



## "Monitoreo hídrico permanente con participación social para la recuperación sostenible de Valle de Bravo"

agosto 2024

Ramírez-Zierold, Jorge A.<sup>1</sup>; Merino-Ibarra, Martín <sup>1\*</sup>; Castillo-Sandoval, F. Sergio; Barjau-Aguilar, Mariel; Gerardo-Nieto, Oscar; Guzmán-Arias Andrea; Lestay-González, Julio A.; Valdespino-Castillo, Patricia M.; Gaytán-Herrera, M. <sup>2</sup> y Vilaclara-Fatjó, G. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Patronato ProValle de Bravo A.C., Investigador posdoctoral de incidencia CONAHCYT

\* Investigador Titular

Laboratorio de Biogeoquímica Acuática, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>2</sup> División de Investigación y Posgrado, Grupo de Investigación en Limnología Tropical; FES Iztacala, UNAM.

### Cantidad de agua

En comparación con los otros años de mínimo nivel de almacenamiento del embalse de Valle de Bravo (2006, 2009, 2013, 2021, 2023) el 2024 se presenta con un nuevo mínimo nivel histórico de 26.43% (1811.8 m s.n.m.) al día 5 de abril (Figura 1). A partir del 6 de abril se detuvo la extracción de agua del embalse, principalmente por una extraordinaria baja calidad del agua. A partir del 4 de junio se reestablecieron las operaciones de extracción de agua (0.28 millones de m<sup>3</sup> por día) con lo que, en las actuales condiciones de una baja lluvia en la región con respecto a los últimos 20 años, el nivel del embalse se mantiene alrededor de 33% de almacenamiento y presenta una recuperación diaria de su nivel de 0.17% (0.65 millones de m<sup>3</sup> por día).

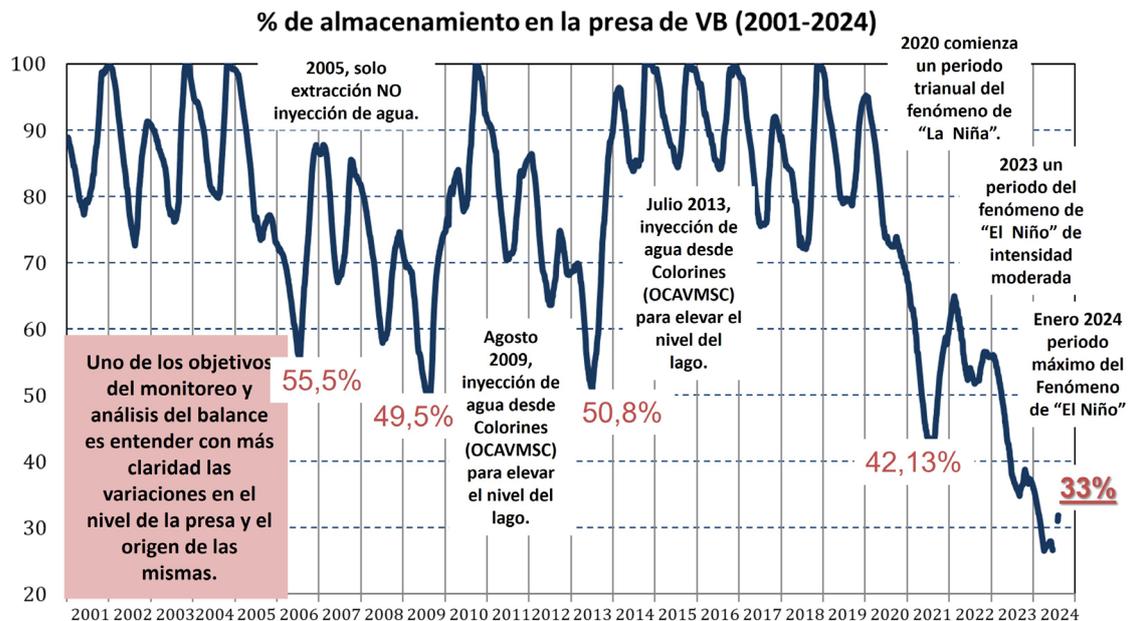


Figura 1. Variación diaria del % de almacenamiento de la presa de Valle de Bravo. En rojo aparecen los mínimos históricos de almacenamiento en 2006, 2009, 2013, 2021, 2023 y agosto 2024 (Datos proporcionados por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México-CONAGUA).



Asimismo, en estos primeros 7 meses de 2024 resalta todavía un importante déficit generalizado del 38% en el caudal de los principales ríos con respecto al promedio histórico observado en años anteriores. En particular es notoria la reducción interanual del caudal del río Amanalco (Figura 2) que es el principal afluente del embalse de Valle de Bravo, con una progresiva disminución de 10% en 2020; 15% en 2021; 21% en 2022, 28% en 2023 y hasta ahora 37% entre enero-julio 2024, con respecto al caudal promedio de los 10 años anteriores.



Figura 2. Variación interanual del aporte de agua por los principales afluentes a Valle de Bravo 2012-julio 2024.

Esta condición observada en los principales afluentes refleja principalmente una importante disminución de la precipitación pluvial en la subcuenca que, en los últimos años presentó un continuo déficit de 16.3% en 2020; 12.2% en 2021; 12.4% en 2022 y 12.8% a mediados de noviembre 2023, debido principalmente a un largo periodo de sequía severa a extrema desde 2020 hasta mediados de 2023. Durante 2024 se ha observado una paulatina recuperación con lluvias y chubascos ocasionales desde junio que representan solo alrededor de sólo el 48% de las lluvias observadas en años anteriores para mediados de agosto (Figura 3).

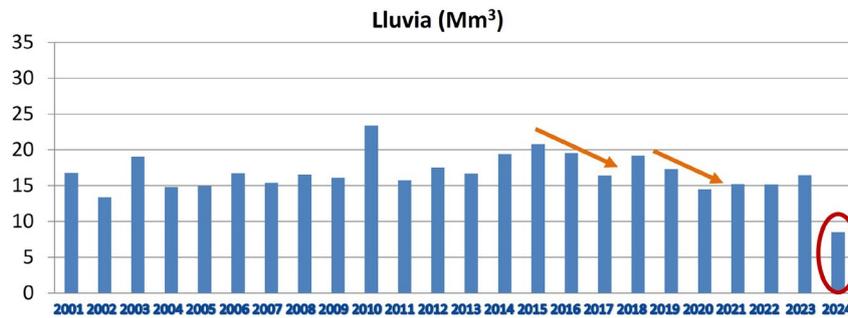


Figura 3. Variación interanual del aporte de agua por lluvias a Valle de Bravo 2001-agosto 2024. Las flechas naranjas reflejan una tendencia trianual de disminución de las lluvias observada entre 2016 y 2020. (Datos proporcionados por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México-CONAGUA).

Aunado a lo anterior, a nivel local los cambios de uso de suelo (incremento en las áreas de cultivo de papa y aguacate) y la disminución de la cobertura boscosa en la cuenca (la pérdida de cobertura arbórea de 799 hectáreas, entre 2001 y 2020, en Valle de Bravo, es superior comparada con otros municipios que también presentan problemas de deterioro en sus bosques). Por todo lo anterior se esperan condiciones de bajo nivel durante 2024 y, por lo tanto, condiciones de vulnerabilidad para garantizar el aprovisionamiento continuo de agua hacia la CDMX y su zona conurbada, así como vulnerabilidad local crítica para el desarrollo de todas las actividades en el lago.

En la Tabla 1 se observa una disminución progresiva en la tasa de extracción instantánea (m³/s) en los últimos 4 años. En ella se aprecia que 2023 fue el sexto año de mayor extracción de los últimos 11 años con 210 millones de m³, lo que representa un +10.6% por encima del promedio 2012-2019 que es de 185 millones de m³. En comparación, durante 2020 se extrajeron 249 millones de m³, lo que representa un +31.3%, en 2021 un +15.7% y en 2022 solo un +1%. Por otro lado, 2023 fue el tercer año más bajo en inyección (1.5 millones de m³) al igual que 2021 y 2020 es hasta ahora el más bajo con 0.36 millones de m³.

Tabla 1. Comparación de las operaciones de extracción 2020-agosto 2024.

Año	Tasa de extracción (m³/s)	Días de extracción	Volumen total (Mm³)
2020 (1°)	7.905	365	249.29
2021 (5°)	7.247	342	214.14
2022 (14°)	7.121	299	183.97
2023 (6°)	6.827	356	209.98
Ene-ago2024	4.713	198	80.62

Entre paréntesis aparece el lugar que ocupa el volumen de extracción de ese año con respecto a la extracción promedio 2012-2019 (Datos proporcionados por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México-CONAGUA).

De la misma manera que en Valle de Bravo, el nivel de los otros dos vasos de almacenamiento del Sistema Cutzamala también disminuyó importantemente en 2023 (Figura 4). En el caso de Villa Victoria terminó el 2023 en 30.5 %, manteniéndose en ese nivel hasta principios de marzo 2024 para disminuir a un mínimo de 22.2% el 29 de junio y recuperarse hasta un 31.4% al 15 de agosto. La presa del Bosque terminó el 2023 en 61.6% y descendió hasta un mínimo de 28.1% el 20 de junio para recuperarse hasta un 53.2% también al 15 de agosto 2024. Al igual que para el vaso de Valle de Bravo, la recuperación del nivel en ambos vasos dependerá del restablecimiento de la temporada de lluvias, así como de la pronta operación de nuevas fuentes complementarias de agua al sistema Cutzamala, entre otras acciones igual de importantes como la tecnificación del riego en zonas agrícolas, la disminución de las fugas, un uso moderado y racional del recurso, así como de tratamiento de agua y su reúso a nivel local en la CDMX y su zona conurbada.

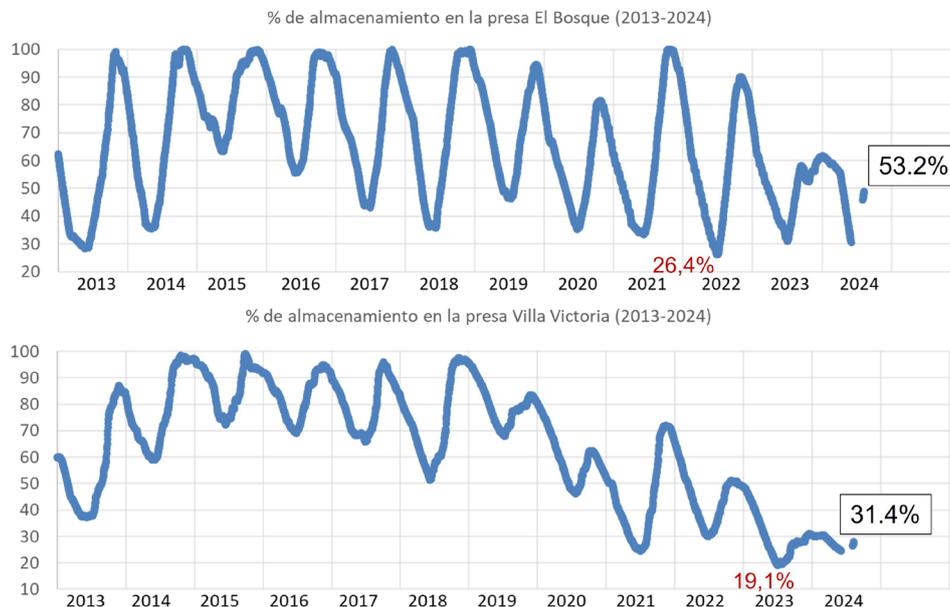


Figura 4. Variación diaria del % de almacenamiento de las presas El Bosque y Villa Victoria (2013-ago2024). En rojo aparecen los almacenamientos mínimos históricos en ambos vasos de los últimos 10 años. (Datos proporcionados por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México-CONAGUA).

## Recomendaciones:

### A nivel local:

- 1.- Realizar un estudio hidrogeológico para conocer con precisión la cantidad y distribución del agua superficial y subsuperficial en la subcuenca con el objetivo de generar estrategias que permitan asegurar el abasto del recurso en los años por venir.
- 2.- Establecer e impulsar los programas coordinados de restauración de suelos, mejora de prácticas agrícolas y de recuperación y manejo sustentable de la cobertura boscosa.
- 3.- Aprovechar las condiciones de bajo nivel para dragar la periferia del embalse de Valle de Bravo para aumentar su capacidad de almacenamiento. Los sedimentos derivados de esta operación pueden ser usados para restaurar suelos agrícolas y forestales por su alto contenido de materia orgánica.



4. Establecer en conjunto con las autoridades, los operadores de marinas y clubes, y los prestadores de servicios un mínimo nivel operativo local para garantizar la viabilidad de las actividades turísticas y deportivas en el embalse a lo largo del año.

#### **A nivel regional:**

1.- Impulsar los programas locales para incrementar el volumen de tratamiento de agua, promover de forma contundente el uso racional y reuso local del agua, así como la tecnificación del riego en las diferentes cuencas del país.

2.- Impulsar el crecimiento de los programas de “Cosecha de agua de lluvia” para a) el uso y reuso del agua a nivel local, así como para aumentar la b) infiltración de agua al acuífero en la zona metropolitana de la CDMX y en la subcuenca Valle de Bravo-Amanalco.

3.- Rehabilitar otras fuentes complementarias de abastecimiento en la CDMX y su zona conurbada, principalmente pozos y embalses.

4.- Mantener y mejorar los programas de detección oportuna y reparación de fugas a nivel local, estatal y regional.

5.- Continuar con los programas de educación y concientización hídrica a nivel nacional, para mejorar los hábitos de consumo y conservación del recurso.

6.- Explorar otras posibilidades de abastecimiento de agua como la estimulación de la precipitación pluvial, a través de la siembra de nubes con tecnologías limpias.

#### **Calidad del agua**

En términos de calidad del agua, la extracción de agua del embalse constituye la única salida eficiente de estos contaminantes y representa, hasta cierto punto, un “alivio” para la calidad del agua; por su parte, un moderado descenso en el nivel permite una aireación paulatina y frecuente del agua lo que dificulta la aglomeración del fitoplancton como “natas” en la superficie del agua y favorece la disolución de parte de los nutrientes y de los contaminantes orgánicos que continúan entrando a él como descargas directas de aguas negras.

Nuestras observaciones apuntan a una disminución en la concentración de nitrógeno en el agua del embalse, derivada del proceso microbiano de desnitrificación, el cual envía el exceso de nitrógeno del agua hacia la atmósfera. Debido a esta pérdida de nitrógeno, se observa un aparente incremento relativo de la cantidad de fósforo accesible para el fitoplancton. Esta situación promueve la dominancia de especies fijadoras de nitrógeno con un alto potencial para generar toxinas. Por lo anterior, se recomienda disminuir al mínimo las actividades que incluyan un contacto directo con el agua del embalse y, en dado caso enjuagarse perfectamente después de tenerlo. (Figura 5).



Figura 5. *Florecimientos fitoplanctónicos observados en 2024: enero (centro del embalse); marzo (obra de toma); abril y julio (Club Náutico Avándaro).*

De acuerdo a lo anterior, niveles extremadamente bajos como el actual, con condiciones extremas de baja calidad del agua, promueven el desarrollo de una gran cantidad microalgas tóxicas observadas en la superficie del agua durante eventos denominados florecimientos (Figura 5) que pueden suceder en diferentes condiciones a lo largo del año, y cuya presencia representa un importante riesgo a la salud para los usuarios directos del embalse, para los habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y otras poblaciones de la región centro de México, así como el principal problema en la planta potabilizadora Los Berros.

Toda esta complejidad, variabilidad y riesgos potenciales a la salud reflejan la urgente necesidad de mantener un monitoreo permanente y continuo de la calidad del agua en Valle de Bravo que funcione como un Sistema de Aviso Oportuno para garantizar: 1) la seguridad de todos los usuarios locales, 2) de los habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y de la Ciudad de Toluca, así como 3) condiciones óptimas del agua para su potabilización.

### **Emisión de gases de efecto invernadero derivados de la contaminación en Valle de Bravo.**

Aunado a lo anterior, desde 2019, y como parte de las actividades del grupo de investigación de la UNAM, incluimos la medición de emisiones y concentración en la columna de agua del dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y de metano ( $CH_4$ ) dos de los principales gases efecto invernadero (GEI), con el fin de conocer la magnitud y dirección del transporte de estos gases entre el embalse y la atmosfera, ya que además de la importancia de estos gases en el ámbito de calentamiento global, estos gases tienen efectos como la acidificación del agua dificultando la vida de algunas especies benéficas de fitoplancton. Asimismo, y con el fin de cuantificar de forma integral las emisiones de gases efecto invernadero en Valle de Bravo, desde marzo 2024 incluimos la medición de otros gases de efecto invernadero como lo son el óxido nítrico ( $N_2O$ ) y el amoniaco



( $NH_3$ ), además de cuantificar las emisiones de los lodos expuestos debido a las condiciones actuales de bajo nivel histórico. Al respecto, se halló un aporte importante de los principales gases efecto invernadero proveniente de los lodos expuestos por el bajo nivel del embalse. Los lodos expuestos fueron fuente de gases efecto invernadero, y en comparación a las emisiones provenientes del embalse fueron hasta 2 órdenes de magnitud superiores (Figura 6).

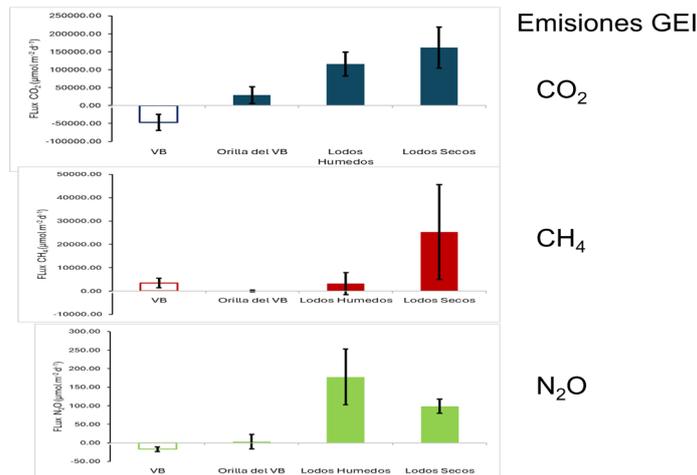


Figura 6. Comparación de las emisiones de  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$  en el embalse de Valle de Bravo y lodos circundantes durante abril de 2024.

### I. Recomendaciones y acciones de restauración prioritarias

Desde 2001, el Patronato ProValle de Bravo A.C. ha estado apoyando a científicos de la UNAM que a lo largo de 23 años hemos generado conocimientos clave para entender la condición histórica de la calidad del agua en la presa de Valle de Bravo. Con base en dichos estudios y el análisis de la condición actual del agua en Valle de Bravo, consideramos prioritario realizar la gestión de recursos para promover una serie de acciones que estén encaminadas a la recuperación sustentable de la calidad del agua en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco.

Para ello, el Patronato ProValle de Bravo cuenta con la capacidad de recibir donativos de todos niveles a través de una cuenta concentradora recursos con los que podríamos seguir impulsando las acciones necesarias para la recuperación ecológica y el mejoramiento de la calidad del agua de NUESTRO LAGO, como son:

**DATOS PARA DONATIVO**

Patronato Pro Valle de Bravo A.C.  
RFC: PPV870422365

**DATOS BANCARIOS**

- Banco: BANORTE
- Sucursal: 2418
- Cuenta Bancaria: 0631790763
- Cuenta Clabe: 072 457 00631790763 3

DONATARIA AUTORIZADA

Calle del Depósito 204, Col. Centro, Valle de Bravo, Estado de México, México, C.P. 51200.

✉ pprovalle@gmail.com
☎ 726 262 1039

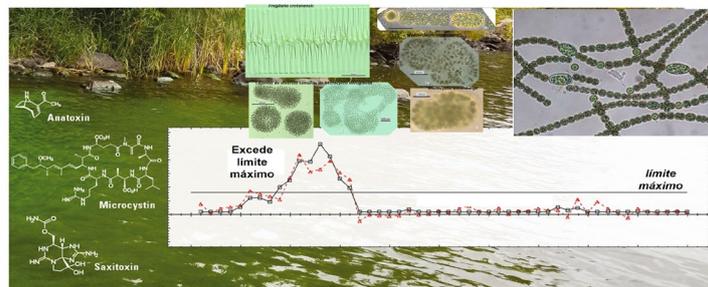
📱 722 203 9053

## 1.- Monitoreo continuo de la calidad de agua e implementación del Sistema de aviso oportuno.

### Objetivos:

1.1.- Desarrollar un programa completo de monitoreo que incluya: 1) la medición de indicadores clave para vigilar la calidad del agua en tiempo real; 2) el estudio de la diversidad, abundancia y distribución del fitoplancton, bacterias coliformes y parásitos, así como 3) la medición de cianotoxinas, para generar en conjunto un sistema de aviso oportuno que oriente de forma segura la realización de todas las actividades deportivas y recreativas en el embalse.

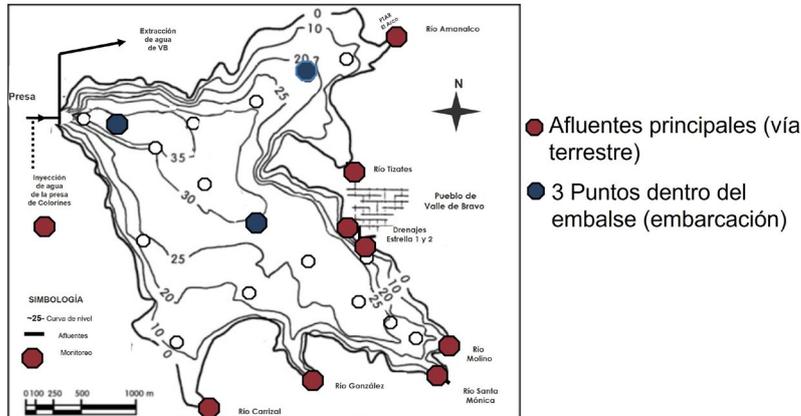
Vigilar la calidad general del agua en tiempo real.



1.2.- Como parte de dicho monitoreo, se medirán las descargas de ríos y drenajes para prever deficiencias en el aprovisionamiento de agua y entender las variaciones temporales y espaciales en su calidad del agua, asociadas a las actividades productivas en la cuenca y a la restauración de la infraestructura sanitaria en Amanalco y Valle de Bravo.

Este enfoque de un monitoreo permanente con participación social es una estrategia que permite: 1) dar seguimiento y orientación a la implementación de las acciones prioritarias para mejorar la calidad del agua y lograr la restauración ecológica de la presa y sus ríos, así como 2) trazar rutas de enlace y construir una interacción exitosa entre la sociedad civil, las autoridades y el sector académico para continuar el diagnóstico ambiental, verificando la efectividad de las acciones implementadas así como promover el cuidado permanente de los recursos hídricos de la cuenca, con lo que se enriquecerá la cultura ambiental y científica local, para lograr una gestión sustentable y participativa de los mismos.

### Puntos estratégicos del monitoreo:



Esta red de puntos estratégicos de monitoreo permitirá recabar la información necesaria en tiempo real para desarrollar índices de calidad del agua adecuados a las condiciones actuales en Valle de Bravo y dar así un cabal seguimiento a la evolución de la calidad del agua, así como vigilar la efectividad de todas las acciones de restauración del embalse y sus afluentes.

1.3.- Como parte de las actividades del comité técnico científico se encuentra la evaluación de proyectos y propuestas sustentables de saneamiento. Dentro de las mejores alternativas exploradas por expertos a nivel mundial en los últimos 20 años, se encuentran las tecnologías basadas en la naturaleza cuya virtud radica en que son alternativas tecnológicas mucho menos costosas que los tratamientos comunes; son alternativas que consideran el funcionamiento natural-ecológico y por esto, promueven la recuperación integral de los ecosistemas acuáticos, como son, por ejemplo:

- ✓ Implementación de ecotecnologías de fitorremediación para la restauración ecológica y sustentable de la calidad del agua en el embalse de Valle de Bravo con enfoque socioeconómico local.

Implementación de unidades de fitorremediación con macrófitas flotantes (ej. Lirio acuático) como biofiltros en las desembocaduras de los dos principales afluentes, para impulsar la restauración ecológica y el mejoramiento de la calidad del agua de la presa de Valle de Bravo, promoviendo la disminución de: 1) las concentraciones internas de contaminantes; 2) la carga bacteriana del agua y 3) los florecimientos fitoplanctónicos (principalmente de cianobacterias y sus toxinas), además de constituir zonas de refugio y reproducción de zooplancton y peces, así como una fuente alternativa de trabajo y recursos para la localidad. El lirio acuático cultivado como biofiltro de contaminantes de origen orgánico constituye una excelente materia prima para la generación de un fertilizante natural, muy eficiente para incrementar el rendimiento de diversos cultivos (Rasmiya Begum, 2022, <https://arccjournals.com/journal/agricultural-reviews/R-184>) así como mejorar la restauración de los suelos agrícolas y forestales, por lo que su manejo podría aportar fuentes alternativas de ingresos a las diferentes localidades de la cuenca.

### 2.- Reducción de descargas de aguas negras al embalse.

#### Objetivo:

Garantizar el tratamiento de todas las aguas residuales domésticas, así como de las descargas contaminantes asociadas a las principales actividades de la cuenca. En este sentido es urgente promover la reducción de al menos el 60% de las cargas externas



de fósforo y nitrógeno al embalse, así como separar las aguas negras de las pluviales para evitar la sobrecarga de agua en las tuberías de conducción a la PTAR, con lo que se evitará la necesidad de liberar aguas negras directamente al embalse.

#### **Recomendaciones:**

2.1.- Gestionar la disminución de trasvases de agua al embalse (inyección de agua desde el vaso de Colorines), para evitar la resuspensión del material sedimentado en las cercanías a la cortina, así como la entrada de nuevos contaminantes (Si es absolutamente necesario inyectarle agua al embalse es preferible hacerlo con el canal de obra de toma en el vaso de Colorines cubierto de lirio).

2.2.- Disminuir la carga de nutrientes residuales del agua tratada en la PTAR del Arco, implementando un tratamiento terciario como la floculación de fósforo a través del uso de ferrato.

2.3.- Explorar la factibilidad de introducir ecotecnias productivas como los humedales artificiales, particularmente el uso de humedales flotantes o de unidades de fitorremediación en los ríos y canales, como medida complementaria de saneamiento.

2.4.- Explorar otras ecotecnias alternativas como la restauración ecológica a través de la estimulación del desarrollo de diatomeas, particularmente en las partes bajas de los ríos Tizates y Amanalco.

#### **Beneficiarios de estas acciones:**

**Directos:** (1) habitantes locales y visitantes que realizan actividades de recreo (navegación, esquí, natación, remo); (2) participantes de los diferentes eventos deportivos en el embalse (vela, natación); (3) prestadores de servicios y (4) aquellos usuarios que hacen provecho de los productos que se generan en el embalse principalmente peces y las macrófitas cultivadas. **Indirectos:** (1) Locales: todos aquellos prestadores de servicios turísticos que se verán beneficiados por el incremento de visitantes y (2) foráneos: todos los habitantes de las zonas conurbadas de la CDMX y Toluca que se abastecen de agua potable proveniente del Sistema Cutzamala.