

Figura 44. Zonificación del borde del lago entre las comunas de Villarrica y Pucón. Concentración de Nitrógeno y Fósforo Total por segmento. Proyección a 1 año

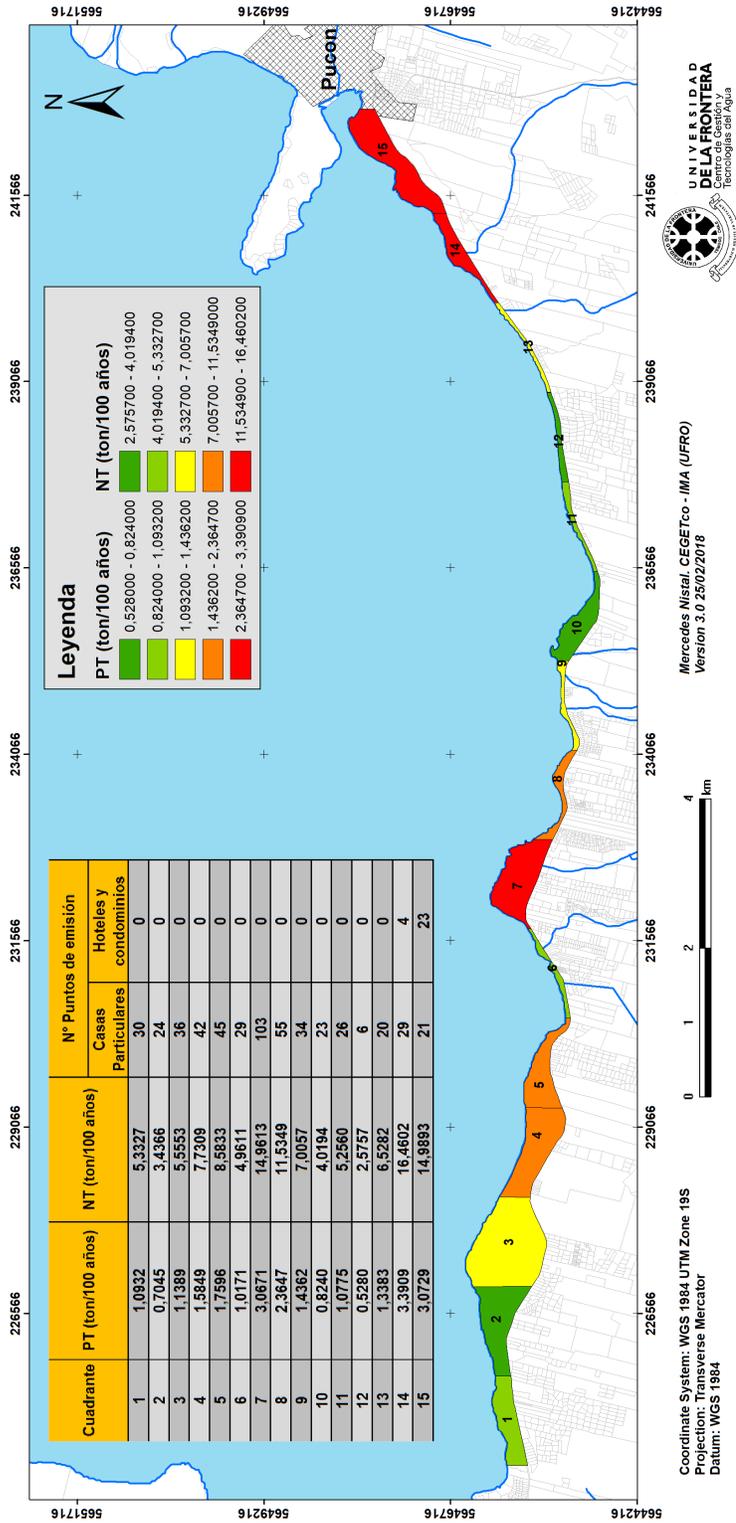


Figura 45. Zonificación del borde del lago entre las comunas de Villarrica y Pucón. Concentración de Nitrógeno y Fósforo Total por segmento. Proyección a 100 años.



4.4 Actualización del inventario de emisiones.

La Tabla 25 presenta un resumen de los resultados del actual estudio y de los estudios anteriores sobre la misma cuenca.

Es posible observar ciertas similitudes en la estimación de Nitrógeno total con el resultado mostrado por UACH (2009) ambos estudios plantean un aporte total entre 1100 y los 1180 ton/año. La diferencia se encuentra en la identificación de las fuentes y sus aportes. Para UACH (2009) la principal fuente de Nitrógeno total corresponde al tipo de uso de suelo con 900,7 ton/año, mientras que el presente estudio atribuye un aporte de 825,1 ton/año a las Pisciculturas, PTAS Pucón y AS Curarrehue. Las diferencias pueden deberse, principalmente, al hecho de que el estudio de UACH (2009), realizado operativamente el año 2008, no contaba con suficiente información respecto a la declaración de descargas por parte de las pisciculturas, por lo cual debió recurrir a información estimativa en función de la producción de Smolts y Alevines, y a un modelo de carácter lineal propuesto el año 1988 para la estimación de las cargas aportadas por las pisciculturas.

Por otro lado, el estudio realizado por UCT (2012) plantea que el aporte difuso correspondería a 627,8 ton/año, casi el doble de los que fue posible determinar en este estudio para la misma fuente (301,7 ton/año). Esta diferencia se debería a que en nuestro estudio se consideró que el aporte difuso ingresado al modelo de transporte estaba completamente reflejado en las condiciones de borde. Por lo que no se consideró el aporte difuso de las subcuencas intermedias correspondientes a cada uno de los tramos simulados.

Respecto al aporte de Fósforo total, el presente estudio plantea un aporte total anual de 128,5 ton/año del cual un 44,5% provendría de Pisciculturas, PTAS Pucón y AS Curarrehue y un 55,5% de fuentes difusas, mientras que los estudios realizados por UACH (2009) y UCT (2012) plantean que el aporte total anual corresponde a 330,4 ton/año y 209,3 ton/año respectivamente, ambos provenientes principalmente de fuentes difusas.

Tabla 25. Comparación de estimación de emisiones con estudios anteriores.

Estudios	Nitrógeno Total	Fósforo Total	Aportes estudiados
Estudio Actual, UFRO (2017-2018)	1) Pisciculturas/AS/PTAS: 825,1 ton/año 2) Fuentes Difusas: 301,7 ton/año Aporte total: 1126,8 ton/año 3) Fosas sépticas (1 año): 0,742 ton/año 3b) Fosas sépticas (100 años): 93,650 ton/año	1) Pisciculturas/AS/PTAS: 57,2 ton/año 2) Fuentes Difusas: 71,3 ton/año Aporte total: 128,5 ton/año 3) Fosas sépticas (1 año): 0,064 ton/año 3b) Fosas sépticas (100 años): 8,063 ton/año	1. PTAS de Pucón 2. AS Curarrehue 3. Pisciculturas 4. Fuentes difusas (por diferencia)
CADE-IDEPE, 2004	No aplica.		
UACH, 2009	1) Pisciculturas aportan 115,5 ton/año de NT (punto 1.2 informe avance). 2) PTAS Pucón aporta 80,8 ton/año de NT (punto 1.2). 3) 900,7 ton/año por aporte de los suelos 4) 6,1 ton/año por aporte de fosas sépticas Aporte total: 1.103,1 ton/año (en el año 2008) según el punto 1.4 del Informe de Avance.	1) Pisciculturas aportan 3,4 ton/año de PT (punto 1.2 informe avance) 2) PTAS Pucón aporta 4,9 ton/año de PT (punto 1.2). 3) 320,9 ton/año por aporte de los suelos 4) 1,2 ton/año por aporte de fosas sépticas Aporte total: 330,4 ton/año (2008) según el punto 1.4 del Informe de Avance.	1. Aporte de los suelos 2. PTAS de Pucón 3. Pisciculturas 4. Fuentes difusas
Litoral Austral, 2010	Concentraciones nitrógeno total superiores a los 1.500 µg/l	Concentraciones de fósforo total superiores a los 100 µg/l	
MMA, 2011	Entre 2012-2021 la concentración de NT (límite ~ 150 µg/l) se encontraría aún bajo el límite establecido en la zona pelagial	Prevé que entre 2012-2021 la concentración de PT en la zona pelagial podría superar 10 µg/l	Orden de responsabilidad sobre el aporte de nutrientes: 1. Escorrentía y pisciculturas. 2. PTAS de Pucón, AS Curarrehue y pozos sépticos ribera sur y riberas de sus afluentes.
UCT, 2012	1)Aportes difusos por usos suelo 627,8 NT ton/año (punto 1.3 informe) 2) No aportes por fosas sépticas	1)Aportes difusos por usos suelo 209,3 PT ton/año (punto 1.3 informe) 2) No aportes por fosas sépticas	Sólo fuentes difusas por aporte de los usos del suelo (escorrentía superficial).
EcoHyd, 2016		Los mayores aportes de PT provienen de los aportes del río Trancura y Liucura	Sólo los usos de suelo.



4.5 Propuesta de medidas de mitigación

Luego de una evaluación tanto a las fuentes puntuales presentes en los cauces tributarios al Lago Villarrica, como a las fuentes difusas ubicadas en la ribera sur del lago, es posible plantear las siguientes medidas de mitigación para la reducción de las concentraciones de nitrógeno y fósforo descargadas al Lago Villarrica.

4.5.1 Propuestas para cauces tributarios al lago

Para el caso de los cauces tributarios **se propone establecer límites de carga anual de** para cada uno de los ríos y esteros. Estos límites deberán ser definidos en base a los valores de propuestos en la norma secundaria de calidad de aguas del Lago Villarrica.

Una vez identificados los tributarios en los cuales se desea reducir la carga de nitrógeno y/o fósforo, se propone de definir un **plan de reducción de emisiones a las fuentes puntuales** establecidas en cada uno de estos tributarios, esto en función del valor ponderado de su carga total anual.

Es necesario aclarar que todas las fuentes puntuales inidentificadas en este estudio cumplen con D.S. 90, salvo la ciudad Curarrehue. Por otro lado, si al implementar las medidas de mitigación propuestas anteriormente se observa que es necesario reducir la carga aportantes de una o más fuentes puntuales, se propone la evaluación técnica y económica de las siguientes tecnologías por fuente puntual.

Para el caso de propuestas tecnológicas de abatimiento de la carga de fósforo y nitrógeno de la PTAS de Pucón, este sistema consiste en un tratamiento de tipo secundario, biológico aerobio con una variante de Lodos Activados en una versión de aireación extendida con una modalidad específica que contempla remoción biológica de Fósforo y Nitrógeno, tecnología denominada “lodos activados por aireación extendida con remoción bilógica de nutrientes, SBR” (SEIA, 1998; SINIFA, 1998). Por otro lado, US EPA (1999) plantea que los requerimientos de cumplimiento normativo respecto de los límites de descarga para ciertos parámetros como Nitrógeno Total, NTK, $\text{NH}_3\text{-N}$ o Fósforo total impactan de forma directa la estrategia de operación de un SBR. Por ejemplo, si lo que se requiere disminuir es $\text{NH}_3\text{-N}$ o NTK, un proceso de nitrificación será necesario. Esto plantea el hecho de que los sistemas SBR, al momento de ser diseñados y construidos, consideran las necesidades ambientales impuestas en su momento por los instrumentos regulatorios vigentes. Por lo que, para el caso de PTAS



Pucón, es complejo realizar propuestas de reducción debido a que no se cuenta con información suficiente del proceso actual, tampoco de la eficiencia ni de las complejidades de operación actual, ya que el proponer algún tipo de proceso biológico o químico extra como el proceso PHOREDOX (biológico de 5 etapas) o la precipitación química, no tendrían sentido sin un análisis y estudio riguroso en el asunto, por ser PTAS Pucón un sistema complejo, sin dejar de lado que, el realizar un análisis de este nivel, escapa de los alcances del presente estudio.

Respecto a las AS de Curarrehue, se propone la construcción de una PTAS o la construcción de un emisario con conexión a la PTAS de Pucón.

Por otro lado, las tecnologías que podrían ser utilizadas para la reducción de Fósforo y Nitrógeno por parte de las pisciculturas son:

- Aplicación de un Proceso continuo de **cultivo de microalgas** para la producción de biomasa y la eliminación de nutrientes de las aguas residuales utilizando un fotobiorreactor de membrana (Aslan and Kapdan, 2006; Gao et al., 2016; Marbelia et al., 2014). Con este tipo de tecnología es posible reducir el P total hasta en un 83% y el N total hasta un 86%. Algunas de las ventajas de este tipo de sistemas es que poseen un buen rendimiento en producción de biomasa de microalgas y eliminación de nutrientes cuando se suministran aguas residuales con baja concentración como medio de cultivo, remueve también amonio no ionizado y requiere de un bajo tiempo de retención hidráulica (aprox. 1 día).
- Existen otras opciones como la utilización de **humedales artificiales** en los cuales es necesario utilizar un área de suelo considerable (Huett et al., 2005; Vymazal, 2007), o la utilización de **membranas** (Ledda et al., 2013) donde los costos pueden llegar a ser significativos.

por estas razones consideramos que la utilización de microalgas es la opción que mayor potencial muestra en este caso.

A continuación, se presenta un análisis explicativo del efecto de reducción de emisiones según las propuestas anteriores.

La Tabla 26 presenta un resumen del aporte de cada una de las fuentes puntuales y la Figura 46 una evaluación de sensibilidad de escenarios de reducción de fósforo y nitrógeno total sobre el estero o río con presencia de descargas desde fuentes puntuales.



En el caso del Estero Molco, este recibe descargas de las Pisciculturas Cheuilco y Molco, con una participación del 2,5% y 24,1% respectivamente en las emisiones de P total, y del 14% y 84,3% respectivamente de las emisiones de N total. Por otro lado, tal como lo muestra la Figura 46a y b, si ambas pisciculturas redujeran sus emisiones a un 100% la máxima reducción de Nitrógeno y fósforo total en el estero sería de un 26,5% y 98,3% respectivamente. La Piscicultura que tiene un mayor peso en la carga de nutrientes es Molco, por cada 10% de reducción en sus emisiones, el estero reduce aproximadamente un 2,41% de la carga de P total y un 8,43% del N total. En cambio, cuando Cheuilco realiza la misma reducción de emisiones en un 10%, el P total en el Estero se reduce tan solo un 0,25%, y el N total un 1,4%.

Por otro lado, el Estero Loncostraro recibe descargas de la Piscicultura Loncostraro, esta representa el 53,8% de la carga de P total y el 59,1% de N total en el estero, por lo tanto, la máxima reducción de carga posible en el estero corresponde a los mismos valores. Por cada 10% de reducción de emisiones de la piscicultura, el estero reduciría un 5,38% la carga de P total y un 5,91% la de N total.

Respecto al Estero Correntoso, este también recibe descargas de una piscicultura, en este caso se trata de la Piscicultura La Cascada, esta representa el 57,1% de la carga de P total y el 96,4% de N total en el estero, por lo tanto, la máxima reducción de carga posible en el estero corresponde a los mismos valores. Por cada 10% de reducción de emisiones de la piscicultura, el estero reduciría un 5,71% la carga de P total y un 9,64% la de N total.

En el caso del Estero Los Chilcos, este recibe descargas de las Pisciculturas Los Chilcos y Loncostraro, con una participación del 70,9% y 23,9% respectivamente en las emisiones de P total, y del 82% y 16,5% respectivamente de las emisiones de N total. Por otro lado, tal como lo muestra la Figura 46g y h, si ambas pisciculturas redujeran sus emisiones a un 100% la máxima reducción de Nitrógeno y fósforo total en el estero sería de un 94,87% y 98,5% respectivamente. La Piscicultura que tiene un mayor peso en la carga de nutrientes es Los Chilcos, por cada 10% de reducción en sus emisiones, el estero reduce aproximadamente un 7,9% de la carga de P total y un 8,2% del N total. En cambio, cuando Loncostraro realiza la misma reducción de emisiones en un 10%, el P total en el Estero se reduce tan solo un 2,39%, y el N total un 1,65%.

Finalmente, el río Trancura recibe descargas de 13 fuentes puntuales, 11 pisciculturas, una fuente de descarga de aguas servidas sin tratamiento en Curarrehue y la descarga de la PTAS Pucón. Respecto de las pisciculturas, y tal como ya se ha mencionado anteriormente, una de ellas se encontraba fuera de funcionamiento (Rinconada), en otra no fue posible encontrar



información que pudiera ser utilizada en los cálculos de este estudio (Carileufu) y una tercera presentó escasa información mensual de sus descargas (Curarrehue), de esta forma, respecto a las pisciculturas, 8 son las que se llevan el mayor peso de la carga de nutrientes en la desembocadura al Lago Villarrica; siendo Ojos del Caburgua y Catripulli las que muestran mayor participación en la carga final con un 19,4% y 11,9% respectivamente para el P total, y un 40,8% y 12,8% respectivamente en N total. la Figura 46i y j muestra que, si todas las pisciculturas presentes redujeran sus emisiones en un 100%, la máxima reducción posible en el río para P total sería de un 45%, y en el caso de N total, un 68,1%. Respecto de las dos principales fuentes puntuales aportantes, por cada 10% de reducción de emisiones por parte de Ojos del Caburgua Nitrógeno y fósforo total en la desembocadura al lago se reducen en un 1,94% y 4,1% respectivamente. En el caso de la Piscicultura Catripulli, por cada 10% de reducción de emisiones, Nitrógeno y fósforo total se reducen en un 1,2% y 1,3% respectivamente. Luego, existen dos pisciculturas que tienen una participación de la carga total cercanas al 6%, estas son Quimeyco (P:5,8% y N:6,2%) y Caburgua II (P:4,5% y N:5,5%). Por cada 10% de reducción de emisiones en Quimeyco el Nitrógeno y fósforo total en Trancura se reduce en un 0,58% y 0,62% respectivamente, en el caso de Caburgua II en un 0,45% y 0,55% respectivamente.

Tabla 26. Distribución de la participación en la carga de Nitrógeno y fósforo total.

Clasificación	Nombre del estero	Nombre Piscicultura	Pisciculturas/AS/PTAS				Fuentes Difusas		TOTAL río/estero	
			Fósforo total		Nitrógeno total		Fósforo total	Nitrógeno total	Fósforo total	Nitrógeno total
			ton/año	%	ton/año	%	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
M1	Esteros Molco	Chehuilco	0,4	2,5	8,8	14,0	1,5	0,5	5,8	62,4
		Molco	3,9	24,1	53,1	84,3				
M2	Esteros Loncotraro	Loncotraro	1,4	53,8	10,4	59,1	1,9	12,3	3,3	22,7
M3	Esteros Correntoso	La Cascada	1,6	57,1	19	96,4	1,2	0,6	2,8	19,6
M4	Esteros Los Chilcos	Los Chilcos	8,3	70,9	103,6	82,0	1,2	3,6	8,1	87,9
		Loncotraro	2,8	23,9	20,8	16,5				
M5	Río Trancura	Quimeyco	5,6	5,8	59,2	6,2	65,5	284,7	108,5	934,2
		Caburgua I	0,4	0,5	6,9	0,7				
		Ojos del Caburgua	18,6	19,4	389,1	40,8				
		Carileufu	0,0	0,0	0,0	0,0				
		Quetroleufu	2,6	2,8	17,1	1,8				
		Caburgua II	4,3	4,5	52,7	5,5				
		Rinconada	0,0	0,0	0,0	0,0				
		Curarrehue	0,0	0,0	0,1	0,0				
		Catipulli	11,4	11,9	122,2	12,8				
		AS Curarrehue	0,0	0,0	0,2	0,0				
PTAS Pucón	0,1	0,1	2,0	0,2						

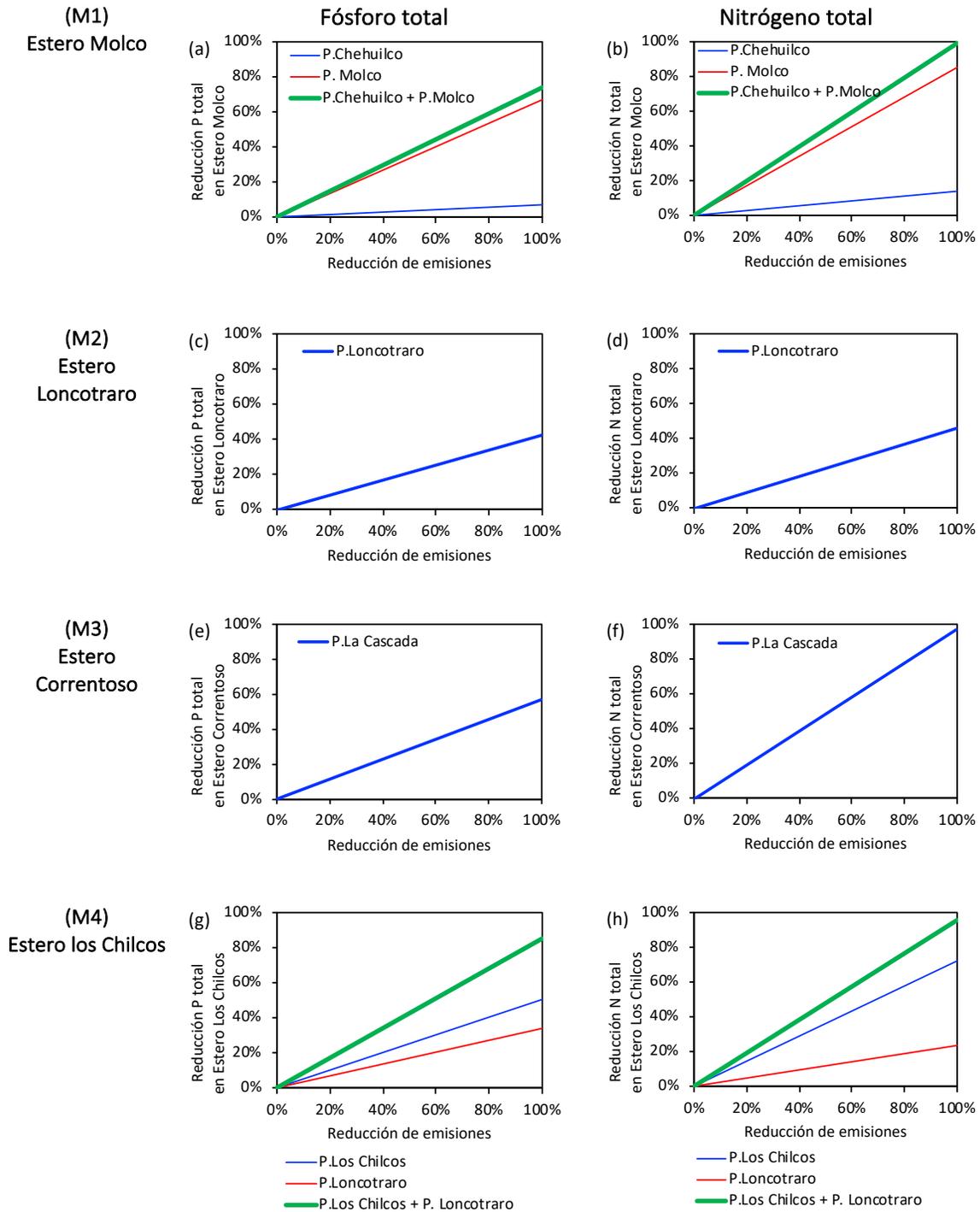
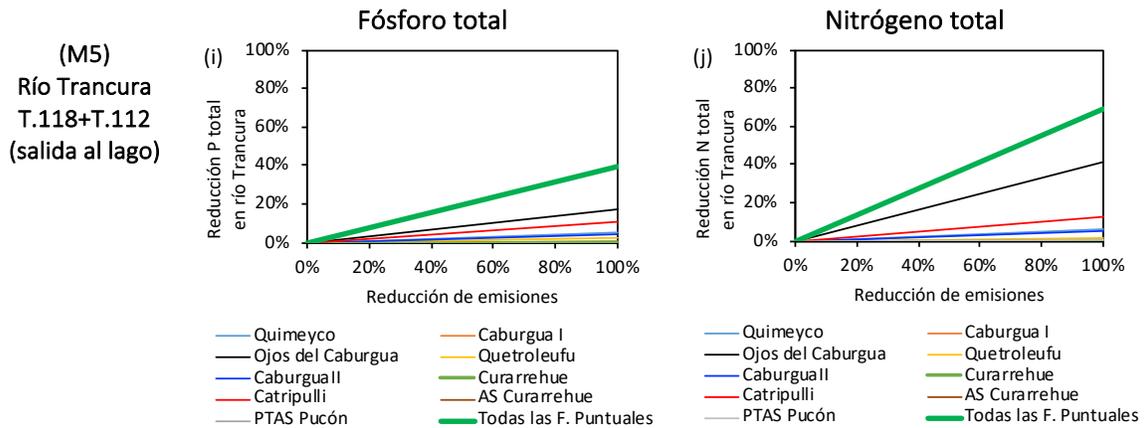


Figura 46. Análisis de sensibilidad del efecto de la reducción de emisiones de Fósforo y Nitrógeno en ríos y esteros con descargas de fuentes puntuales.



(Continuación) Figura 46. Análisis de sensibilidad del efecto de la reducción de emisiones de Fósforo y Nitrógeno en ríos y esteros con descargas de fuentes puntuales.

4.5.2 Propuestas para fuentes difusas en ríos y esteros.

En concordancia con el estudio realizado por UCT (2012), se propone **generar incentivos económicos para la reforestación y forestación de bosque nativo** siempre verde en zonas de mayor exportación de nutrientes a los cauces.

Por otra parte, se recomienda la mantención de zonas de protección ripariana. Para mayor información sobre las características de la vegetación ripariana a mantener en las zonas de protección se recomienda revisar el estudio de EcoHyd (2016).

4.5.3 Propuestas para fuentes difusas en la ribera sur del lago.

La segmentación presentada en la Figura 45 muestra zonas de mayor o menor saturación de Nitrógeno y Fósforo a 100 años. Esta proyección permite gestionar a futuro el espacio entre Villarrica y Pucón en el borde lago. Por otro lado, el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta el detalle de las emisiones por cada uno de los segmentos, considerando la ubicación de las viviendas respecto del borde lago y el nivel de aglomeración de las mismas. Esta información permite establecer las siguientes tres propuestas de medidas de mitigación.



1. **Ampliación del plan regulador intercomunal** de la ribera sur del Lago Villarrica en función de la densidad de personas por ha, el cual establezca las limitaciones de construcción sobre zonas de mayor aporte.
2. En el caso de las zonas de bajo estrés, se propone **definir la cantidad máxima de nitrógeno y fósforo que puede soportar la zona antes de pasar a un estado de latencia**. Lo anterior dependerá, principalmente del número de personas, tiempo de permanencia de personas en el lugar, características del terreno, distancia de la vivienda al borde lago y de la tecnología de abatimiento a utilizar.
3. Respecto del espacio, se propone **restringir la construcción de nueva infraestructura habitacional** en las zonas de mayor saturación, teniendo en cuenta la distribución de viviendas actual en cada uno de los segmentos propuestos. Reemplazando la lógica de construcción particular por una del tipo administrada como es el caso de condominios y hoteles.
4. Respecto a la aglomeración de viviendas ya presentes en el borde lago, con alta influencia en la carga de fósforo y nitrógeno (zonas 7, 8, 14 y 15, modelo a 100 años), se propone construir **pequeñas plantas de tratamiento, plantas elevadoras de aguas servidas o humedales artificiales** que permitan disminuir la carga orgánica y nutrientes descargados al lago. Esto se verá fortalecido con la aplicación del plan regulador propuesto anteriormente.



5. LIMITACIONES DEL PRESENTE ESTUDIO

No obstante, que los resultados obtenidos por el estudio coinciden con los valores medidos en la mayoría de los puntos de muestreados, deseamos mencionar algunos aspectos que podrían ser incluidos en consultorías futuras para mejorar el soporte técnico a la toma de decisiones:

- i. Una de las limitaciones está relacionada con la **cantidad y estrategia de muestreo**, esto debido a la baja disponibilidad de recursos económicos asignados al proyecto. Para lograr una mejor interpretación del comportamiento o variación de las concentraciones de nitrógeno y fósforo sería necesario tomar de muestras compuestas o, mejor aún, mediante un muestreo de perfil diario. Esto mejoraría considerablemente la representatividad del muestreo.
- ii. Otra limitación se encuentra asociada al modelo de transporte en ríos y esteros. La definición de **condiciones de borde** para las concentraciones de nitrógeno y fósforo fueron asumidas constantes en el tiempo, utilizando como valor el único muestreo realizado con fecha 26 de septiembre de 2017. Esto genera incerteza en el valor de la carga natural de nitrógeno y fósforo de cada uno de los ríos y esteros simulados.
- iii. Respecto al aporte difuso en el modelo de transporte, se consideró que estaba completamente reflejado en las condiciones de borde utilizadas. Sin embargo, no se consideró el **aporte difuso de las subcuencas** intermedias correspondientes a cada uno de los tramos simulados.
- iv. Respecto al aporte de nutrientes desde fuentes puntuales a ríos y esteros (pisciculturas y PTAS Pucón), los valores de nitrógeno y fósforo utilizados, corresponden a los **valores declarados** por cada fuente **y no a valores medidos** en terreno.
- v. Respecto al aporte de las **aguas servidas de Curarrehue**, no fue posible contar con información de caudal ni concentraciones de nutrientes descargados al río Trancura. Por lo cual, la información se estimó de acuerdo a lo descrito en la Metodología.



- vi. Otra limitación corresponde a la falta de **estaciones fluviométricas y de calidad en la salida de las subcuencas** que poseen fuentes puntuales.
- vii. Respecto a la estación fluviométrica **Río Pucón en Puente Quelhue**, esta cuenta solo con registro de altura de columna de agua y temperatura, pero al momento de la ejecución del presente estudio, **carece de una curva de descarga**. Por lo cual, la información se estimó de acuerdo a lo descrito en la Metodología.
- viii. **No existen estaciones fluviométricas ni de calidad** en los esteros afluentes a la **ribera sur del Lago Villarrica** (tramo comprendido entre las ciudades Villarrica y Pucón) con presencia de fuentes puntuales (esteros Lefún, Molco, Loncotraro, Los Chilcos y Correntoso). Por lo tanto, esta información se generó según lo establecido en Metodología.
- ix. No hay antecedentes públicamente disponibles sobre **tipo de suelo y sus propiedades hidrológicas** dentro de la zona de estudio. Por lo tanto, en la ribera sur se asumió dos tipos de suelo: franco-arcillo-limoso y franco-arenoso, tal como se describe en la metodología.
- x. No existe información públicamente disponible sobre **profundidad de la napa freática ni concentraciones de nutrientes** en el tramo comprendido entre la carretera S-199 y ribera sur del Lago Villarrica. Lo anterior limita en la calibración del modelo de transporte de nutrientes en la ribera sur del lago.
- xi. Respecto a los sistemas de tratamiento de aguas servidas de condominios y hoteles que lo poseen, no existe información respecto a flujos de descarga ni **eficiencia de remoción de carga orgánica, nitrógeno y fósforo**. Por lo tanto, para este estudio, se asumió que las concentraciones de fósforo y nitrógeno descargados al lago no son significativas para balance total.



6. CONCLUSIONES

El presente estudio ha realizado la evaluación y estimación de la carga de nutrientes desde los principales afluentes al Lago Villarrica, además de evaluar la influencia de las fosas sépticas ubicadas en la ribera sur del lago. En función de los objetivos planteados y los resultados obtenidos, es posible establecer las siguientes conclusiones.

La medición de nutrientes en cauces aportantes al Lago Villarrica (río Trancura, esteros Lefún, Molco, Loncotraro, Los Chilcos y Correntoso) muestra que todos ellos presentaron concentraciones similares de nitrógeno total con valores inferiores a 0,8 mg/L, y fósforo total con valores inferiores a 0,15 mg/L en descarga al lago. Por otro lado, al comparar los resultados del estudio de Nimptsch et al. (2015) con el muestreo realizado en el Estero Molco, es posible encontrar similitudes en parámetros como temperatura, pH y oxígeno disuelto. Sin embargo, al realizar la comparación de la especies de nitrógeno y fósforo, todos los valores del presente estudio mostraron concentraciones muy inferiores a las descritas por Nimptsch et al. (2015). Lo anterior indica que es necesario contar con mayor información espacial y temporal de los esteros y ríos evaluados. En el presente estudio solo se realizaron 4 muestreos en la desembocadura y uno aguas arriba (como condición de borde) de cada cauce aportante, distribuidos en 6 meses. Por lo tanto, se propone continuar el presente estudio con una evaluación mínima de 3 años, con mayor número de toma de muestras espaciadas en el tiempo, tanto para la salida al lago como para las condiciones de borde, lo cual permitirá establecer tendencias y mejorar el ajuste de los modelos desarrollados en este estudio.

Respecto de la estimación de la carga temporal de nutrientes en cada uno de los cauces aportantes al Lago Villarrica, se realizó la implementación del modelo de transporte WASP. Las concentraciones de nitrógeno y fosforo total simuladas en cada uno de los cauces aportantes al Lago Villarrica se encontraron dentro de los órdenes de magnitud establecidos por los muestreos realizados en cada punto de control. Por lo tanto, los resultados de las modelaciones de transporte pueden ser considerados aceptables.

De esta manera fue posible determinar que al lago llegan en total 128,5 ton/año de Fósforo total y 1126,8 ton/año de Nitrógeno total, de los cuales 57,2% del Fósforo total y el 71,3% Nitrógeno total proviene de pisciculturas, PTAS y aguas servidas con descarga directa. Respecto a la procedencia de cargas al lago, estas provienen principalmente del Río Trancura



con 108,5 ton/año para P total y 934,2 ton/año para N total, luego le siguen en menor grado el Estero Molco y Estero Los Chilcos. Por lo tanto, de acuerdo a la información obtenida de las modelaciones, es posible establecer que estos tres cauces son los que aportan la mayor carga de nutrientes al Lago Villarrica. También es posible establecer que la reducción máxima posible, si todas las actividades industriales y sanitarias redujeran sus emisiones en un 100% en la Cuenca, sería de un 44,5% para el P total y un 73,2% para el N total (ver Tabla 11).

Por otro lado, para estimar las emisiones producidas por fuentes difusas aledañas a la ribera sur del Lago Villarrica, se utilizaron dos metodologías de cálculo diferentes, una planteada por UACH (2009) y otra según el modelo Difusivo/Dispersivo plantado por la primera y segunda ley de Fick. De ello se concluye lo siguiente:

- La metodología propuesta por UACH (2009) asume que el transporte de nutrientes posee un comportamiento del tipo advectivo, alcanzando el borde lago la misma concentración que la fuente emisora en un tiempo muy corto, lo cual no considera la atenuación producto del transporte difusivo y dispersivo de los nutrientes en el suelo. Por lo tanto, se sugiere considerar dicha estimación solo como un límite superior de las cargas alcanzables en un muy largo plazo.
- Respecto al aporte de nutrientes, fue posible determinar que, en el caso de las habitaciones de veraneo y de uso permanente, son las casas las que muestran mayor participación en el aporte de nitrógeno y Fósforo. Lo anterior concuerda con lo planteado por el estudio de UACH (2009).
- El modelo de transporte de contaminantes implementado en el presente estudio, podría ser utilizado para identificar zonas de mayor y menor carga de en distintos horizontes temporales. Lo anterior podría ser utilizado en el mejoramiento del plan regulador intercomunal. Sin embargo, reiteramos la necesidad de realizar mediciones en terreno para mejorar y calibrar de manera adecuada el modelo implementado.

Por último, y tal como ya se ha mencionado anteriormente, se sugiere continuar esta investigación por 3 años, aumentando la cantidad de puntos de muestreo y la frecuencia temporal de los mismos, de tal forma de levantar información suficiente para implementar de manera adecuada los modelos de transporte desarrollados.

Esto permitiría, en un mediano plazo, un mejor control de la cuenca evaluando el efecto de las posibles medidas de mitigación que se implementen como parte del plan de descontaminación de la cuenca del Lago Villarrica, sugiriendo ajustes y mejoras al mismo.



7. RECOMENDACIONES

Para la realización de futuros estudios en la Cuenca del Lago Villarrica se sugiere:

- ix. Aumentar la cantidad de puntos de muestreo y frecuencia temporal de los mismos.
- x. Considerar información actualizada de los usos de suelo de la cuenca, para mejorar la representación del aporte difuso de las subcuencas intermedias correspondientes a cada uno de los tramos simulados en el presente estudio.
- xi. Realizar un estudio en la ribera sur del Lago Villarrica, que caracterice de manera detallada el tipo de suelo y sus propiedades hidrológicas.
- xii. Levantar información públicamente disponible sobre valores fiscalizados en cada una de las fuentes puntuales aportantes en ríos y esteros.
- xiii. Realizar un monitoreo en el tiempo a las descargas de aguas servidas de Curarrehue (cantidad y calidad de los 7 puntos de descarga).
- xiv. Implementar estaciones fluviométricas y puntos de monitoreo de calidad de agua a las salidas de subcuencas que posean fuentes puntuales de nitrógeno y fósforo.
- xv. Implementar piezómetros de control de nivel de aguas subterráneas y de su calidad en la ribera sur del Lago Villarrica, en concordancia con las sugerencias del reciente estudio hidrogeológico de la región de la Araucanía (DGA-ARCADIS, 2016).
- xvi. Realizar un levantamiento de información respecto a flujos de descarga, eficiencia de remoción de carga orgánica, nitrógeno y fósforo de los sistemas de tratamiento de aguas servidas de condominios y hoteles existentes en la ribera sur del Lago Villarrica.



8. REFERENCIAS

- Aguas Araucanía, 2011. Antecedentes PTAS Pucon.
- Applus, M., 2009. Antecedentes Para El Análisis General De Impacto Económico Y Social De La Norma Secundaria Del Lago Villarrica.
- Aslan, S., Kapdan, I.K., 2006. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecol. Eng.* 28, 64–70.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.04.003>
- CADE-IDEPE, 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del río Toltén. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile. Santiago, Chile 113 p.
- Camacho, J.V., 1998. Tesis doctorales N°122. Eliminación biológica de fósforo y nitrógeno en aguas residuales urbanas. Ciudad Real, España.
- DGA-ARCADIS, 2016. Estudio hidrogeológico, región de La Araucanía. Desarrollado por Arcadis Chile S.A.
- DGA, D.G. de A., 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del río Toltén. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile. Santiago, Chile 113 p.
- DMC, D.M. de C., 2015. Descripción Climatológica Región de La Araucanía [WWW Document]. URL www.meteochile.cl (accessed 1.1.15).
- EcoHyd, 2016. Diagnóstico del estado de la vegetación ripariana de la cuenca del Lago Villarrica.
- Gao, F., Li, C., Yang, Z.H., Zeng, G.M., Feng, L.J., Liu, J. zhi, Liu, M., Cai, H. wen, 2016. Continuous microalgae cultivation in aquaculture wastewater by a membrane photobioreactor for biomass production and nutrients removal. *Ecol. Eng.*
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.046>
- Huett, D.O., Morris, S.G., Smith, G., Hunt, N., 2005. Nitrogen and phosphorus removal from plant nursery runoff in vegetated and unvegetated subsurface flow wetlands. *Water Res.* 39, 3259–3272. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.05.038>
- INE, I.N. de E., 2017. DEMOGRÁFICAS Y VITALES, Comunas: Evolución de algunos indicadores demográficos 2002-2020 [WWW Document]. URL <http://ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales> (accessed 9.29.17).
- Isla, R., Gajardo, L., Bascuñan, H., 2010. Plan de desarrollo comunal Curarrehue 2010-2016 103.
- Kamjunke, N., Nimptsch, J., Harir, M., Herzsprung, P., Schmitt-Kopplin, P., Neu, T.R., Graeber, D., Osorio, S., Valenzuela, J., Carlos Reyes, J., Woelfl, S., Hertkorn, N., 2017. Land-based salmon aquacultures change the quality and bacterial degradation of riverine dissolved organic matter. *Sci. Rep.* 7, 43739.
<https://doi.org/10.1038/srep43739>
- Ledda, C., Schievano, A., Salati, S., Adani, F., 2013. Nitrogen and water recovery from



- animal slurries by a new integrated ultrafiltration, reverse osmosis and cold stripping process: A case study. *Water Res.* 47, 6157–6166.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.037>
- Litoral Austral, 2010. Generación de información complementaria del estado trófico y estado de conservación del ecosistema de los Lagos Villarrica y Llanquihue en Primavera.
- M. C. Peel, B. L. Finlayson, and T.A.M., Rubel, F., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Updat.* 15, 259–263.
<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Marbelia, L., Bilad, M.R., Passaris, I., Discart, V., Vandamme, D., Beuckels, A., Muylaert, K., Vankelecom, I.F.J., 2014. Membrane photobioreactors for integrated microalgae cultivation and nutrient remediation of membrane bioreactors effluent. *Bioresour. Technol.* 163, 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.012>
- Mather, T.A., Allen, A.G., Davison, B.M., Pyle, D.M., Oppenheimer, C., McGonigle, A.J.S., 2004. Nitric acid from volcanoes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 218, 17–30.
[https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00640-X](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00640-X)
- MMA, 2011. Análisis general de impacto económico y social del anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del Lago Villarrica. 75 p.
- Nieto, D., Norambuena, R., González, E., González, L., Moreno, E.P., Programa, C., Wwf, A., Carrillo, D., 2010. Sistemas de Producción de Smolts en Chile, Análisis de alternativas desde la perspectiva ambiental, sanitaria y económica.
- Nimptsch, J., Woelfl, S., Osorio, S., Valenzuela, J., Ebersbach, P., von Tuempling, W., Palma, R., Encina, F., Figueroa, D., Kamjunke, N., Graeber, D., 2015. Tracing dissolved organic matter (DOM) from land-based aquaculture systems in North Patagonian streams. *Sci. Total Environ.* 537, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.160>
- Pellegrini, A.E., 2017. MACRONUTRIENTE DEL SUELO: FÓSFORO. Buenos Aires, Argentina.
- Román, J.S.S., 1998. Transporte de contaminantes 2, 1–13.
- Sawyer, G.M., Salerno, G.G., Le Blond, J.S., Martin, R.S., Spampinato, L., Roberts, T.J., Mather, T.A., Witt, M.L.I., Tsanev, V.I., Oppenheimer, C., 2011. Gas and aerosol emissions from Villarrica volcano, Chile. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 203, 62–75.
<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.04.003>
- SEIA, S. de E. de I.A., 1998. Ficha del Proyecto: Construcción Planta de Tratamiento y Disposición de Aguas Servidas de Pucón [WWW Document]. URL http://seia.sea.gob.cl/seia-web/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=785&idExpediente=785 (accessed 3.28.18).
- SINIFA, S.N. de I. de F., 1998. Resolución de Calificación Ambiental: CONSTRUCCION PLANTA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE AGUAS SERVIDAS DE PUCON [WWW Document]. URL <http://snifa.sma.gob.cl/v2/UnidadFiscalizable/Ficha/9183> (accessed



3.28.18).

- SISS, S. de servicios sanitarios G. de C., 2017. Plantas de tratamiento de aguas servidas - IX Región [WWW Document]. URL <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-5144.html> (accessed 7.10.17).
- UACH, U.A. de C., 2009. Informe final “ DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL LAGO Región de La Araucanía.
- UCT, U.C. de T., 2012. Análisis de la Carga de Nutrientes de las principales subcuencas aportantes al Lago Villarrica.
- UDD, U. del D., 2016. INSTRUMENTOS ECONÓMICOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA.
- US EPA, U.S.E.P.A., 1999. Wastewater Technology Fact Sheet: Sequencing Batch Reactors. (Epa 832-F-99-073) 1–9. [https://doi.org/EPA 832-F-99-062](https://doi.org/EPA%20832-F-99-062)
- Vymazal, J., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. Sci. Total Environ. 380, 48–65. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014>



9. Anexo 1. Minuta selección de pisciculturas



Minuta de Criterios de Selección de Pisciculturas de la Cuenca

Temática	Criterios de selección de piscicultura en la cuenca del Lago Villarrica
-----------------	---

Fecha	Hora	Lugar
24 al 28 de Abril	Jornada de trabajo	Coordinado vía correo electrónico

Participantes

Nombre	Servicio
Paula Díaz	Jefa Depto. Conservación de Ecosistemas Acuáticos
Ivalú Astete	Profesional Depto. Conservación de Ecosistemas Acuáticos
Pablo Etcharren	Profesional SEREMI Región Araucanía
Mariana Brünig	Tesista Magíster, Universidad de Chile
Claudia Espinoza	Consultor

I. Objetivo

Determinar y aplicar criterios para la elaboración de la lista de pisciculturas que será incluida tanto en el modelo de simulación de contaminantes en el lago como en el inventario de emisiones de la cuenca del Lago Villarrica.

II. Metodología

Se elaboró una lista de todas las pisciculturas que se encuentran en la cuenca del Lago Villarrica, a partir de las siguientes fuentes de información:

- Registros de pisciculturas de Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA) en los años 2015 y 2017.
- Registro de pisciculturas ingresadas al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).
- Estudio solicitado a la Universidad del Desarrollo (UDD, 2016), por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA).

De esta lista, sin embargo, se observó que no todas las pisciculturas tienen un impacto final de sus contaminantes en el lago, algunas carecen de información de sus emisiones y otras se presentan operativas de manera intermitente en el tiempo. Por lo tanto, a partir de estas observaciones se determinaron los criterios de selección de pisciculturas para seleccionar aquellas que se integrarán en el modelo y en el inventario de emisiones.



III. Criterios de selección

Se usaron dos criterios, no excluyentes entre sí, para seleccionar las pisciculturas que se incluirán en el modelo y en el inventario de emisiones de la cuenca (Ver Anexo 1):

Criterio a: Pisciculturas que descargan sus emisiones en afluentes que drenan hacia el Lago Villarrica. Aquellas pisciculturas que descargan sus emisiones en cauces que no fluyen hacia el Lago, no serán consideradas.

Criterio b: Pisciculturas que se encuentran operativas de acuerdo al Registro de pisciculturas de SERNAPECSA en el año 2015 y/o 2017. Pisciculturas que en el año 2015 se encontraban operativas pero en el año 2017 ya no estaban en funcionamiento, igualmente se incorporan al modelo dado que son potenciales fuentes de contaminación del Lago. Se aplicó el mismo criterio para la situación opuesta. Aquellas pisciculturas que no se encuentran operativas en los años 2015 y 2017, no se considerarán en el modelo de simulación dado que algunas de ellas se encuentran inoperativas desde un largo periodo de tiempo o bien nunca fueron construidas.

En el caso que una piscicultura no presente información de cargas de nutrientes en sus emisiones al río y cumplan con los criterios a) y b) antes mencionados, se estimarán sus emisiones a través de información aportada por la autoridad competente o en base a su producción.

IV. Aplicación de Criterios

De acuerdo a los criterios establecidos en la sección anterior, son 16 las pisciculturas a considerar en el modelo y en el inventario de emisiones, éstas son: Caburga 1, Caburga 2, Catripulli, Catripulli (en SEIA "Reproductores Curarrehue"), La Cascada, Quimeyco, Los Chilcos, Chehuilco, Loncotrarro/Los Chilcos, Molco, Quetroleufu, Ojos del Caburga, Carileufu, Alto Lefún y Rinconada (Ver Anexo 1).

Por último, se acordó que todas las pisciculturas registradas operativas e inoperativas serán mantenidas en el inventario, el cual deberá ser actualizado continuamente.

Minuta elaborada por Claudia Espinoza 28/04/2017



Anexo 1: Aplicación de criterios de selección de pisciculturas que serán incluidas en el modelo de simulación de contaminantes del Lago Villarrica y en el inventario de emisiones del plan de descontaminación del lago. **Fuente:** Modificado desde estudio de Mariana Brüning.

N°	Nombre	Criterios de selección			Información de carga de nutrientes	Incluidas en el modelo y en el inventario	Comentario
		Criterio a	Criterio b				
		Descarga al Lago Villarrica	Operativas SERNAPESCA 2017	Operativas SERNAPESCA 2015			
1	Caburga 1	Sí	No	Sí	Sí	SI	Activa desde 1996 con autorización de SUBPESCA
2	Caburga 2	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
3	Catripulli	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
4	Catripulli*	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
5	Curarrehue	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
6	La Cascada	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
7	Quimeyco	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
8	Los Chilcos	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
9	Cheuilco	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
10	Loncotraro/ Los Chilcos	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
11	Molco	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
12	Quetroleufu	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
13	Ojos del Cabruga	Sí	Sí	Sí	Sí	SI	
14	Carileufu	Sí	No	Sí	Sí	SI	
15	Alto Lefún	Sí	Sí	No	No	SI	Cercana al lago y fuera de la legalidad por años.
16	Rinconada	Sí	No	Sí	No	SI	

*En Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental: "Reproductores Curarrehue"



Continuación Anexo 1: Aplicación de criterios de selección de pisciculturas que serán incluidas en el modelo de simulación de contaminantes del Lago Villarrica y en el inventario de emisiones del plan de descontaminación del lago. **Fuente:** Modificado desde estudio de Mariana Brüning.

N°	Nombre	Criterios de Selección			Información de carga de nutrientes	Incluidas en el modelo y en el inventario	Comentario
		Criterio a	Criterio b				
		Descarga al Lago Villarrica	Operativas SERNAPESCA 2017	Operativas SERNAPESCA 2015			
17	Huincacara	No	Sí	No	No	No	
18	Camila	No	Sí	No	No	No	Descarga a la región de Los Ríos
19	Carén	Sí	No	No	No	No	Pertenece a Curarrehue 2001 y no opera.
20	Palguín	Sí	No	No	Sí	No	En proceso de regularización de permisos sectoriales. Por ahora no opera.
21	Quilentue	Sí	No	No	No	No	No fue construida
22	Victor Hugo Arcaya	Sí	No	No	No	No	No fue construida
23	El Turbio	Sí	No	Sí	Sí	No	No fue construida
24	Los Ríos	No	Sí	No	No	No	Descarga al Río Toltén
25	Las Vertientes	No	No	No	No	No	Descarga a la región de Los Ríos
26	Chesque Alto	No	Sí	No	Sí	No	

10. Anexo 2. Ubicación de puntos de muestreo y aforo.

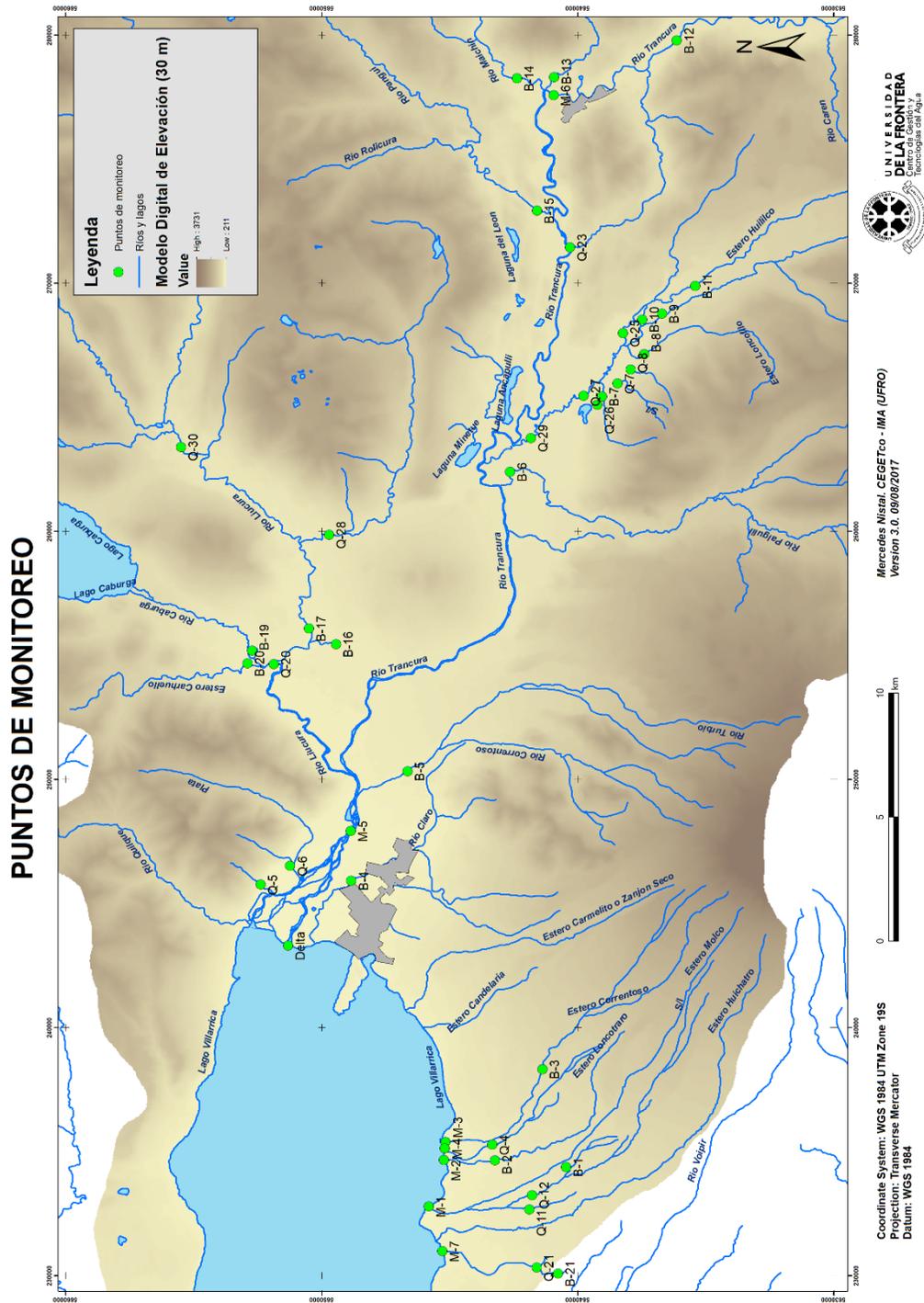


Figura 47. Puntos de monitoreo (M, B y Q).

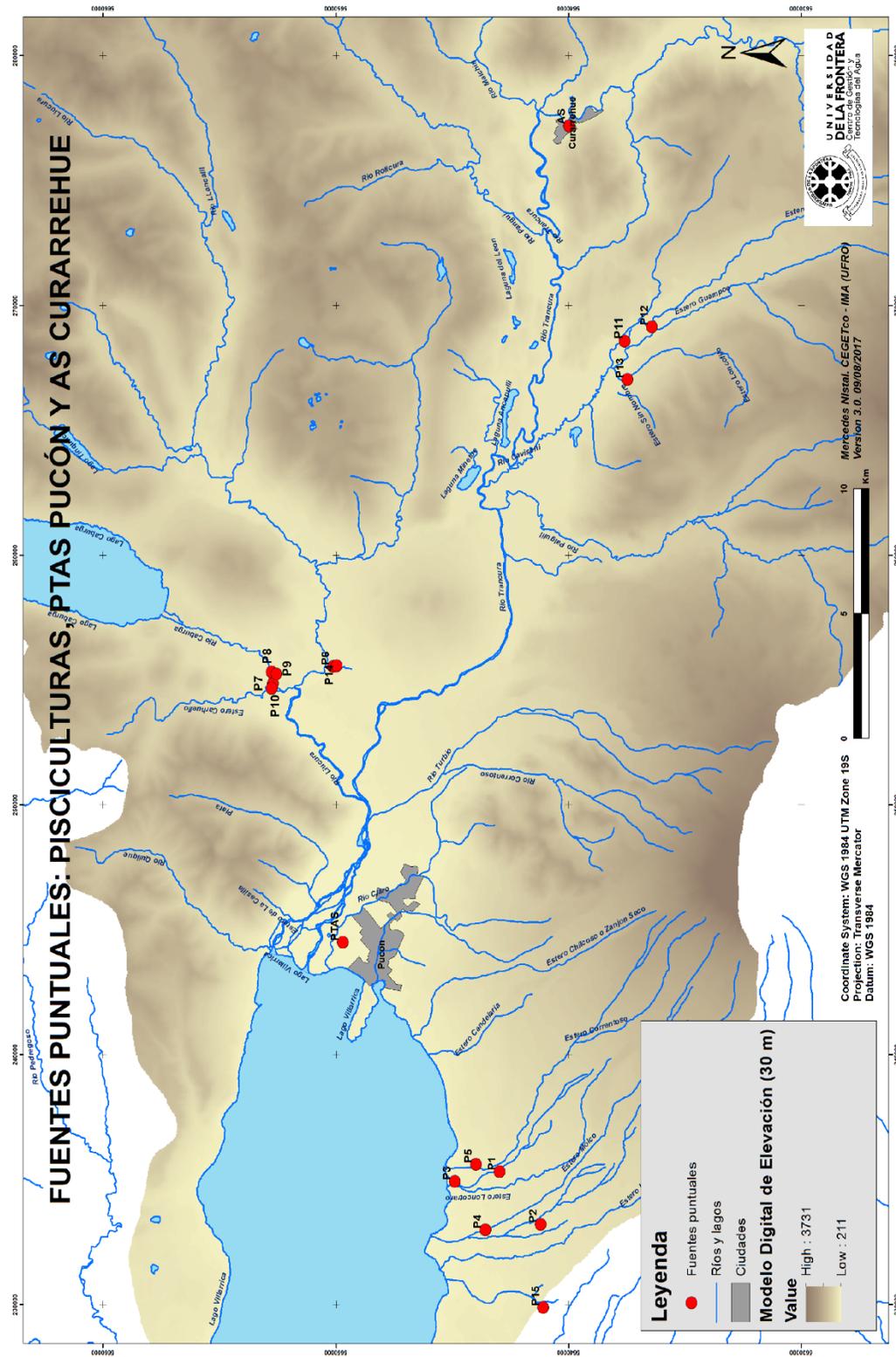


Figura 48. Fuentes puntuales: Pisciculturas (P), PTAS (Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Pucón) y AS (Aguas Servidas Curarrehue).

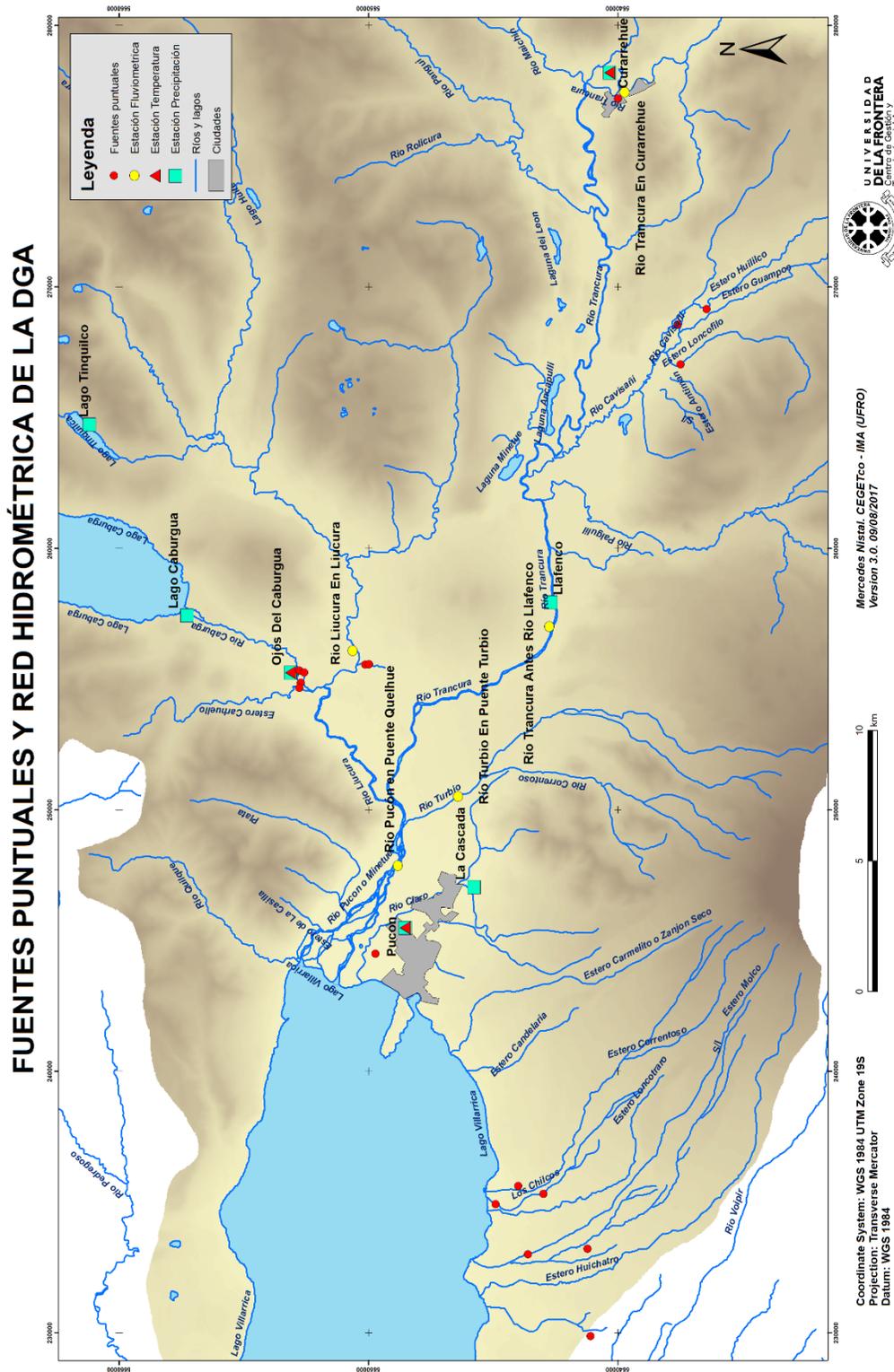


Figura 49. Red hidrométrica de la DGA y fuentes puntuales.



11. Anexo 3. Geometría río Trancura

Geometría Modelo Transporte Río Trancura

Tabla 27. Geometría utilizada para modelo de río Trancura.

Nombre del segmento	Largo (m)	Ancho (m)	Área Superficial (m ²)	Profundidad promedio (m)	Volumen (m ³)	Tiempo Residencia (día)	Velocidad (m/día)	Pendiente (m/m)
T.1 Trancura B-12	1355.1	50.00	67755.4	0.85	57592.1	0.01	1.99	0.0080620
T.2 Trancura	1469.3	28.38	41691.2	0.71	29392.3	0.00	4.23	0.0000000
T.3 Trancura	1112.9	6.75	7511.9	0.56	4206.7	0.00	22.37	0.0000000
T.4 Trancura	1197.7	20.88	25001.6	1.78	44502.8	0.01	2.28	0.0000000
T.5 Trancura	1470.7	13.44	19761.9	1.12	22034.5	0.00	5.64	0.0000000
T.6 E. S/N 1	396.8	6.00	2380.6	0.45	1071.3	0.00	11.60	0.0000000
T.7 As Curarrehue	1039.0	29.72	30878.2	1.03	31881.7	0.00	2.76	0.0000000
T.8 Trancura	896.3	35.00	31371.7	3.00	94115.0	0.01	0.81	0.0000000
T.9 E.S/N 2 B-13	1029.8	6.00	6178.6	0.45	2780.4	0.01	0.91	0.0115541
T.10 Maichin B-14	1875.4	46.00	86267.8	0.95	81954.5	0.01	2.80	0.0059847
T.11 Trancura	1398.7	25.50	35666.7	0.65	23183.4	0.00	5.10	0.0000000
T.12 tRancura	1206.8	15.25	18403.4	0.50	9201.7	0.00	11.09	0.0197847
T.13 Trancura	1307.1	10.13	13234.6	0.43	5624.7	0.00	19.65	0.0000000
T.14 Trancura	1521.8	7.56	11508.4	0.39	4459.5	0.00	28.86	0.0000000
T.15 Trancura	1284.4	6.28	8067.9	0.37	2975.0	0.00	36.51	0.0000000
T.16 Trancura	1200.2	5.64	6770.0	0.36	2433.0	0.00	41.72	0.0000000
T.17 Trancura	1005.1	5.32	5347.4	0.35	1896.7	0.00	44.82	0.0000000
T.18 Pangui B-15	1165.0	30.00	34951.3	0.90	31456.1	0.01	1.60	0.0000000
T.19 Trancura	1319.0	25.50	33635.4	0.65	21863.0	0.00	5.10	0.0000000
T.20 Trancura	1337.1	5.00	6685.5	0.35	2339.9	0.00	48.33	0.0000000
T.21 Trancura	1169.3	5.00	5846.3	0.35	2046.2	0.00	48.33	0.0000000
T.22 Trancura	1279.3	5.00	6396.3	0.35	2238.7	0.00	48.33	0.0000000
T.23 Trancura	1388.9	5.00	6944.3	0.35	2430.5	0.00	48.33	0.0000000
T.24 Trancura	1265.1	5.00	6325.6	0.35	2214.0	0.00	48.33	0.0000000
T.25 Trancura	1346.0	5.00	6729.8	0.35	2355.4	0.00	48.33	0.0000000
T.26 Trancura	1231.8	5.00	6159.1	0.35	2155.7	0.00	48.33	0.0000000
T.27 Trancura	1379.9	5.00	6899.3	0.35	2414.7	0.00	48.33	0.0089995
T.28 Trancura	1568.3	5.00	7841.4	0.35	2744.5	0.00	48.33	0.0000000
T.29 Trancura	1256.1	5.00	6280.7	0.35	2198.2	0.00	48.33	0.0000000
T.30 Trancura	1722.5	5.00	8612.4	0.35	3014.3	0.00	48.33	0.0000000
T.31 Huililco B-11	1588.3	3.10	4923.6	0.43	2117.1	0.01	2.81	0.0343759
T.32 Hu P.Catripulli	740.6	3.10	2295.8	0.43	987.2	0.00	2.81	0.0143851
T.33 E. S/N 3	720.2	11.00	7922.1	0.68	5387.1	0.00	3.64	0.0143851
T.34 E/SN 4	773.3	11.00	8506.4	0.68	5784.4	0.00	3.64	0.0149079
T.35 E/SN 4 B-10	608.2	11.00	6690.7	0.68	4549.7	0.00	3.64	0.0208553
T.36E/SN4 P.Curarrehue	254.1	13.00	3303.6	0.50	1651.8	0.00	4.19	0.0000000

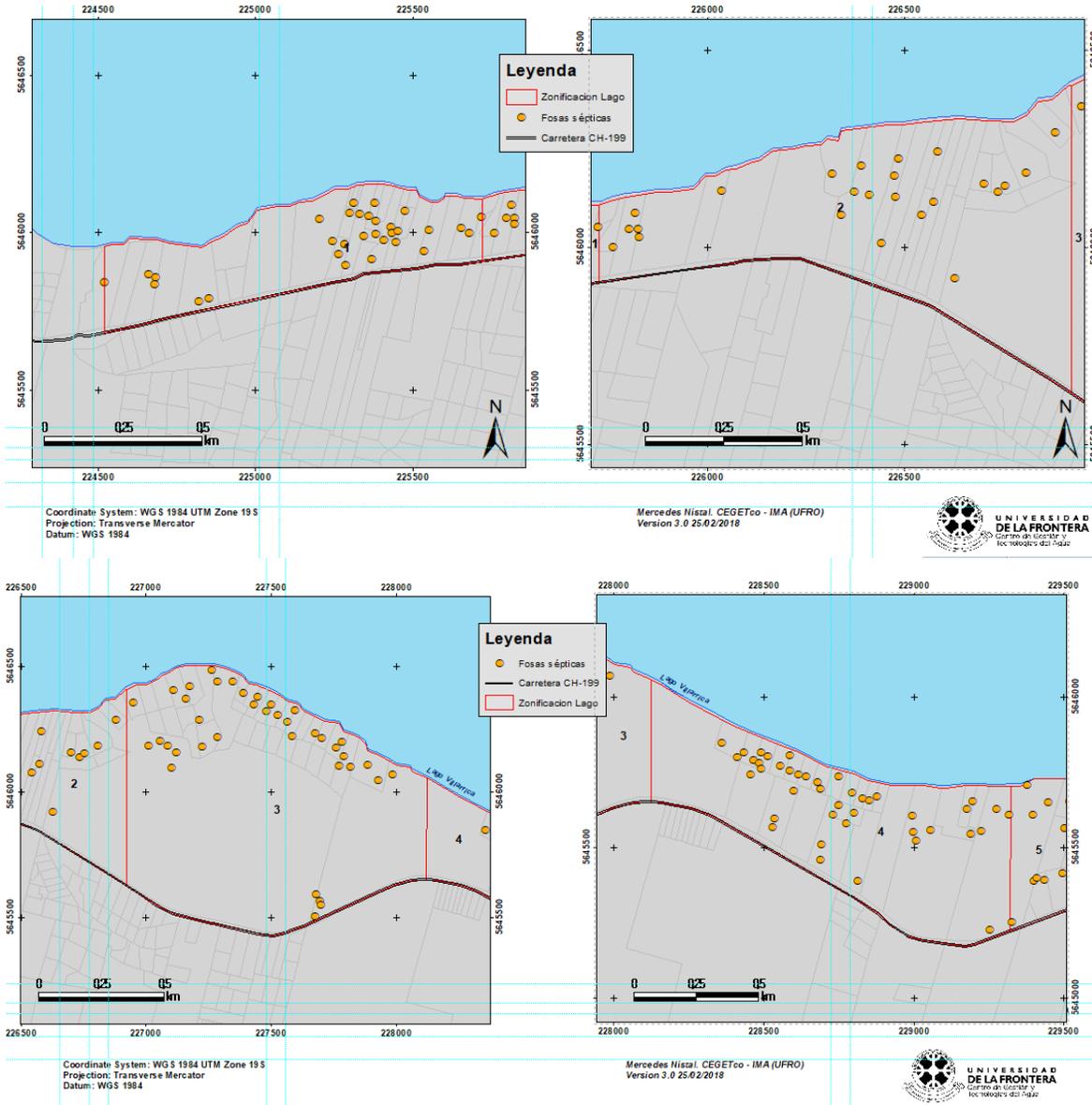


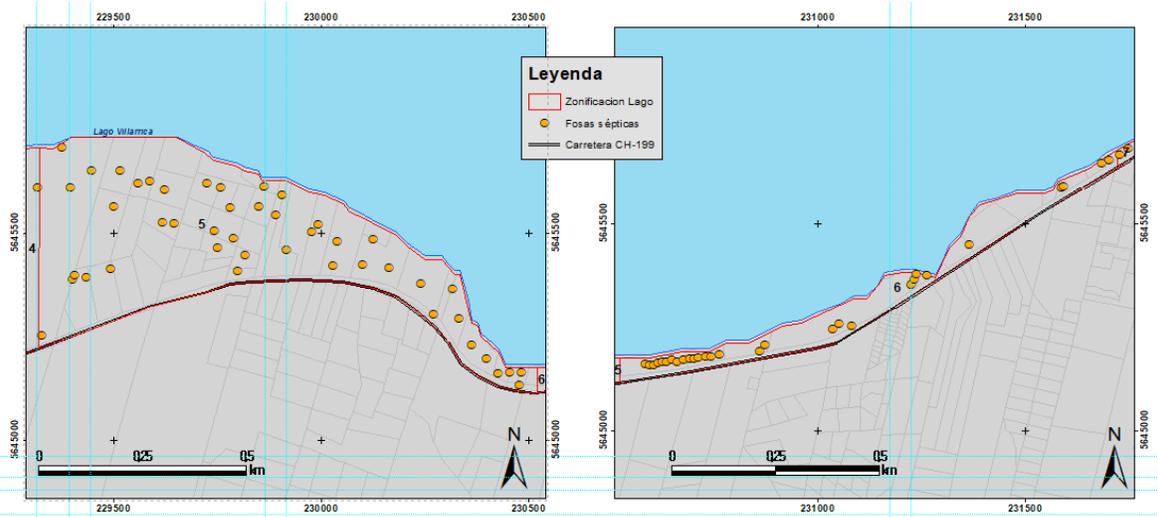
T.37 E.Guampoe B-9	886.5	11.00	9751.1	0.68	6630.7	0.01	1.91	0.0124276
T.38 guampoe	326.9	2.00	653.8	0.85	555.8	0.00	8.39	0.0000000
T.39 R.Cavisai	1330.3	2.00	2660.6	0.85	2261.6	0	34.27	0.0000000
T.40 E.loncofila B-8	218.5	9.70	2119.4	0.98	2077.0	0.00	1.19	0.0514442
T.41Lonv								
P.Rinconada	1060.2	9.70	10283.7	0.98	10078.0	0.01	8.90	0.0108634
T.42 Cavisai	134.7	2.00	269.3	0.85	228.9	0.00	34.27	0.0000000
T.43 E,Maquina Q25	689.1	2.00	1378.2	0.85	1171.5	0.01	1.21	0.0000000
T.44 cavisai	1229.3	21.00	25815.9	0.90	23234.3	0.00	3.08	0.0094204
T.45 Q-8	849.8	3.40	2889.2	0.36	1040.1	0.01	1.46	0.0094204
T.46 Cavisai	1147.7	21.00	24102.2	0.90	21692.0	0.00	3.08	0.0000000
T.47 Q-7	758.1	4.00	3032.5	0.48	1455.6	0.00	1.92	0.0000000
T.48 Cavisai	483.7	21.00	10157.7	0.90	9141.9	0.00	3.08	0.0000000
T.49 E/SN 5 B-7	873.4	3.60	3144.3	0.37	1163.4	0.01	1.14	0.0427916
T.50 Cavisai	1204.5	21.00	25293.6	0.90	22764.2	0.00	3.08	0.0000000
T.51 Cavisai	1158.5	20.50	23749.7	1.11	26243.4	0.01	2.57	0.0098078
T.52 Vavisai	1173.2	12.75	14958.4	0.73	10882.3	0.00	6.28	0.0000000
T.53 Cavisai	1180.7	8.88	10478.6	0.54	5645.4	0.00	12.19	0.0000000
T.54 Cavisañi	1106.8	20.00	22136.9	1.31	28999.3	0.01	2.22	0.0000000
T.55 Cavisai	1353.8	20.00	27075.4	1.31	35468.8	0.01	2.22	0.0000000
T.56 Trancura	1151.2	5.00	5756.1	0.35	2014.6	0.00	48.33	0.0000000
T.57 Trancura	1704.0	5.00	8520.2	0.35	2982.1	0.00	48.33	0.0070939
T.58 Trancura	1141.0	5.00	5705.1	0.35	1996.8	0.00	48.33	0.0000000
T.59 Trancura	1045.9	5.00	5229.3	0.35	1830.3	0.00	48.33	0.0000000
T.60 Palgulil B-6	1226.2	39.00	47822.9	0.83	39597.3	0.00	3.21	0.0093182
T.61 Trancura	1286.5	5.00	6432.7	0.35	2251.5	0.00	48.33	0.0000000
T.62 Llafenco	618.4	7.70	4761.5	0.39	1857.0	0.00	6.84	0.0000000
T.63 Trancura	1303.2	5.00	6515.9	0.35	2280.5	0.00	48.33	0.0000000
T.64 Trancura	1349.8	5.00	6749.1	0.35	2362.2	0.00	48.33	0.0000000
T.65 Trancura	1300.9	5.00	6504.7	0.35	2276.6	0.00	48.33	0.0000000
T.66 Trancura	1362.5	5.00	6812.5	0.35	2384.4	0.00	48.33	0.0000000
T.67 Trancura	1100.5	5.00	5502.6	0.35	1925.9	0.00	48.33	0.0096309
T.68 Trancura	1337.8	5.00	6689.2	0.35	2341.2	0.00	48.33	0.0082661
T.69 Trancura	1176.0	5.00	5880.1	0.35	2058.0	0.00	48.33	0.0000000
T.70 trancura	1057.2	5.00	5286.2	0.35	1850.2	0.00	48.33	0.0299950
T.71 Trancura	1036.9	5.00	5184.3	0.35	1814.5	0.00	48.33	0.0297118
T.72 Trancura	1210.0	5.00	6050.1	0.35	2117.5	0.00	48.33	0.0000000
T.73 Trancura	1266.5	5.00	6332.4	0.35	2216.3	0.00	48.33	0.0098024
T.74 Trancura	1262.9	5.00	6314.4	0.35	2210.0	0.00	48.33	0.0094282
T.75 Trancura	1266.7	5.00	6333.6	0.35	2216.8	0.00	48.33	0.0095262
T.76 Trancura	804.0	5.00	4019.9	0.35	1407.0	0.00	48.33	0.0152242
T.77 Liucura B17	1430.5	17.10	24460.9	2.31	56504.6	0.01	3.10	-0.0075172
T.78 Quetroleuf B-16	313.3	7.60	2381.1	0.30	714.3	0.00	1.50	0.0000000
T.79Quetroleufu								
P.Caburguall	499.3	7.60	3794.4	0.30	1138.3	0.00	1.50	0.0218875



T.80 Quetroleufu								
P.Quetroleufu	487.9	7.60	3707.9	0.30	1112.4	0.00	1.50	0.0000000
T.81 Liucura	1011.6	40.78	41253.1	1.41	58166.8	0.01	2.13	0.0000000
T.82 Liucura	1052.2	40.78	42908.1	1.41	60500.4	0.01	2.13	0.0000000
T.83 Carhuello B-20	344.7	13.20	4549.9	0.67	3048.4	0.00	1.18	0.0488780
T.84Carh								
P.Quimeycor	521.3	13.20	6881.3	0.67	4610.4	0.01	1.18	0.0000000
T.85 Carileufu P.								
Ojos del Caurgua	237.6	13.20	3136.7	0.67	2101.6	0.00	1.18	0.0000000
T.86 P. Carileufu	225.1	13.20	2971.7	0.67	1991.0	0.00	1.18	0.0000000
T.87 E/SN 7 B-19	77.8	1.60	124.4	0.27	33.6	0.00	0.51	0.0000000
T.88 E/SN 7	85.2	1.60	136.3	0.27	36.8	0.00	0.51	0.0000000
T.89 Carileufu	348.2	13.20	4596.0	0.67	3079.3	0.16	0.03	0.0352993
T.90 R.Cabur B-20	88.9	42.00	3733.1	0.90	3359.8	0.00	0.84	0.1219482
T.91 P. Caburgua I	65.4	42.00	2747.4	0.90	2472.7	0.00	0.84	0.0000000
T.92 R.Caburgua	688.3	42.00	28907.0	0.90	26016.3	0.01	0.84	0.0000000
T.93 R.Caburgua	546.1	42.00	22936.1	0.90	20642.5	0.01	0.84	0.0198920
T.94 Liucura	1168.0	29.53	34486.6	1.25	42935.8	0.00	3.33	0.0000000
T.95 Liucura	1231.4	29.53	36355.8	1.25	45263.0	0.00	3.33	0.0000000
T.96 Liucura	1180.3	29.53	34847.9	1.25	43385.6	0.00	3.33	0.0000000
T.97 Liucura	1150.5	29.53	33967.1	1.25	42289.1	0.00	3.33	0.0000000
T.98 Liucura	1194.8	29.53	35275.3	1.25	43917.7	0.00	3.33	0.0000000
T.99 Liucura	1232.6	29.53	36392.1	1.25	45308.2	0.00	3.33	0.0097252
T.100 Liucura	1349.6	29.53	39848.3	1.25	49611.1	0.00	3.33	0.0081197
T.101Trancuro	1305.2	60.00	78310.1	1.75	137042.8	0.02	0.81	0.0189473
T.102 Turbio B-5	2653.9	17.00	45115.6	0.70	31580.9	0.01	2.49	0.0244482
T.103 Trancura	1943.7	60.00	116619.3	1.75	204083.8	0.03	0.81	0.0062910
T.104 Trancura	186.1	60.00	11166.0	1.75	19540.5	0.00	0.81	0.0000000
T.105 Trancura	940.5	60.00	56430.2	1.75	98752.9	0.01	0.81	0.0000000
T.106 Trancura	1276.2	60.00	76574.7	1.75	134005.7	0.02	0.81	0.0106224
T.107 Trancura	1051.4	60.00	63084.6	1.75	110398.0	0.02	0.81	0.0106224
T.108 Plata	933.2	4.40	4106.0	0.38	1560.3	-	0.00	0.0131147
T.109 Trancura	1449.5	60.00	86967.4	1.75	152193.0	0.02	0.81	0.0000000
T.110 La Casilla	797.5	1.20	957.0	0.35	335.0	-	0.00	0.0581022
T.111 Trancura	908.1	60.00	54488.0	1.75	95353.9	0.01	0.81	0.0000000
T.112 Trancura	1222.3	60.00	73340.8	1.75	128346.4	0.02	0.81	0.0000000
T.113 Trancura	2275.0	60.00	136500.7	1.75	238876.3	0.03	0.81	0.0000000
T.114 Trancura	2525.5	60.00	151529.5	1.75	265176.6	0.04	0.81	0.0042465
T.115 Rio claro	587.4	13.00	7636.5	0.28	2138.2	-	0.00	0.0042465
T.116 Ptas Pucon	721.2	13.00	9375.3	0.28	2625.1	-	0.00	0.0086938
T.117 Trancura	933.1	60.00	55984.4	1.75	97972.6	0.01	0.81	0.0000000
T.118 Trancura	935.7	60.00	56141.7	1.75	98247.9	0.01	0.81	0.0000000

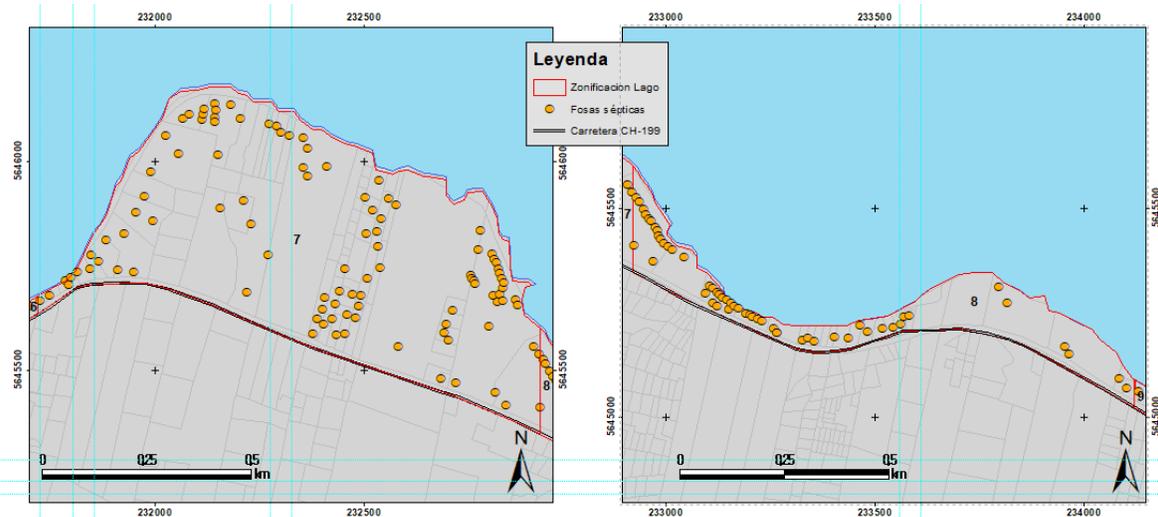
12. Anexo 4. Segmentación de Ribera Sur, Lago Villarrica





Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19 S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

Mercedes Nizal. CEGETco - IMA (UFRO)
Version 3.0 25.02/2018



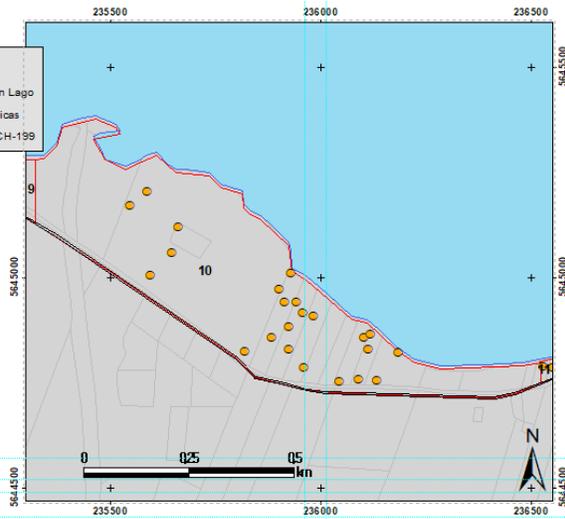
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19 S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

Mercedes Nizal. CEGETco - IMA (UFRO)
Version 3.0 25.02/2018





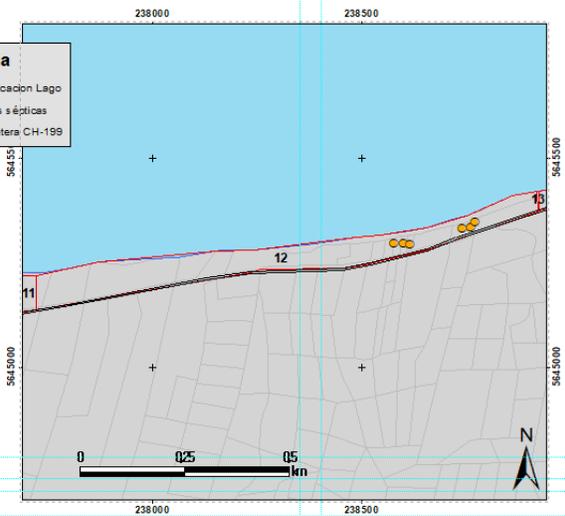
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19 S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



Mercedes Nizal, CEGEToo - IMA (UFRO)
Version 3.0 25/02/2018

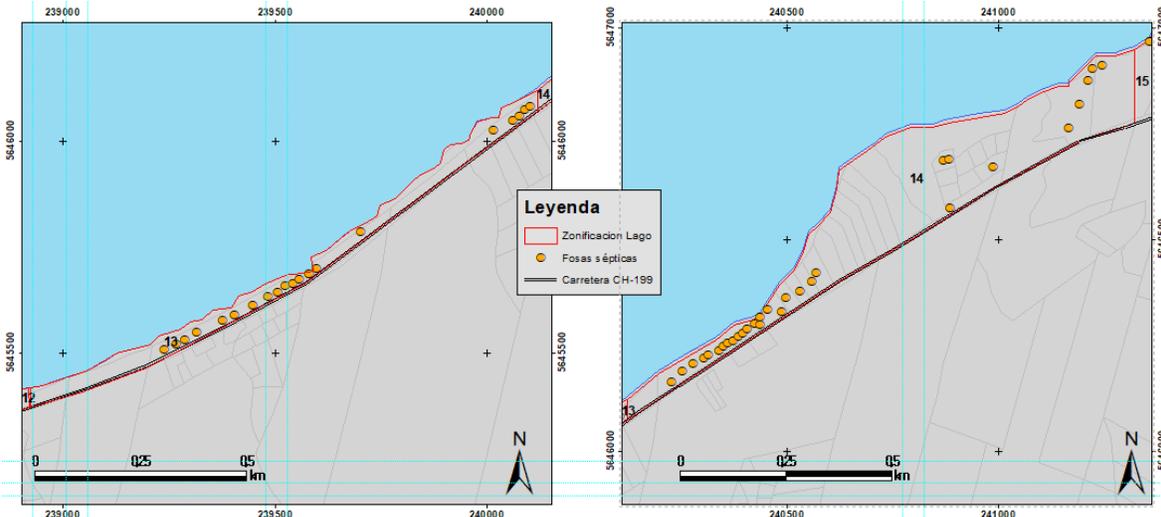


Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19 S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



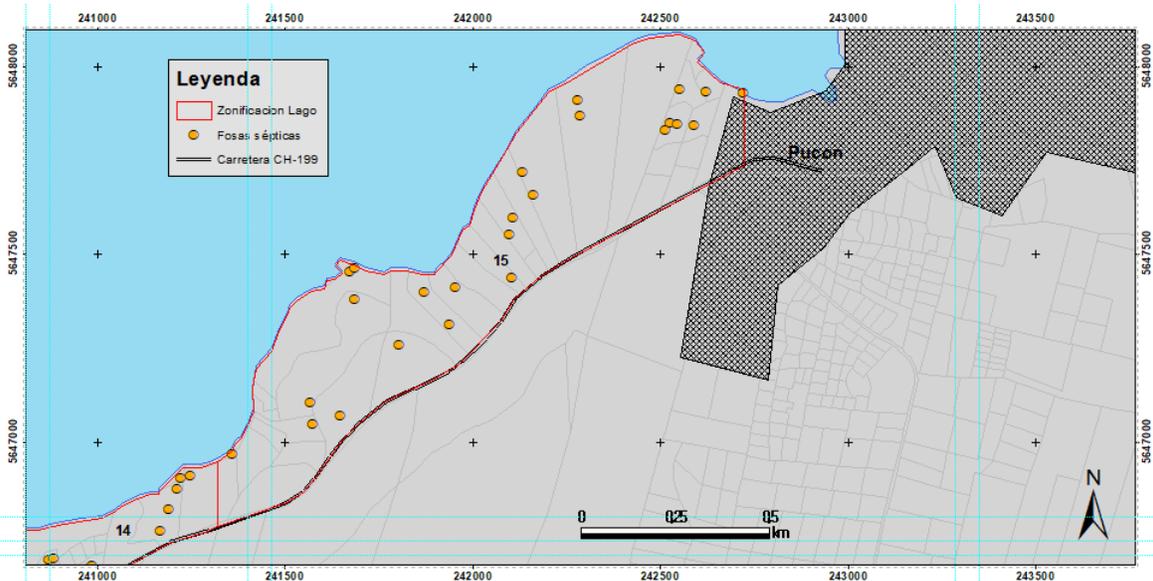
Mercedes Nizal, CEGEToo - IMA (UFRO)
Version 3.0 25/02/2018





Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19 S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

Mercedes Nizal, CEGEToo - IMA (UFRO)
Version 3.0 25-02-2018



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19 S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

Mercedes Nizal, CEGEToo - IMA (UFRO)
Version 3.0 25-02-2018

