñal se describe una estructura estratificada con dos capas de circulación, una superficial con tendencia hacia el interior de Bahía Corral, y otra subsuperficial que tiende a salir hacia el sector costero adyacente.

Por otra parte, el análisis también evidencia marcadas diferencias entre las intensidades registradas entre los estratos evaluados, donde las corrientes en el estrato superficial superficie presentaron mayor energía que aquellas observadas en el estrato de fondo.

Las variables fisicoquímicas analizadas en general presentaron diferencias ($p < 0,01$) temporales (entre período de estudio) para todas las variables analizadas. Así mismo, la condición mareal juega un papel importante en variables como el pH, el fósforo total y el nitrato, las que son estadísticamente significativas ($p < 0,01$). Por otra parte, por nivel de profundidad, las diferencias se manifiestan en el oxígeno disuelto y el pH. Finalmente por nivel de salinidad, es decir agua dulce y de mar, las diferencias se encuentran en el pH, el oxígeno disuelto y el amonio.

De lo anterior se desprende que las mayores variaciones se encuentran en el pH y el oxígeno disuelto, mas los nutrientes sólo presentan variaciones de tipo estacional lo que esta relacionado con los ciclos del estuario en términos biológicos más que físicos.

En general se aprecia una alta dominancia de diatomeas de origen dulceacuícola en el fitoplancton del estuario del río Valdivia. La distribución de las diatomeas marinas es, en general mayor en la zona de la desembocadura y disminuye hacia la cabeza del estuario. Este patrón no fue evidente en otoño e invierno debido probablemente a las altas precipitaciones registradas en estas estaciones, lo que puede haber determinado una mayor descarga de agua dulce y menores abundancias de diatomeas marinas en todo el estuario. Durante el muestreo de verano (enero 2001) se pudo apreciar que la abundancia de diatomeas marinas era mucho mayor en el estrato de 1 m sobre el fondo que el estrato superficial, lo que sugiere el desarrollo de una marcada cuña de agua salada que penetra al estuario por el fondo, lo que se puede apreciar en los gráficos de distribución de salinidad. La regresión lineal entre la clorofila-a y la abundancia de fitoplancton (tanto células totales como diatomeas marinas y dulceacuícolas) no presentó una buena bondad de ajuste, con valores de coeficiente de determinación menores que $r^2 = 0,05$, es decir, menos del 5% de la variabilidad en la abundancia de fitoplancton puede ser explicada por la concentración de clorofila-a.

Se observó una clara influencia de los ciclos mareales en la abundancia del zooplancton en el complejo estuarial Valdivia – Tornagaleones. Durante la fase de marea alta la abundancia zooplantónica fue mayor que durante la marea vaciante; lo que se observó con claridad en el caso de los copépodos y nauplius, dado que estos grupos zooplantónicos resultaron ser claramente los más representativos. En la mayoría de las estaciones de muestreo, se pudo observar abundancias mayores en el estrato subsuperficial de la columna de agua, situación

esperable debido a que el ingreso de agua netamente marina ocurre por la porción más profunda del estuario.

Los sedimentos encontrados durante la campaña invernal, en las estaciones analizadas indican de acuerdo al tamaño medio de la partícula, arena mediana en las estaciones ubicadas en el río Valdivia (V-1 y V-3); el resto de las estaciones ubicadas en la Bahía de Corral y el Tornagaleones presenta arena muy fina. La variación del tamaño de la partícula a través de las distintas campañas es pequeña en la mayor parte de las estaciones. Las más estables son V-1 y BC-1, luego con variaciones pequeñas tenemos SJ-1 cuya mayor variación es en la campaña de junio, y TG-1 que presenta un cambio en enero. Finalmente las estaciones con mayor variación son TG-4 con un incremento del tamaño del gránulo en enero y abril, además de la estación V-3 que presenta una fuerte disminución del tamaño de la partícula en la campaña de abril, probablemente influida por su ubicación en el punto en que el río Valdivia desemboca en la bahía de Corral permitiendo una acumulación de sedimento debido a la interacción del caudal del río y la influencia de las mareas.

La abundancia específica encontrada (40 especies en agosto, 32 especies en enero, 61 especies en abril y 48 en junio) es baja en agosto y enero si se compara con otros estudios realizados en la zona, pero existe una fuerte recuperación en la campaña de abril para descender de nuevo en junio. Este incremento en el número de especies está basado principalmente en el incremento de las especies de poliquetos que en la campaña de agosto presentó 18 especies, en enero, 12 especies, en abril 30 especies y 25 en junio. Estos resultados se ajustan con la condición estuarina del área de estudio que sufre, además de los cambios diurnos por efecto de las mareas, cambios de mayor dimensión determinados por los cambios en el caudal de los ríos que hacen que la cuña de sal penetre mucho más durante las épocas de baja pluviosidad y se retire hacia el mar en condiciones contrarias con alta pluviosidad o deshielos. En el caso actual, la baja diversidad específica durante los muestreos de agosto y enero se explica por el alto caudal de los ríos durante las épocas de muestreo y en abril, en que la falta de lluvias, hizo descender fuertemente los caudales posibilitó la entrada río arriba de la cuña de sal y por lo tanto de fauna adaptada a ambientes de mayor salinidad hacia la zona donde están ubicadas las estaciones V-1, V-3, TG-1 y TG-4. Los resultados de junio se explican porque la fecha de muestreo corresponde al inicio del período de lluvias del invierno.

La abundancia numérica de la fauna se incrementó fuertemente durante el mes de enero y bajó en la misma forma durante el mes de abril. Su análisis indica que el porcentaje de poliquetos es bajo con respecto a áreas marinas durante agosto pero se fue incrementando paulatinamente y en abril alcanza un nivel de más de 77% lo que se explica por los cambios de distribución de la cuña de sal en el área estudiada, ya que junto con incrementarse el número de ejemplares de poliquetos, esta situación hace descender la abundancia de especies de anfípodos dulceacuicolas como *Cheus* sp. y *Paracorophium hartmanorum*.

Por otra parte, la biomasa es muy baja en casi todas las estaciones con excepción de la estación TG-4 durante la campaña de agosto, donde la presencia de las especies *Mulinia edulis* y *Tagelus dombeii* eleva fuertemente la biomasa de la estación y de esa campaña. En enero la biomasa total desciende a mínimo para iniciar un progresivo incremento en las campañas de abril y junio.

El análisis comunitario muestra durante la campaña de agosto, bajos índice de diversidad especialmente en las estaciones fluviales, debido al bajo número de especies y a la dominancia que presentan algunas de ellas. Durante la campaña de enero, los índices de diversidad específica disminuyeron aún más en todas las estaciones aunque los valores menores se encuentran en las estaciones V-1, V-3 y TG-1 que en este muestreo presentan condiciones marcadamente fluviales, en cambio durante el mes de abril los valores de diversidad se incrementaron presentandose los valores menores solo en las estaciones V-1 y TG-1; pero en la campaña de junio los valores de diversidad vuelven a descender especialmente en las estaciones V-3 y TG-1. Esta variación en los índices puede estar regulada por la variación en el caudal de los ríos y su interacción con la cuña de sal inducida por las mareas que produce una fuerte variación en las condiciones salinas del fondo en la mayor parte del área estudiada.

Si se comparan los resultados de las distintas campañas se aprecia que en general las situaciones más marcadas se dan en las campañas de agosto y abril, presentando las campañas de enero y junio características intermedias. Esto puede originarse en que el muestreo de enero coincidió precisamente con el termino de la temporada de lluvias en la zona y la campaña de junio con el inicio de esta temporada en Valdivia, en cambio la campaña de agosto se realizó en plena temporada de lluvias y la de abril en un período de ausencia de lluvias que determinó un caudal mínimo en los ríos de la región.

Finalmente los análisis de la macrofauna bentónica del área de estudio permiten separar claramente las estaciones ubicadas en un ambiente fluvial y el grupo de estaciones ubicado en ambiente estuarino pero solo durante las campañas de agosto y junio que son épocas con alto caudal en los ríos debido a alta pluviosidad. Durante las épocas en que los ríos están caracterizados por bajos caudales la penetración de fauna adaptada a mayor salinidad hace que no sea posible tal diferenciación de las estaciones. Por las razones expresadas anteriormente en relación con la variación zonal de la cuña de sal y su influencia en la distribución de las especies se puede concluir que las variaciones de la fauna en el área de estudio, están fuertemente influidas por la variación en el caudal de los ríos y no tanto por otros factores estacionales.

El análisis de la asociación íctica reveló al robalo (*Eleginops maclovinus*) como la especie dominante en el sistema estuarino de Valdivia. Tanto en aguas someras del sistema estuarial como en tributarios se observó la presencia de ejemplares juveniles de esta especie de longitudes en torno a los 30 mm, en tanto que en aguas más profundas se registraron ejemplares de mayores. Además de las especies típicas de este sistema, se registró la presencia de especies marinas ocasionales, las que son tolerantes a bajos niveles de salinidad como son la sardina común, *Strangomera bentincki*, el lenguado de ojos chicos *P. microps* y *Hypsoblennius sordidus*.

En las muestras de sedimento recolectadas bajo las balsas jaulas y alejadas a 100 m de éstas, no se detectó la presencia de quimioterapéuticos (ác. Oxolínico y Oxitetraciclina), incluso tras la administración experimental de alimento medicado.

La utilización de pesticidas en las microcuencas asociadas al complejo estuarial es debida principalmente al uso de insecticidas, para el control de la polilla del brote en la actividad forestal; en tanto que el mayor aporte de fertilizantes y abonos, tiene como fuente principal el

transporte de estos a la forma de nutrientes en agua, los que se originan en el valle central y son incorporados al estuario asociado al transporte del río Valdivia, al cual se incorporan las descargas industriales y domésticas de la ciudad de Valdivia.

Los diferentes tipos de alimento utilizado en la salmonicultura contienen concentraciones de fósforo cercanas a 1 g %, mientras que en el caso del nitrógeno, este nutriente está contenido en concentraciones de 8 g % en el alimento utilizado en la Piscicultura Tornagaleones.

En la Piscicultura existente en el subestuario Tornagaleones se produjeron en el año 2000 un total de 497 ton de smolts pertenecientes a 3 especies salmonideas para los cuales durante el año 2000 se requirieron de 492 ton de alimento del tipo "Crumble" (4 mm) y Pellet (1,5-2,0 y 3,0 mm). Durante el primer semestre de 2001 se utilizaron 353 ton del mismo tipo de alimento. Todo el alimento suministrado no fue medicado.

Durante agosto del 2000 se instalaron y recuperaron 8 trampas de sedimento, mientras que en enero del 2001 de 6 instaladas se recuperaron tres y en junio del 2001 de 8 trampas que se instalaron, solo se recuperaron 2, lo que indica que en un período de un año, algunas personas que transitan en botes por el área de estudio aprendieron a "reconocer" y hurtar las trampas de sedimento instaladas.

Para evitar el robo de trampas se usaron diversas técnicas que incluían desde reemplazar el flotador superficial por un tarro vacío de aceite de motor, hasta un sistema que consideró el usar un flotador subsuperficial del que se proyectaba una cuerda que se fijaba a un punto en tierra firme (ej. un árbol), sin embargo estos sistemas solo fueron efectivos por muy poco tiempo.

El contenido de carbono de los sedimentos bajo las balsas jaula con salmones fue mayor en los períodos de primavera y verano (aproximadamente 4%; lo que disminuyó a 2% en la parte distal de la transecta) en comparación con los períodos de otoño e invierno (aproximadamente 2%, lo que disminuyó a 1% en la parte distal de la transecta).

Es probable que las mayores precipitaciones de los períodos de otoño e invierno (Figura 10.2.9) hayan incrementado el caudal del río Tornagaleones y un mayor efecto de "barrido" del carbono acumulado en la superficie del sedimento, esto por cuanto el contenido de carbono disminuyó aproximadamente en la misma proporción en las áreas mas cercanas y mas alejadas de la transecta muestreada.

El incremento en el contenido de carbono de los sedimentos podría tener incidencia en sus características físicas. Por ejemplo, se ha sugerido (Iwama 1991) que un incremento en el contenido de materia orgánica de los sedimentos los puede hacer mas viscosos y por tanto mas resistentes a la erosión por corrientes, lo que podría incrementar el problema de acumulación de sedimentos bajo las balsas jaula con salmones.

El factor final determinante del destino de los desechos particulados producidos por la salmonicultura o importados desde otras áreas de la cuenca por los ríos es la capacidad del ambiente para "procesar" estos desechos particulados (es decir exportar, metabolizar, utilizar, almacenar, etc.) (Woodward 1989).

Por otro lado, se debe tener en cuenta que los aportes de materia orgánica desde cualquier tipo de fuente debería ser considerado en una matriz de factores potenciales como asentamientos humanos, industria maderera, agrícola, forestal, etc.

El ingreso de nutrientes por el alimento incorporado en la crianza de 3 especies de salmonídeos en el centro existente en el sub-estuario del Tornagaleones, contribuye anualmente con 7,9 toneladas de fósforo en alimentos para peces y con 62,9 toneladas de nitrógeno; sin embargo, de éstas 6,4 toneladas de fósforo y 51,6 toneladas de nitrógeno se incorporan al medio a la forma de desechos sólidos y solubles, el resto es ingerido y convertido en biomasa producida por la piscicultura existente en el Tornagaleones. Estas magnitudes, son aplicadas en dosis diarias que no logran incidir significativamente en incrementar el contenido global de nutrientes, debido a que la principal fuente de carga de éstos proviene de otras actividades antrópicas asociadas al valle central y por tratarse de un complejo estuarial influenciado fuertemente por el régimen de lluvias y marcados incrementos de caudal, el transporte de estas cargas de nutrientes se traslada desde el sistema fluvial hacia el mar, con tiempos de residencia de 25 a 35 horas en invierno y primavera, hasta más de 60 horas en verano.

En cuanto al nivel de trofia, la mayoría de los indicadores tienden hacia niveles de condición oligotrófica o de eutrofización baja; no obstante, la carga levemente alta de nutrientes, en especial del fósforo, la carga crítica de este nutriente está aún muy por encima de la carga actual que posee el sistema estuarino. Es así como la producción de fósforo que aporta la Piscicultura existente en el sub-estuario del río Tornagaleones representa solo un 0,4% de la producción anual y actual de este nutriente.

Coconsiderando el corto tiempo de residencia de este estuario y la facultad estacional de generar un verdadero “lavado” del sistema, es que se verifica desde el punto de vista de la carga actual un alto diferencial que permite la posible incorporación de centros adicionales o el aumento en la producción de especies salmonídeas cultivables.