

# Protocolo de Monitoreo Aguas Superficiales en Forestal Arauco

GT Biodiversidad, Agua, AVC y Restauración

Subgerencia de Medio Ambiente

Documento Técnico

Versión 07	Fecha Noviembre 2020	Páginas: 12
---------------	----------------------------	----------------



## INTRODUCCIÓN

El impacto de los bosques en el ciclo del agua y los sedimentos ha sido el tema principal en la investigación de la gestión de la hidrología desde principios de 1960 (Zhang y Wang, 2003). Esta investigación ha derivado en una serie de prácticas forestales que son capaces de mantener una cierta cantidad y calidad de agua. Bajo un esquema de manejo adaptativo que busca la mejora continua de los procesos, es necesario contar con evaluaciones periódicas de los principales efectos de las operaciones forestales en el agua. De esta manera se detecta oportunidades de mejora que pueden ir siendo incorporadas en las prácticas habituales.

La calidad y cantidad de agua varía naturalmente dentro de diferentes locaciones y tiempo, por ejemplo las cabeceras de los cursos de agua en zonas elevadas tienden a ser más frías que en las partes de menor elevación; la radiación solar influye la temperatura de los cursos de agua durante todo el día; las diferencias naturales de clima y de zonas buffer (vegetación riparia) causan diferencias en la temperatura y en la calidad del agua; el tipo de vegetación de la cuenca influye la cantidad de agua descargada, así como también su topografía, material parental y pendiente. Disturbios como los incendios forestales, los arrastres por viento y volcamiento de material pueden influir la temperatura, turbidez y otros parámetros de la calidad del agua de los cursos. La geología, la geomorfología y el clima también influyen esta variable (Bierly et al., 2001). El monitoreo, que envuelve una serie de observaciones, mediciones, o muestras colectadas y analizadas en el tiempo debe ser capaz de identificar y separar los efectos relacionados con las prácticas forestales y de la variabilidad natural del sistema o producto de otras causas.

La forma más simple y aceptada dentro de las investigaciones hidrológicas para comparar los efectos de una alteración externa sobre una cuenca corresponde al método de las cuencas pareadas, generalmente en estudios de largo plazo. Chang (2003), describe que la aproximación de las cuencas pareadas busca contrastar el efecto de la intervención de una cuenca versus la testigo. Este proceso requiere de una etapa de calibración y de tratamiento; el propósito del periodo de calibración es para establecer una relación hidrológica segura entre los pares de cuenca. Dada la cantidad de factores ambientales que interactúan para determinar la cantidad y calidad del agua, muchas veces se requiere una gran cantidad de cuencas antes de poder separar el efecto del manejo. En general un gran número de cuencas y el uso de regresiones han permitido separar efectos en varios estudios (Hornbeck et al., 1993, Bari et al., 1996). A parte del número de cuencas, otra limitante de esta aproximación es la dificultad de extrapolar los resultados obtenidos de cuencas pequeñas a cuencas de mayor tamaño (Wilk et al., 2001).

En el presente documento se plantea un sistema de monitoreo de calidad y cantidad de agua que se basa en el enfoque de cuencas pareadas, pero con mediciones puntuales. El objetivo es contar con un conjunto de observaciones en un momento que permitan identificar el efecto de las operaciones forestales y contrastarla con un conjunto de cuencas sin operaciones. Por operaciones forestales se entenderá faenas de camino, cosecha, aplicación de herbicidas, pero también plantaciones en máximo crecimiento e interceptación, considerando así los distintos efectos en calidad y cantidad de agua relacionadas al manejo forestal. El empleo de esta metodología requiere de un número grande de cuencas, pero un bajo número de equipos sofisticados en los sectores a monitorear, lo cual se considera adecuado dada la extensión de las operaciones de Arauco. El presente documento establece los lineamientos técnicos para caracterizar los posibles impactos de una faena de cosecha sobre el recurso hídrico.

## OBJETIVOS

- Definir los Monitoreos de Agua de FASA y establecer criterios técnicos asociados a las mediciones.
- Establecer responsabilidades e instrumental asociado para cumplir con el monitoreo propuesto
- Identificar prácticas operacionales que pudiesen estar afectando la calidad o cantidad de agua.
- Establecer criterios de manejo de cuenca relacionado con la cantidad/cantidad, asociados a los resultados de las mediciones.

## ALCANCE DE MONITOREO

Estos monitoreos se efectuarán solamente en cursos de aguas superficiales, en el caso de punteras, pozos, embalses, lagunas y ojos de agua se mantendrán en una base de datos con sus coordenadas, para tener el resguardo pertinente en el momento de las operaciones.

## TIPOS DE MONITOREO

MONITOREO	ENFOQUE PRINCIPAL
Monitoreo estival de Bocatomas	Calidad/Cantidad
Monitoreo estival de tipos de USO-Bioforest	Cantidad
Monitoreo Operacional	Calidad
Monitoreo Eventual	Calidad/ Cantidad

## PERIODOS DE MONITOREO

**Monitoreos Estivales:** Se realizan durante el periodo de estiaje, es decir, la época del año de menor caudal, debido a la disminución de las precipitaciones. Generalmente este periodo va desde principios de diciembre hasta marzo.

**Monitoreo eventual y operacional:** Pueden ser realizados durante todo el año.

## VARIABLES A MONITOREAR

Se medirá en forma puntual, turbidez, pH y temperatura. Estas variables pueden ser afectadas por faenas forestales y sirven de proxy para otras variables de calidad. Estas mismas variables corresponden a las que se evalúan de forma permanente en las estaciones de monitoreo de FASA (caudal y turbidez) y a las empleadas históricamente en el monitoreo de las cuencas abastecedoras de agua y otros puntos prioritarios (ej. Humedales). A continuación, se define cada variable y su forma de medición:

**Caudal:** aguas debajo de los rodales en operación, así como en los sectores testigo de la línea base se realizarán mediciones de caudal. Este caudal será medido a través del método de área – velocidad. Este método está basado en la llamada ecuación de continuidad:

$$Q = A * v$$

- Dónde:
- Q: flujo de agua (m<sup>3</sup>/s).
  - A: área de la sección transversal del cauce (m<sup>2</sup>).
  - V: velocidad en el área de la sección del cauce (m/s).

El área de la sección transversal del cauce es obtenida a partir de una serie de mediciones de profundidad. Específicamente, estas mediciones se realizan en un sitio de aforo escogido dentro del cauce. De este modo, la profundidad de cada punto medido se transforma en una serie de coordenadas x e y, donde x es cada punto de aforo medido desde la orilla derecha del cauce (m) e y corresponde a la profundidad (m). Estas coordenadas pueden ser luego transformadas en un polígono, ej., mediante el uso de ArcView 3.2, para obtener de manera precisa el área en m<sup>2</sup>, tal como se presenta en la Figura 1.

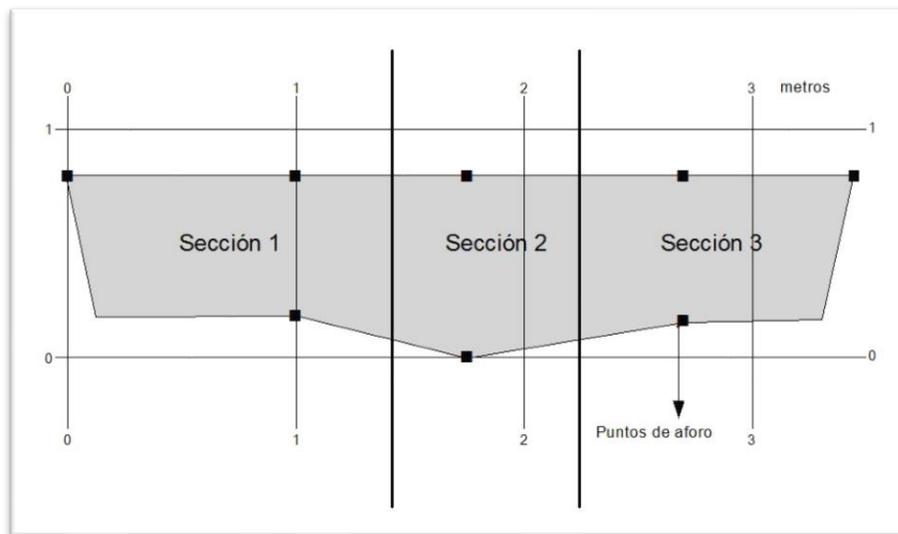


Figura 1. Sección transversal de un cauce.

La velocidad es determinada utilizando un correntómetro debidamente calibrado (Figura 2). El correntómetro es utilizado localizándolo paralelo al eje de cauce, de manera que la circunferencia con la veleta quede con la hélice contra la corriente a una altura correspondiente a la mitad de profundidad. El contador permite obtener directamente la velocidad del agua, la cual es entregada por el instrumento de manera precisa. La velocidad es medida al mismo tiempo según el número de secciones que se consideren en el aforo.



Figura 2. Correntómetro a utilizar en las mediciones.

Para obtener la producción de agua de la cuenca ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ), el caudal instantáneo  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{seg}$ ) será transformado a través de la siguiente fórmula:

$$Q [\text{m}^3/\text{ha}/\text{día}] = Q [\text{m}^3/\text{s}] * (86.400)$$

**Turbidez:** la turbidez es la falta de transparencia del agua debido a la presencia de partículas en suspensión (aunque no solamente sedimentos), por lo que posee una relación directa con la presencia de sedimentos en suspensión, sobre todo totales. Es por ello que es considerada un buen parámetro de calidad de agua, mientras más turbia un agua, menor es su calidad en comparación a otras de menor turbidez. Según la organización mundial de la salud, un agua es apta para consumo humano cuando su turbidez es inferior a 5 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

En esta actividad, la turbidez será obtenida utilizando un turbidímetro portátil (Figura 3), que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. Este instrumento de muy alta resolución con el mayor rango de turbidez admisible (0 a 1.000 NTU) y con lectura a dos decimales. Se realizarán tres mediciones por muestra para obtener una media de mayor acuciosidad.



Figura 3. Turbidímetro portátil en proceso de medición.

pH: el pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH indica la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  presentes en determinadas sustancias. El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más protones en la disolución), y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El  $pH = 7$  indica la neutralidad de la disolución (donde el disolvente es agua).



Figura 4. Procedimiento de medición de pH.

Monumentación: corresponde a la captura del punto GPS del lugar de medición, el cual a su vez deberá ser marcado en un plano para su posterior corrección en LIDAR. Se estima que un GPS Garmin Etrex Legen o similar ya es suficiente para poder capturar las coordenadas con una adecuada exactitud y precisión.

## I. CAPITULO: MONITOREO ESTIVAL BOCATOMAS

### METODOLOGIA

- **Esfuerzo de muestreo:** Se realizara al menos una cada 2 años, con la medición de velocidad, perfil y turbidez de cada punto de captación de agua (Bocatoma), durante el periodo estival. Todas las bocatomas del patrimonio deben ser revisadas y actualizadas cartográficamente durante este monitoreo, priorizando las de consumo humano.

El registro de velocidad y sección transversal del cauce serán utilizados para calcular el caudal. Al obtener el caudal de cada punto de captación se obtiene un estimado de la producción diaria de la cuenca asociada a la captación.

Finalmente el dato de caudal diario es comparado con la demanda de la captación (N° de habitantes, asumiendo consumo de 200 litros por persona). Una vez obtenidos todos los datos se aplican los siguientes criterios:

- El 40 % del Caudal diario de la cuenca es Caudal Mínimo Ecológico
- El 30% del caudal está reservado a variaciones por cambio climático.
- El 30% restante únicamente para consumo humano

Si la población asociada consume más del 30% del caudal de estiaje se deberá evaluar la situación de la cuenca (Posible AVC4).

## II. CAPITULO: MONITOREO ESTIVAL DE TIPOS DE USO-BIOFOREST

### METODOLOGIA

**Esfuerzo de muestreo:** Se realizará una sola medición de velocidad y perfil en cada cuenca durante el periodo estival.

Los criterios utilizados por Bioforest para la elección de las cuencas son los siguientes:

- Rango de tamaños entre 20 y 500 ha., junto con una cobertura mayor al 70% de las especies *Pinus radiata* (PIRA), *Eucalyptus globulus* (EUCA) y Bosque Nativo (BNSM)
- Las cuencas son seleccionadas bajo un mismo régimen pluvial y características geomorfológicas.

Los caudales obtenidos serán utilizados para realizar diversos análisis comparativos de las variaciones de niveles de caudal de los distintos tipos de uso en el tiempo. El número de cuencas seleccionadas por este análisis será definido por BIOFOREST, quién además será responsable del mismo.

## III. MONITOREO OPERACIONAL

### METODOLOGÍA

**Esfuerzo de muestreo:** Se realizarán mediciones de turbidez en cada punto de monitoreo.

- **Monitoreo en cursos de agua con bocatomas:** como mínimo se realizará, una medición en la bocatoma, una medición en el sector de operaciones y dos mediciones de control.
  - **Monitoreo en cursos de agua sin bocatomas:** como mínimo se realizará una medición en el sector de operaciones y dos mediciones de control.
- Para ambos monitoreos se trabajará a nivel de cuenca, siendo la bocatoma el punto de cierre para el primer caso y un punto definido que permita cubrir los requerimientos de medición básica para el segundo caso.

### 1- Sector a monitorear

La unidad base de monitoreo será la cuenca del sector en donde se realice la operación. En el caso de las bocatomas será la misma captación la que defina los límites de la cuenca asociada. En el caso de operaciones no relacionadas a bocatomas la cuenca se definirá aguas abajo de la operación, lo cual permitirá obtener los puntos de monitoreo y control necesarios.

### 2- Priorización del monitoreo

El monitoreo estará enfocado en identificar los efectos de la operación forestal principalmente sobre la variable turbiedad.

Se priorizará dentro de la oferta de la temporada, las operaciones dentro de cuencas abastecedoras de agua potable rural – empresas de servicio sanitario o comunidades, sectores que fueron afectados por incendio, sectores susceptibles a erosión, además de otros sectores que por relevancia apliquen a ser monitoreados.

Tabla 1. Faenas dentro del área a incluir en programa de monitoreo de calidad y cantidad de agua operacional asociado a bocatomas.

INFORMACIÓN	ENTREGA	PLAZO
<b>Rodales a cosechar en invierno</b>	Planificación	4 semanas antes del inicio monitoreo de calidad
<b>Rodales para habilitación y establecimiento</b>	Patrimonio	4 semanas antes del inicio monitoreo de calidad
<b>Caminos construidos con posterioridad a invierno de año anterior</b>	Caminos	4 semanas antes del inicio monitoreo de calidad
<b>Rodales de oferta táctica</b>	Planificación	4 semanas antes de inicio de monitoreo de cantidad (diciembre)

En esta etapa la variable se utiliza para priorizar, no se descarta el monitorear sectores que no afecten capturas de agua para consumo humano.

El conjunto (universo) de sectores de los cuales se seleccionará la muestra serán definidos por la Unidad de Medio Ambiente en base a criterios de Tabla 1. Bioforest apoyará la definición de cursos de agua que pueden tener un impacto significativo de sedimentos o bajo caudal estival para contar con la totalidad de tramos de los cuales priorizar obtención de muestras.

### 3- Puntos de monitoreo

Se seleccionará un conjunto de puntos que cumple con tener un máximo impacto potencial por sedimentos o baja de caudal base estival. Los criterios para seleccionar tramos de máximo impacto potencial se señalan en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios para la selección de principales tramos de curso de agua afectados por operaciones forestales.

Tipo de monitoreo	Entrega	Criterio*
	Unidad de Medio Ambiente	<p>Cursos en donde se presenten operaciones mencionadas en la Tabla 1 como punto de monitoreo operacional.</p> <p>El control validador de este punto debe realizarse en el sector no afectado por la faena, es decir aguas arriba de la operación. En el caso de no existir punto con las condiciones señaladas se debe elegir un afluente similar sin alteración ni aportes dentro de la misma cuenca.</p> <p>En cuencas mayores a 100 ha. La cantidad de puntos de monitoreo operacional y de control podrían variar.</p>

\* Criterios adicionales serán incorporados en esta tabla (ej. Incendios, aplicación de agroquímicos)

Se seleccionará al menos un punto de monitoreo operacional y otros dos de control en el mismo tramo del cauce. Ante la ausencia de controles adecuados para el monitoreo se podrá elegir un curso alternativo en la misma cuenca. En el caso de monitoreo de calidad, la ausencia de control invalida el punto de muestreo.

La Unidad de Medio Ambiente estará encargada de manejar la base de datos con los puntos de monitoreo y control en una tabla con sus coordenadas respectivas. Existirá un respaldo en formato shape o kmz, solicitando apoyo a las unidades de cartografía si fuera necesario (Figura 5).

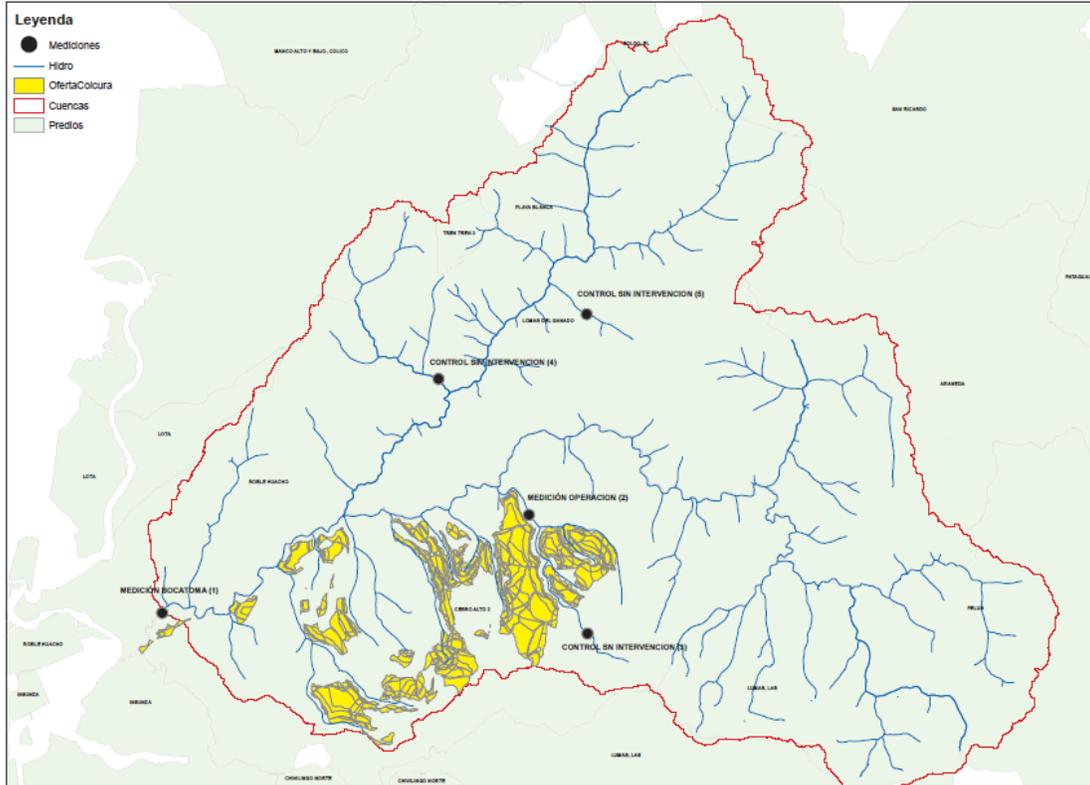


Figura 5. Diagrama del punto de muestreo y control para los frentes de cosecha

#### 4- Registro de Información

La información recopilada del monitoreo debe ser tabulada de forma que cada punto monitoreado cuente con los valores del punto y todos los controles asociados para cada una de las variables. Esta información deberá vislumbrar si la actividad produjo cambios significativos en la variable y si se deben tomar acciones correctivas o revisar el procedimiento de intervención para la actividad en busca de anomalías que expliquen las diferencias. En la Tabla 3 se propone un formato para la información.

Tabla 3. Datos a registrar en monitoreos de calidad.

Temporada	Cuenca	PREDIO	CODIGO	FECHA	X	Y	Punto muestreo	Testigo	NTU 1	NTU 2	NTU 3	PH	T°	Cond. Clima	Lecho	OBS
-----------	--------	--------	--------	-------	---	---	----------------	---------	-------	-------	-------	----	----	-------------	-------	-----

#### 5- Reporte de información y propuesta de mejoras operacionales

Se identificará aquellos puntos con operación en que el valor de una de las variables supere el rango estimado en base a los controles. En cada punto se señalará las causas de la superación del rango y se comunicará a los encargados de dicha faena y sus superiores. En conjunto con las operaciones involucradas, la Unidad de Medio Ambiente diseñarán e implementarán medidas tendientes a evitar los niveles detectados.

La evaluación del conjunto de puntos en una temporada se traducirá en un informe de monitoreo con indicadores (% de los puntos fuera de rango para cada variable) desglosados por faena, filial, época, etc., y recomendaciones de mejoras a las prácticas. El mismo informe propondrá además propuestas de mejora al sistema de monitoreo.

#### IV. CAPITULO: MONITOREO EVENTUAL

##### METODOLOGÍA

Esfuerzo de muestreo: Para este monitoreo se realizará un mínimo de 3 mediciones por cuenca, en cualquier época del año, con repeticiones sucesivas, dependiendo el tipo de evento (Ej. Monitoreo primera lluvia post incendio, Figura 6), donde se registrarán los datos de velocidad, perfil y turbidez en cada punto de monitoreo,

Estos monitoreos eventuales son solicitados por partes interesadas, con la finalidad de detectar si existen irregularidades dentro del patrimonio de FASA. A diferencia del monitoreo operacional este monitoreo no tendrá como foco las operaciones, sino que cualquier actividad o evento que pudiese significar un riesgo a la integridad de los cursos de agua (derrumbes, precipitaciones, incendios, etc.).

EL monitoreo identificará el origen de las irregularidades, con la finalidad de gestionar las medidas de mitigación.



Figura 6. Ejemplo de punto de monitoreo eventual solicitadas por vecinos.

## BIBLIOGRAFÍA

Bari, M., Smith, N. 1996. Changes in stream flow components following logging and regeneration in the southern forest of Western Australia. *Hydrological Processes* 10(3): 447-461.

Bierly, K., Beschta, B., Johnson, S., Braum B., Herlih A., Mauger, S., Gunckel, S., Wright, K., Talabere, A., Habron G., Torgerson C., Hicks D. 2001. *Water Quality Monitoring Guidebook. Oregon Plan for Salmon and Watersheds.* 159 p.

Chang, M. 2003. *Forest hydrology: An introduction to water and forests.* United States of America. 373 p.

Hornbeck, J., Adams, M., Corbett, E., Verry, E., Lynch, J. 1993. Long term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. *Journal of Hydrology* 150 2(4): 323- 344.

Wilk, J., Andersson, L. 2001. Hydrological impacts of forest conversion to agriculture in a large river basin in northeast Thailand. *Hydrological Processes* 15(14): 2729-2748.

Zhang, Z., Wang, L. 2003. *Forest Hydrology Research in China.* En línea: <http://www.fao.org/docrep/article/wfc/xii/0927-b1.htm>. Consultado el 4 de Abril de 2012.