



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

Noviembre 2022

* Investigador Titular

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

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

Cantidad de agua

Durante 2020 y 2021, el nivel del embalse de Valle de Bravo descendió progresivamente hasta un mínimo almacenamiento histórico de 42.13% a principios de agosto 2021 (Figura 1); esta tendencia indica que las continuas operaciones de extracción de agua del embalse rebasaron el aprovisionamiento de agua por lluvia y escorrentías (ej. ríos). En comparación con los otros años de mínimo nivel de almacenamiento (ej. 2006, 2009, 2013), el 2021 fue recuperando su nivel más lentamente, hasta un máximo de 65% a mediados de febrero de 2022, para volver a descender hasta un 52% en junio, a partir del cual ha vuelto a recuperarse muy lentamente hasta la fecha, presentando un 56.4% a mediados de noviembre.

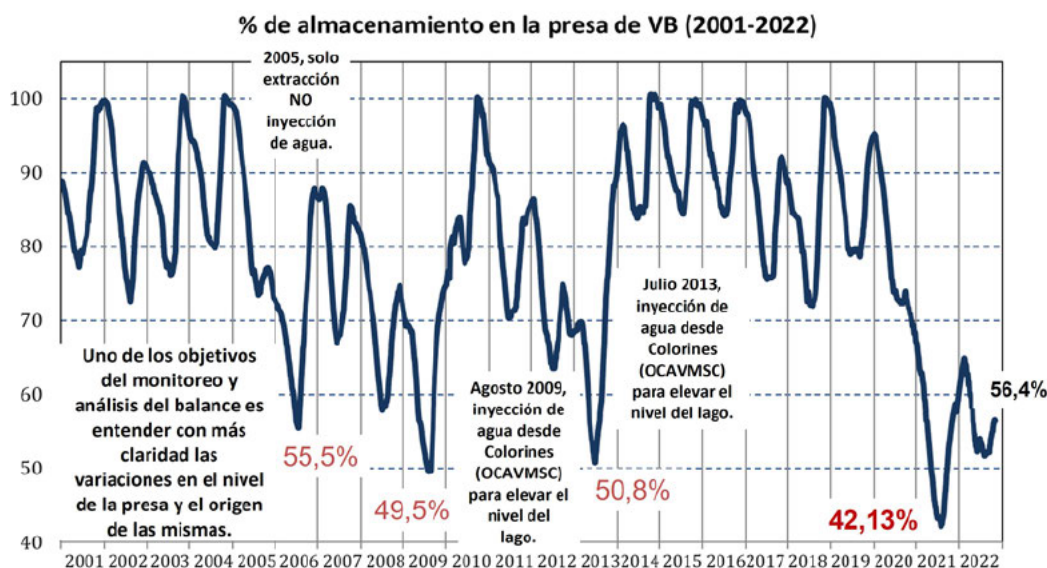
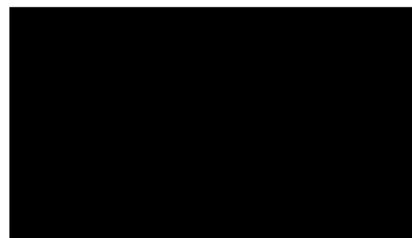


Figura 1. Variación diaria del % de almacenamiento de la presa de Valle de Bravo en los últimos 21 años. En rojo aparecen los mínimos históricos de almacenamiento en agosto de 2006, 2009, 2013 y 2021.



En retrospectiva, el promedio de almacenamiento de los últimos 20 años es de 314 millones de m³ que representan un 79.6% de la capacidad total de almacenamiento de la presa; en comparación con este promedio, los últimos tres años han estado por debajo de ese volumen, presentando en 2020 un 78.9%; en 2021 un 53.1% y en 2022 un 57.5%, siendo estos dos últimos años los más críticos históricamente.

Asimismo, resalta el déficit generalizado del 12% en el caudal de los principales ríos desde 2020 con respecto al promedio histórico (Figura 2), lo que refleja a su vez una fuerte disminución de la captación de agua de lluvia en la cuenca, la cual presentó un déficit de 16.3% en 2020; 12.2% en 2021 y 14.6% en 2022.

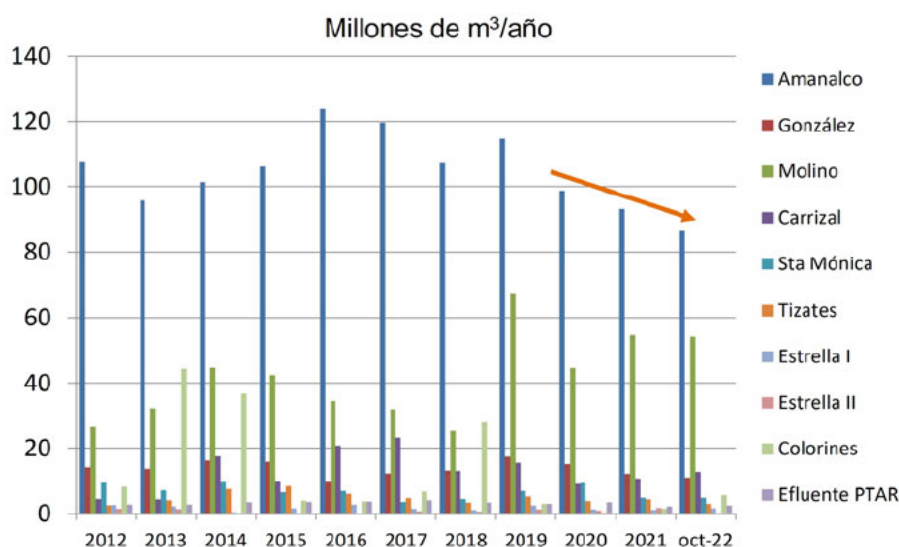
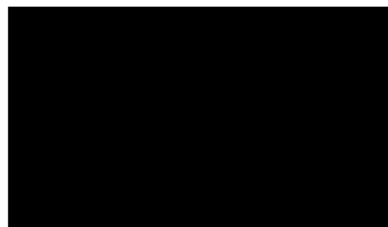


Figura 2. Variación interanual del aporte de agua por los principales afluentes a Valle de Bravo 2012-octubre 2022.

En particular es notoria la reducción del caudal del río Amanalco que es el principal afluente del embalse de Valle de Bravo, con una progresiva disminución de 10% en 2020; 15% en 2021 y 21% en 2022, con respecto a los años anteriores. Esta disminución en los aportes de agua de lluvia y de los ríos al embalse son importantes indicadores de los efectos derivados de 1) los cambios de uso de suelo (incremento en las áreas de cultivo de papa y aguacate) y 2) la disminución de la cobertura boscosa a nivel local sobre 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), así como 3) también los efectos del cambio climático global sobre las tasas de evaporación y la distribución de las lluvias.

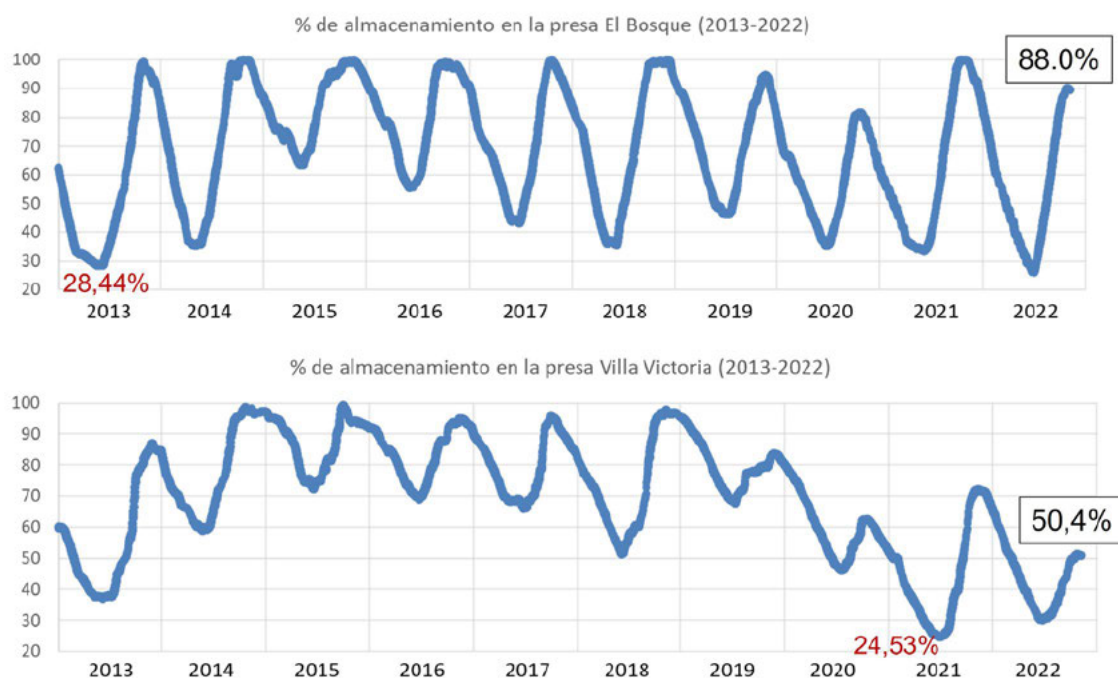
De la misma manera que en Valle de Bravo, el nivel de los otros dos vasos de almacenamiento del Sistema Cutzamala también disminuyó importantemente hasta junio de 2021 (Figura 3), mes en que Villa Victoria alcanzó un mínimo histórico de 24.5%, como resultado de las bajas lluvias registradas durante 2020 y 2021, con lo que el Sistema Cutzamala en su conjunto se encontraba a mediados del 2021 en condiciones críticas de almacenamiento de agua.



Durante la temporada de lluvias 2021 se observó la total recuperación del nivel de almacenamiento en la presa El Bosque (99.94%; a mediados de octubre) sin embargo, para las mismas fechas, el vaso de Villa Victoria aún presentaba un déficit de almacenamiento con relación al promedio histórico.

Durante 2022 el nivel de El Bosque alcanzó un mínimo histórico de 26.3% y Villa Victoria un mínimo de 30.1% a finales de junio, a partir de lo cual ambos vasos han mostrado signos de recuperación, sin poder llegar aún a su máxima capacidad (Figura 3).

Por todo lo anterior cabe esperar condiciones de bajo nivel relativo durante la temporada de estiaje comprendida desde diciembre 2022 hasta junio 2023, muy similares a lo observado en 2021 y por lo tanto, cierta vulnerabilidad para garantizar el aprovisionamiento continuo de agua hacia la CDMX y su zona conurbada.

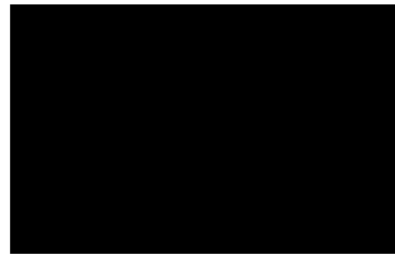


(Actualizado al 14 de noviembre de 2022).

Figura 3. Variación diaria del % de almacenamiento de las presas El Bosque y Villa Victoria (2013-nov2022).

Calidad del agua

El principal problema de calidad del agua en Valle de Bravo y sus ríos tributarios es la elevada concentración de Nitrógeno (N), de Fósforo (P) y de materia orgánica en el agua y los sedimentos, cuya presencia en exceso afecta la diversidad y abundancia de microorganismos y la concentración de oxígeno del agua. El origen de esta sobrecarga de nutrientes en los ríos y el embalse es principalmente por: 1) la descarga directa de aguas residuales domésticas y 2) las actividades agropecuarias, particularmente por el uso de fertilizantes. Adicionalmente a este continuo aporte de ríos y drenajes, las aguas tratadas de la planta de tratamiento El Arco que se vierten al río Amanalco, incrementan la carga de Fósforo y Nitrógeno del río Amanalco, de 12% y 9%, respectivamente.

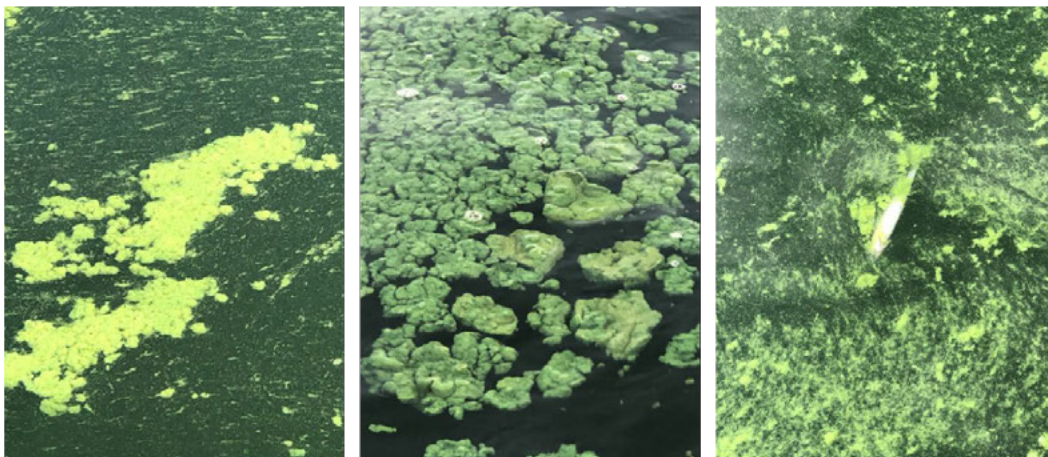


Por lo que el embalse continúa acumulando gran cantidad de Fósforo y Nitrógeno en el agua y en sus sedimentos.

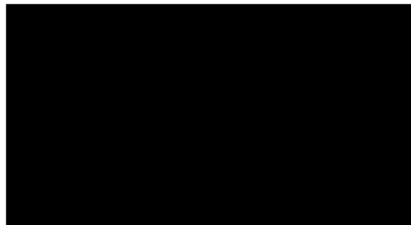
En contraparte, la extracción de agua del embalse constituye la única salida eficiente de contaminantes y representa un “alivio” para la calidad actual del agua; así mismo, el descenso en el nivel permite una aireación paulatina y frecuente del agua lo que dificulta la aglomeración del fitoplancton como “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.

Este continuo aporte de nutrientes estimula el desarrollo de una gran cantidad de microorganismos patógenos y microalgas tóxicas observadas en la superficie del agua durante eventos denominados *florecimientos* que suceden 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.

En Valle de Bravo la sobre fertilización del agua o eutroficación, derivada de estos continuos aportes y la acumulación progresiva de nitrógeno y fósforo, inició a mediados de los años 80 provocando cambios sucesivos en los grupos dominantes del fitoplancton a lo largo del tiempo. Nuestros estudios recientes indican que, en 2017 y parcialmente en 2018, la dominancia fluctuó entre diatomeas, que son especies NO nocivas, y cianobacterias, que son especies potencialmente tóxicas. En particular, durante diciembre 2018-enero 2019, se observaron densas “natas” de fitoplancton con fuerte olor putrefacto, principalmente en los embarcaderos de los clubes San Gaspar y Náutico Avándaro, en las inmediaciones de El Santuario Resort-Spa (zona Noreste), y en la zona suroeste, en las proximidades del Club Izar. Asimismo, en el centro del embalse se observó presencia abundante de colonias flotantes de fitoplancton en el agua, lo que indica presencia de microorganismos potencialmente tóxicos, que pueden afectar la piel, generando dermatitis aguda, enfermedades gastrointestinales e irritación de mucosas nasales y oculares.



Lo anterior indicaba elevadas concentraciones de materia orgánica y nutrientes, principalmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P), debidas al vertimiento de aguas no tratadas o insuficientemente tratadas, directamente al lago, provenientes previsiblemente de:



1. Vertimiento de aguas negras al Tizates y las inmediaciones del muelle municipal.
2. Las plantas de bombeo (ej. PB2; PB4 y PB5) de drenajes hacia la PTAR El Arco.
3. De los trasvases de agua desde la presa de Colorines que, por una parte, transporta contaminantes desde las otras presas del Sistema Cutzamala, y además, puede provocar la resuspensión de material sedimentado en la zona de la cortina hacia el interior del embalse.
4. Zonas habitacionales en la periferia del Lago, que no cuentan con servicio de drenaje o de fosas sépticas con mantenimiento deficiente, y que infiltran al residuos y aguas contaminadas.

Dadas las tendencias observadas entre 2017 y 2020, se concluyó que la calidad de agua del embalse empeoró particularmente entre 2019 y 2020, con el fitoplancton reflejando una creciente carga de nutrientes, incluso aun considerando la disminución de actividades turísticas derivada de la pandemia COVID-19.

Durante 2021 que fue el año de mínimo nivel histórico, se observó una relativa mejora de la calidad del agua impulsada por: 1) una oxigenación integral del embalse provocada por el patrón de viento diario sobre un bajo nivel de agua, así como 2) la importante presencia y dominancia de diatomeas y clorofíceas que son especies NO nocivas. Sin embargo, desde noviembre de 2020 hasta marzo 2021 estuvo presente ***Woronichinia naegeliana***, una especie de la cual se ha reportado que puede desarrollar cepas formadoras de toxinas, y desde abril hasta septiembre de 2021 también continuaron presentes cianobacterias como ***Microcystis aeruginosa***, **cuya presencia es riesgosa por su capacidad de generar toxinas**.

Entre marzo y septiembre de 2022, durante la temporada de estratificación del embalse, observamos una disminución importante de diatomeas y en contraparte un aumento significativo de cianobacterias, que incluye la presencia de especies potencialmente tóxicas como *Microcystis wesenbergii*, *Microcystis aeruginosa* y *Woronichinia naegeliana*. Durante agosto y septiembre se observa una mayor diversidad de especies, pero aún con una importante presencia de *Microcystis aeruginosa*. Lo anterior refleja que durante 2022 nuevamente la calidad del agua disminuyó de manera importante hacia condiciones de riesgo por contacto directo. Adicionalmente, en julio de 2022, derivado de los resultados de laboratorio que indicaban cargas excedentes de coliformes totales y de origen fecal en el agua del embalse, las autoridades municipales tomaron la decisión de no otorgar el permiso para la realización del “Triatlón Valle de Bravo 2022”, pues estos microorganismos son también un riesgo importante para la salud.

Toda esta complejidad y riesgos a la salud reflejan la importancia de establecer y mantener un monitoreo permanente y continuo de la calidad del agua en Valle de Bravo 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.

I. Acciones prioritarias

Desde 2001, [REDACTED] ha estado en contacto con científicos de la UNAM que a lo largo de 21 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, a través de dos estrategias principales: 1.- La disminución de las cargas externas de contaminantes hacia los cauces de los ríos y la presa y 2.- la restauración ecológica de los mismos. Ambas estrategias serán evaluadas y orientadas de forma continua y permanente para garantizar una evolución favorable de la calidad del agua en todo el sistema hídrico.

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

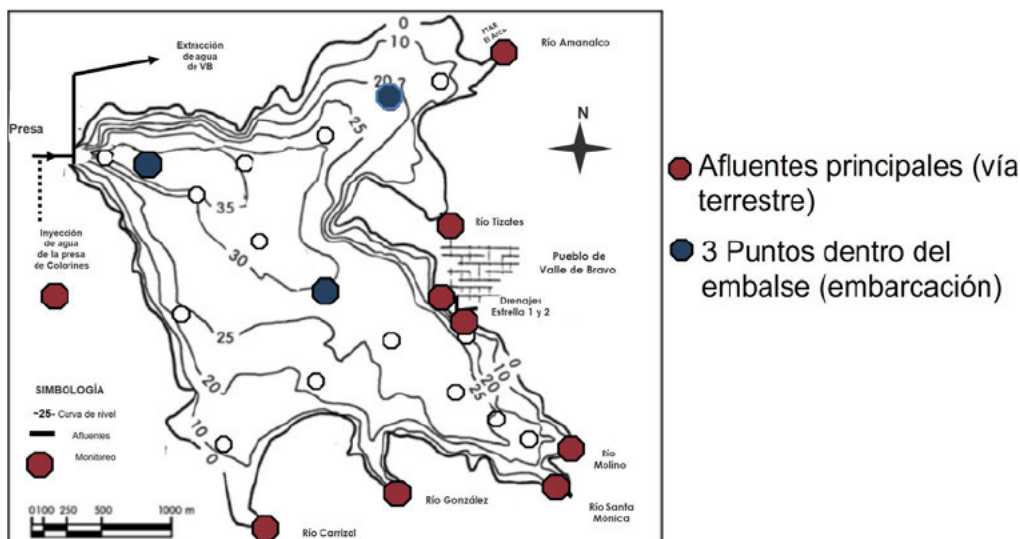
Objetivos:

1.1.- Establecer un programa 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.

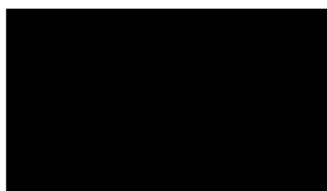
1.2.- Como parte de dicho monitoreo, se medirán las descargas de ríos y drenajes para prever deficiencias en el aprovisionamiento de agua y entender las variaciones temporales y espaciales en su calidad del agua, asociadas a las actividades productivas en la cuenca y a la restauración de la infraestructura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

- ✓ 3.1. 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 fitoremediación con macrófitas flotantes 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.

- ✓ 3.2. Implementación de la ecotecnología Aquaritin™ de Fitorremediación de cuerpos de agua.

Estimulación del crecimiento y dominancia de diatomeas locales en los cauces de los ríos Tizates y Amanalco que son los dos principales afluentes al lago, para impulsar la restauración ecológica y el mejoramiento de la calidad del agua del embalse de Valle de Bravo, promoviendo la disminución de: 1) las cargas externas e internas de nutrientes; 2) el incremento del oxígeno disuelto en el agua y 3) el desplazamiento de especies indeseables de fitoplancton y bacterias, lo que impulsará la restauración de la red trófica (fitoplancton-zooplancton-peces) en el embalse.

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

Objetivo:

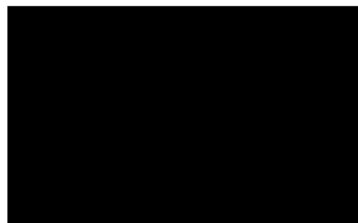
Garantizar el tratamiento de todas las aguas residuales domésticas, así como de las descargas contaminantes asociadas a las principales actividades de la cuenca. En este sentido es urgente promover la reducción de al menos el 60% de las cargas externas de fósforo y nitrógeno al embalse, así como separar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

Objetivos:

2.1.- Revisar la tubería de conducción de drenaje a la PTAR El Arco, ya que no es adecuada para conducir la totalidad de las aguas negras hasta la Planta de tratamiento, con lo que se provoca su vertimiento hacia la parte final del cauce de río Tizates y su entrada directa al embalse.

2.2.- Separar las aguas residuales de las pluviales en los drenajes de los centros poblacionales de Valle de Bravo, Zitácuaro, Tuxpan y Cd. Hidalgo; con lo que se evitará saturar la capacidad de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales. En particular falta separar el agua de manantiales en la zona de la estrella (cárcamo 2), lo que satura las tuberías municipales.

2.3.- El principal problema de los cárcamos es en la tubería del cárcamo 5 hacia la PTAR, son 3 km en total, pero un tramo de 1 km es el que no está funcionando, además de no contar con los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento; esto impide



que el cárcamo 5 bombee correctamente.

Recomendaciones:

2.4.- 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).

2.5.- 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.

2.6.- Explorar la factibilidad de introducir ecotécnicas 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.

2.7.- Explorar otras ecotécnicas 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.

Reflexiones para compartir:

Estas Acciones prioritarias para la restauración ecológica y sostenible de Valle de Bravo, contribuyen directamente a atender el Objetivo 6 del Desarrollo Sostenible:

Garantizar la disponibilidad de aguas, gestión sostenible y el saneamiento para todos

Y, en particular, sobre tres metas de la **Agenda 2030 de la ONU**:

6.3 Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos;

6.6 Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos y

6.8 Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.