



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y
ALCANTARILLADOS**

DEPENDENCIA: LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

**INFORME DE VIAJE AL EXTERIOR
DEL 09 DE SEPTIEMBRE AL 13 DE SEPTIEMBRE DE 2019**

**MONITOREO Y DIAGNÓSTICO
DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS**

fecha: 20 de SEPTIEMBRE de 2019

TABLA DE CONTENIDOS

1. Ficha informativa.....	3
2. Introducción.....	4
3. Objetivos.....	6
4. Desarrollo del Informe.....	7
5. Agenda del curso	8
6. Desarrollo de sesiones diarias.....	10
6.1 Lunes 9 de septiembre	10
6.2 Martes 10 de septiembre	11
6.3 Miércoles 11 de septiembre	16
6.4 Jueves 12 de septiembre.....	17
7. Conclusiones.....	24
8. Recomendaciones	24
9. Bibliografía.....	25
10. Anexos	25

1. Ficha informativa

País y ciudad visitado: Sao Paulo, Brasil.

Fecha de la visita: Del 9 al 13 de septiembre del 2019.

Funcionario(s) de misión AyA: Andrei Badilla Aguilar

Motivo del viaje: Participación en el curso de Monitoreo y Diagnóstico de la Calidad de las Aguas, para la capacitación en análisis de datos de agua, comunidades acuáticas y sedimentos.

Contacto en el lugar de misión: Marcela Lang. m.lang@unesco.org

2. Introducción

Los datos que se generan a partir del monitoreo de la calidad de cuerpos de agua son esenciales para una gestión adecuada del recurso hídrico en un país determinado. La necesidad de agua limpia es un requisito indispensable para la mejoría en la salud pública, para la realización de diversas actividades humanas y para el mantenimiento de ecosistemas acuáticas. Dentro de este contexto, las aguas contaminadas pueden causar impactos ambientales, sociales y económicos, que se traducen en la pérdida de biodiversidad y en el aumento de enfermedades de transmisión hídrica. Indirectamente, el vertimiento de aguas de mala calidad a cuerpos de agua eleva los costos de diseño y construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales se necesita que sean cada vez más complejas para la correcta remoción de contaminantes (Agencia Nacional de Aguas y Banco Interamericano de Desarrollo, 2012)

Los usos que se le pueden dar a las aguas interiores o superficiales van de la mano con su calidad. Por ejemplo, entre mejor es su calidad, mayor es la versatilidad que puede tener ese cuerpo de agua. Las aguas de mejores calidades normalmente se destinan a usos críticos como el abastecimiento humano y la conservación de vida acuática. Mientras que, las aguas con calidades muy malas se utilizan para usos que no impliquen contactos directos, como la navegación y el ordenamiento paisajístico (CETESB, 2018).

Los programas de monitoreo de calidad de aguas, independientemente de sus objetivos, deberían incluir siempre el análisis integral del agua, los sedimentos y la biota del lugar. La determinación de la calidad de las aguas a nivel país, requiere de una red de comunicación que cubra en su mayoría los principales cuerpos de agua, que pueden incluir tanto aguas subterráneas como aguas superficiales. Dichos programas son insuficientes en muchos países, especialmente en aquellos que están en vías de desarrollo, como es el caso de Costa Rica. (UN-Water, 2018).

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se incluye el número 6 Agua Limpia y Saneamiento, el cual fue creado con el fin de mejorar el acceso a agua apta para el consumo y al saneamiento, así como también mejorar la gestión racional de los ecosistemas de agua dulce entre las comunidades locales. Uno de los indicadores del ODS 6, específicamente el 6.3.2, pretende definir la proporción de cuerpos de agua con agua de buena calidad dentro de un país

determinado. Dentro de estos cuerpos de agua se incluyen los ríos, lagos y aguas subterráneas (UN-Water, 2016).

Dentro del contexto de Costa Rica, el monitoreo de cuerpos de aguas superficiales utilizados para el abastecimiento del agua para consumo humano resulta una necesidad primordial. Es por esto, que la asistencia al curso de Monitoreo Diagnóstico tiene como objetivo el adquirir conocimientos en análisis de datos de agua, comunidades acuáticas y sedimentos, elaboración de informes y elaboración de planes de monitoreo.

3. Objetivos

General

- Capacitar a los participantes para analizar datos de agua, comunidades acuáticas y sedimentos

Específicos:

- Estudiar los tipos de ambientes acuáticos, los eventos naturales que alteran la calidad del agua, las principales fuentes de contaminación del agua y las variaciones espaciales y temporales en la calidad del agua.
- Aplicar técnicas de tratamiento, análisis, almacenamiento, intercambio y estructuración de datos de calidad del agua y de sedimentos acuáticos.
- Conocer las metodologías para la toma de muestras, caracterización geográfica y utilización de equipos de campo en cuerpos de agua.
- Analizar los procesos de elaboración de informes de calidad de agua y de comunidades acuáticas como: Fitoplancton, macroinvertebrados bentónicos e ictiofauna.

4. Desarrollo del Informe

Antecedentes

La Compañía Ambiental del estado de Sao Paulo (CETESB) es el ente encargado del monitoreo de la calidad del agua y los sedimentos en los cuerpos de agua del estado de São Paulo, Brasil. Desde 1974 estableció una red de monitoreo de cuerpos de agua, que a la fecha contiene más de 450 puntos. Además, realizan la evaluación de las principales playas del estado. Es una institución reconocida a nivel mundial por sus altos estándares de calidad y por la alta calidad del capital humano que la conforma. La CETESB brinda cursos de actualización continua en diversos temas relacionados con los cuerpos de agua, por ejemplo: técnicas de muestreo de aguas y sedimentos, análisis fisicoquímicos, análisis microbiológicos, análisis eco toxicológicos, análisis hidrobiológicos, entre otros.

Debido a las razones anteriores, desde 2017 la CETESB fue escogida por la Agencia Nacional de Aguas de Brasil (ANA) y la representación de la UNESCO en dicho país con el fin de suministrar un programa de capacitación, compuesto de 4 módulos, para 33 países de la región de América Latina y otros 4 países africanos de habla portuguesa. Los módulos son los siguientes:

- Módulo 1: Introducción a la Calidad de Agua.
- Módulo 2: Variables de Calidad de Agua y Objetivos del Diagnóstico de la Calidad del agua.
- Módulo 3: Colecta y Preservación de Muestras de Agua y Sedimento.
- Módulo 4: Monitoreo y Diagnóstico de la Calidad de Agua.

El programa completo tiene como misión apoyar a los países en el cumplimiento de metas relacionadas con el ODS 6 y promover la capacitación e implementación de monitoreos de agua. Los módulos poseen una introducción de conocimientos teóricos y prácticos de temas referentes a calidad de aguas, recolección de muestras y monitoreo. Subsecuentemente se añaden temas complementarios tales como la construcción de bancos de datos de calidad, elaboración de

informes, criterios internacionales y una introducción al indicador ODS 6.3.2 para acompañar la mejoría del agua a través de los años dentro de la agenda 2030.

5. Agenda del curso

En la siguiente figura se describe el cronograma del curso:



PROGRAMA DE CURSO CERRADO
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros - CEP.: 05459-900 - São Paulo - SP - Brasil



Curso Cerrado: Monitoreo y Diagnóstico de la Calidad de las Aguas			Fecha: De 09 hasta 13/09/2019
Clients: ANA - Agência Nacional de Águas	Síto: Escola Superior de CETESB	Horario: De 08 hasta 18 horas	Duración: 40 horas
Coordinación Técnica: Geogr. Dra. Carmen Lucia Vergueiro Midaglia y Biol. Dr. Claudio Roberto Palombo Setor de Águas Interiores – EQAI		Coordinación Ejecutiva: Claudia Maria Zaratín Bairão Setor de Cursos e Transferência de Conhecimento - ETGC	

Fecha	Horario	CONTENIDO	PROFESOR(A)
09/09/2019	08h00 - 08h15	Inscripción de los participantes	Equipo ETGC
	08h15 - 09h00	Inauguración del Curso	
	09h00 - 12h15	Introducción al curso y revisión del contenido presentado en el Módulo 1 – Introducción a la Calidad del Agua (a la distancia)	Biol. Dr. Claudio Roberto Palombo
	12h15 - 13h45	Almuerzo	
	13h45 - 15h45	Revisión del contenido presentado en el Módulo 2 – Variables Físicas y Químicas de Calidades del Agua (a la distancia)	Ing. MSc. Gabriela de Sá Leitão de Mello
	15h45 - 17h45	Cambios espaciales y temporales en la calidad del agua	Biol. Dr. Fabio Netto Moreno
10/09/2019	08h00 - 10h00	Redes de Monitoreo, Caracterización Geográfica y Generación de datos.	Geogr. Dra. Carmen Lucia Vergueiro Midaglia
	10h00 - 12h00	Criterios nacionales e internacionales de calidad del agua – Decretos, Resoluciones y Pautas	Ing. MSc. Nelson Menegon Junior
	12h00 - 13h30	Almuerzo	
	13h30 - 15h30	Estándares nacionales e internacionales de calidad del agua, comunidades acuáticas y sedimentos – comunidades acuáticas – Tratamiento y análisis de datos	Biol. Dra. Marta Condé Lamparelli
	15h30 - 18h00	Estándares nacionales e internacionales de calidad del agua, comunidades acuáticas y sedimentos – estándares microbiológicos – Tratamiento y análisis de datos	Biom. Dra. Maria Inês Zannolli Sato

Cód.: S522V05 29/08/2011



PROGRAMA DE CURSO CERRADO
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros - CEP.: 05459-900 - São Paulo - SP - Brasil



Fecha	Horario	Contenido	PROFESOR(A)
11/09/2019	08h00 - 10h00	Tratamiento y análisis de los datos – Resultados del Análisis del Agua, consistencia y Estadísticas Básicas. Ejercicios	Ing. MSc. Nelson Menegon Quim. Beatriz Durazzo Ruiz
	10h00 - 12h00	Tratamiento y análisis de los datos – Utilización de planillas de cálculo de índices de calidad del agua: Índice de Calidad del Agua (IQA), Índice de Estado Trófico (IET) e Índice SDG 6.3.2	Ing. MSc. Gabriela Leitão (Prof. Externo) Quim. Beatriz Durazzo Ruiz
	12h00 - 13h30	Almuerzo	
	13h30 - 16h00	Elaboración de mapas y diseminación de las Informaciones Espaciales - Elaboración de Mapas y Diseminación de las Informaciones Espaciales para Calidad del Agua	Geogr. MSc. Rodrigo Ferreira da Silva Geogr. MSc. Vinicius Travalini
	16h00 - 18h00	Elaboración de mapas y diseminación de las Informaciones Espaciales - Utilización de Sistema de Información Geográfica para el Análisis y Diseminación de las Informaciones Espaciales para la Calidad del Agua	Geogr. MSc. Rodrigo Ferreira da Silva Geogr. MSc. Vinicius Travalini
12/09/2019	08h00 - 10h00	Tratamiento y análisis de los datos – Administración de la Calidad de los Sedimentos Criterios Nacionales e Internacionales de Evaluación de la Calidad de los Sedimentos	Quim. Dr. Jose Eduardo Bevilacqua
	10h00 - 11h00	Estructuración y Almacenamiento del Banco de datos de calidad del agua. Intercambio de datos. Almacenamiento e intercambio de datos	Dra. Carmen Lucia V. Midaglia Quim. Beatriz Durazzo Ruiz Quim. Vinicius Marques da Silva
	11h00 - 12h30	Elaboración de Informes de Calidad de agua - Diseminación de las informaciones entre instituciones	
	12h30 - 14h00	Almuerzo	
	14h00 - 15h30	Análisis del proceso de elaboración y del contenido del Informe de la Calidad de las Aguas Superficiales en el Estado de São Paulo	Biol. Dr. Fabio Netto Moreno
	15h30 - 18h00	Tratamiento y análisis de los datos – Análisis de Comunidades Acuáticas: Fitoplancton y macroinvertebrados bentónicos	Biol. MSc. Denise Amazonas Pires Biol. Dr. Hélio Rubens V. Imbimbo
13/09/2019	08h00 - 10h00	Visita técnica – Presentación del laboratorio móvil Descripción del Monitoreo con sondas/Estación Automática del Red de Agua Demostración de equipos de medición de flujo Caracterización Geográfica de los puntos del Agua/Sedimentos/Balneabilidad	Téc. Amb. Elimar de Jesus Melo Téc. Amb. Venicio Pedro Ribeiro Ing. Luis Altivo Carvalho Alvim Quim. Vinicius Marques da Silva Geogr. Dra. Carmen Lucia V. Midaglia
	10h00 - 17h00	Visita técnica a los puntos de red conjunta CETESB / ANA Demostración de muestreo de agua/sedimento	Biol. MSc. Renato Pizzi Rossetti Quim. Beatriz Durazzo Ruiz Téc. Amb. Renan Lourenço Oliveira Silva Téc. Amb. Venicio Pedro Ribeiro

Cód.: S522V05 29/08/2011

Figura 1. Cronograma del curso de Monitoreo y Diagnóstico de la Calidad de las Aguas desarrollado en las instalaciones de la CETESB, Sao Paulo, Brasil.

6. Desarrollo de sesiones diarias

6.1 Lunes 9 de septiembre

Clase 1. Introducción al curso y revisión del contenido presentado en el Módulo 1- Introducción a la Calidad del Agua

Se brindó una clase magistral introductoria al curso, donde se evaluaron los contenidos del módulo online y se conversó acerca de la importancia de la determinación de la calidad del agua. La clase fue brindada por el Dr. Claudio Roberto Palombo, limnólogo de la CETESB.



Figura 2. Clase introductoria al curso brindada por el profesor de la CETESB Dr. Claudio Palombo, Sao Paulo, Brasil.

La clase fue dividida en las siguientes temáticas: Introducción a la limnología; propiedades fisicoquímicas del agua; sedimentos; comunidades de organismos vivos del agua; y relaciones de factores que afectan el metabolismo de un cuerpo de agua.

Clase 2. Revisión del contenido presentado en el Módulo 2- Variables físicas y químicas de calidades del agua

La clase fue impartida por la profesora externa Ing. Msc. Gabriela de Sá Leitao de Mello. Se conversó acerca de las principales variables de calidad del agua, su importancia, implicaciones ambientales y de salud humana. Se dio un enfoque importante al parámetro de oxígeno disuelto, el cual es el principal indicador de la evolución de impactos de contaminación orgánica en cuerpos de agua. Se ahondó en detalles de parámetros como metales pesados, DQO, DBO_{5,20} y detergentes.

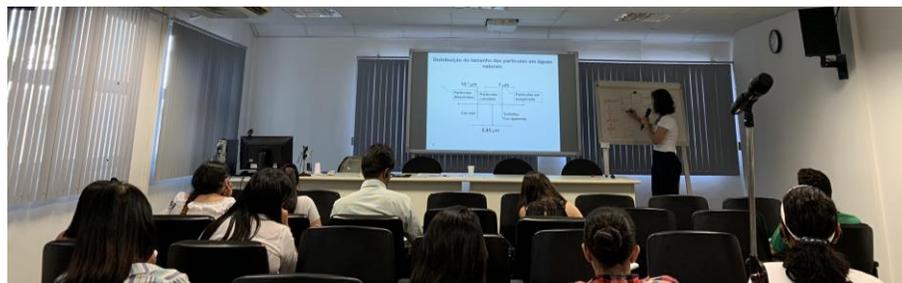


Figura 3. Clase de variables físicas y químicas en el agua, brindada por la Msc. Gabriela de Sá, Sao Paulo, Brasil.

Clase 3. Cambios espaciales y temporales en la calidad del agua

La tercera y última clase del día fue impartida por el profesor Dr. Fabio Netto Moreno, biólogo de la CETESB. En esta clase se analizaron los criterios de calidad de agua utilizados en el estado de Sao Paulo. Además, se expusieron las principales fuentes de contaminación de aguas y como estas afectan los usos destinados para diferentes cuerpos de agua a lo largo del tiempo.



Figura 4. El Dr. Fabio Netto brindando la clase de cambios espaciales y temporales en la calidad del agua, Sao Paulo, Brasil.

El profesor Netto expuso acerca de la importancia de la determinación de la carga orgánica remanente en la evaluación del impacto de descarga de aguas residuales domésticas a cuerpos de agua. Se expuso también la situación actual de Brasil en cuanto a saneamiento y los problemas de acumulación de fósforo y nitrógeno en grandes reservorios.

Se estudió el caso de la influencia de los humedales de la Represa de Guarapiranga, ubicada en Sao Paulo, en la remoción de DBO, Nitrógeno amoniacal y fósforo total.

6.2 Martes 10 de septiembre

Clase 1. Redes de Monitoreo y Caracterización Geográfica.

La clase fue impartida por la Dra. Carmen Vergueiro Midaglia, quien tiene 40 años de experiencia como geógrafa y experta en calidad de aguas en la CETESB. Se expuso una introducción histórica a las redes de calidad de aguas superficiales que la CETESB tiene instaladas en Sao Paulo. La red de monitoreo de Sao Paulo cuenta con las siguientes características:

- Consta de 471 puntos de muestreo con frecuencia bimestral;
- posee 14 estaciones automáticas con una frecuencia horaria de recolección de datos;
- monitorea 36 playas destinadas al baño, con frecuencia semanal o mensual;
- y posee 25 puntos de muestreo de sedimentos en diferentes cuerpos de agua.



Figura 5. La Dra. Carmen Vergueiro impartiendo la clase de Redes de Monitoreo de la CETESB, Sao Paulo, Brasil.

Se describió la importancia y la necesidad de caracterizar geográficamente los datos de calidad de agua. Para esto, se entregó a los participantes diferentes mapas del estado de Sao Paulo con los resultados de los índices de calidad calculados por la CETESB en cada punto de muestreo.

Finalmente, se dio una introducción a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente al objetivo 6, el cual se conoce como un super objetivo, ya que para la Agenda 2030, tiene como uno de sus objetivos el garantizar la disponibilidad y el manejo sostenible del agua y el saneamiento para todos.

Clase 2. Criterios nacionales e internacionales de calidad de agua-Decretos y resoluciones

La clase fue impartida por el Msc. Eng. Nelson Menegon Junior, quien expuso acerca de la importancia de tener agua sin tratar de buena calidad, ya que cada día aumenta la demanda de agua segura para beber en el mundo. Se comentó sobre la crisis hídrica que sufrió la ciudad de Sao Paulo en 2015, la cual hizo que los habitantes cambiaran sus hábitos. Actualmente utilizan menos agua en comparación con fechas anteriores a 2015.



Figura 6. Clase de Criterios nacionales e internacionales de calidad de agua, impartida por el Dr. Nelson Menegon, Sao Paulo, Brasil.

Se explicaron las causas naturales y antropogénicas de contaminación en ambientes acuáticos. Siendo estas últimas las que afectan en mayor medida los cuerpos de agua. Con respecto a este tema, el profesor Menegon explicó los mecanismos de remoción de plantas de tratamiento de aguas residuales. La remoción de contaminantes depende de la inversión y de la carga de contaminantes que posea cada agua a tratar.

Se comentó sobre la legislación brasileña e internacional para evaluar la contaminación de aguas. Se revisó la legislación de Estados Unidos, La Unión Europea (Directiva relativa de Emisiones Industriales 2017/75/UE) y la directiva 91/271/EE de 1991 de la legislación de la República Federal de Brasil.

Se realizó una introducción a los conceptos de Estándares de Calidad y Estándares de Emisión. Se revisaron las falencias de la legislación brasileña, entre las que se encuentra la falta de estándares de emisión para nitrógeno amoniacal total y fósforo total.

Clase 3. Estándares nacionales e internacionales de calidad del agua: comunidades acuáticas y sedimentos

La tercera clase del día fue impartida por la Dra. Marta Condé Lamparelli, quien explicó que los parámetros biológicos, junto con las determinaciones químicas y físicas, son parte esencial de una evaluación integrada de la calidad del agua. Se explicó la resolución 357/2005 del Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil (CONAMA) donde establecen 5 clasificaciones para los cuerpos de agua, cada una con sus respectivos usos autorizados.

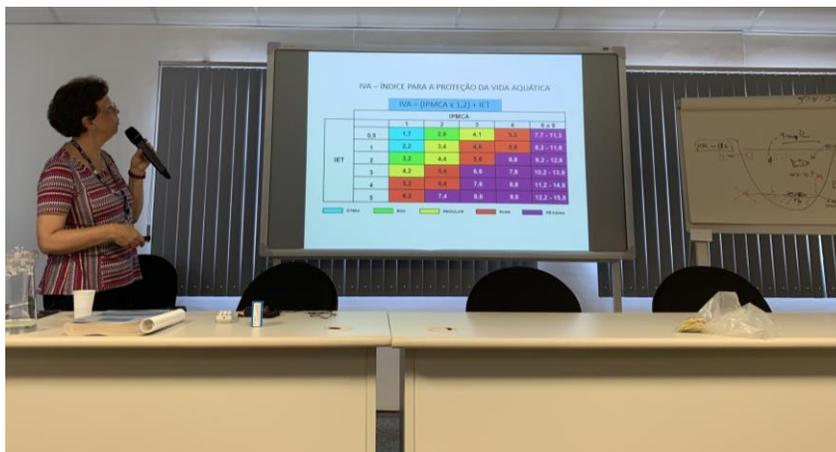


Figura 7. Clase de criterios para evaluar comunidades acuáticas y sedimentos, impartida por la Dra. Marta Condé Lamparelli de la CETESB, Sao Paulo, Brasil.

Se mencionó la importancia de realizar biomonitoreo en cuerpos de agua. Existen dos tipos de biomonitoreo, el indirecto y el directo. En la vía del biomonitoreo indirecto, se determinan parámetros que reflejan la calidad del agua y que están directamente ligados a la protección de las comunidades acuáticas. Por su parte, el biomonitoreo directo se realiza por medio de las propias comunidades, evaluando su grado de preservación, diversidad y funcionamiento.

Se describieron las principales comunidades acuáticas: Fitopláncton, Perifiton, Zoopláncton, Bentos y Nécton. Además, se describieron los principales índices para evaluar comunidades acuáticas, como lo son el índice de Estado Trófico IET (desarrollado por la CETESB) y el IVA o índice de Preservación de Vida Acuática. Además, se hizo una breve descripción de índices internacionales utilizados para evaluar comunidades acuáticas.

Clase 4. Estándares nacionales e internacionales de calidad del agua: estándares microbiológicos

La clase fue impartida por la Dra. María Inés Zanoli, quien mencionó las principales enfermedades de transmisión hídrica y la importancia del acceso a agua segura para beber y recrearse. Se describió la importancia de que los indicadores de contaminación se relacionen con patógenos, ya que la búsqueda directa de estos últimos es muy costosa.



Figura 8. Clase de estándares microbiológicos para evaluar calidad de aguas, impartida por la Dra. María Zanoli, Sao Paulo, Brasil.

Se describió el papel que juegan los coliformes fecales, *Escherichia coli* y el grupo Enterococos en la evaluación de la calidad microbiológica de aguas superficiales y recreacionales, respectivamente. Dentro de este contexto, se estudiaron las legislaciones brasileñas en cuanto a parámetros microbiológicos y se comentaron algunas otras reglamentaciones internacionales (USA, Canadá y OMS).

Se recalcó el papel que cumplen los parámetros microbiológicos en la Red Básica de Monitoreo de cuerpos de agua de Sao Paulo, tanto en agua como en sedimentos. En dicha red, el parámetro de *E. coli* representa un 56% de las no conformidades o incumplimientos con la legislación. También, se describieron de manera breve las técnicas de muestreo y de determinación de microorganismos utilizadas en la CETSB.

6.3 Miércoles 11 de septiembre

Clase 1. Tratamiento y análisis de los datos-Resultados del análisis del agua, consistencia, estadísticas básicas y ejercicios.

La clase fue impartida por Msc. Nelson Menegon y la Quim. Beatriz Durazzo. Se desarrolló en un laboratorio de informática de la CETESB, donde se realizó una revisión de los métodos informáticos utilizados por la Compañía para la validación de datos y el análisis de resultados. Se comentó acerca de las técnicas de análisis de regresión lineal para evaluar resultados a lo largo del tiempo y determinar posibles mejoras en cuerpos de agua. Además, llevaron a cabo ejercicios para determinar inconsistencias en datos de calidad de agua, con datos de los puntos de la red de monitoreo de la CETESB.

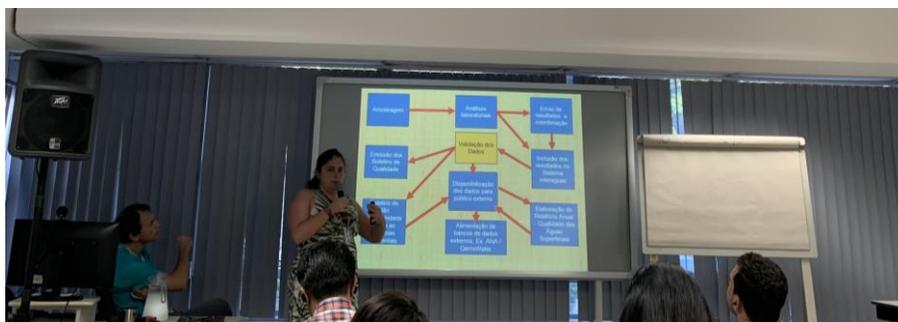


Figura 9. La Quim. Beatriz Durazzo impartiendo la clase de Índices de Calidad utilizados por la CETESB, Sao Paulo, Brasil.

Clase 2. Tratamiento y análisis de los datos- Utilización de plantillas de índices de calidad del agua: Índice de Calidad del Agua (IQA), Índice de Estado Trófico (IET) e Indicador ODS 6.3.2

Las profesoras Msc. Gabriella Leitao y Quim. Beatriz Durazzo. fueron las encargadas de dictar la clase de índices, la cual también se llevó a cabo en el laboratorio de informática de la CETESB. Se facilitó de plantillas de Excel a los participantes con el fin de calcular diversos índices de calidad de agua. Dichos índices fueron explicados en profundidad, detallando el porqué de cada uno de los parámetros que los componen. Además, se realizaron ejemplos prácticos utilizando datos de los puntos de la red de monitoreo de la CETESB.

Clase 3. Elaboración de Mapas y Diseminación de informaciones espaciales.

La tercera y última clase del día fue impartida por los geógrafos Rodrigo Ferreira y Vinicius Travalini, quienes dieron una introducción al Software libre y abierto denominado QGIS, el cual es ampliamente utilizado para la elaboración de mapas. También se dio una introducción a los principales tópicos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde se explicaron conceptos como Datos vectoriales y Datos raster.



Figura 10. Clase de Sistemas de Información Geográfica brindada por el profesor Vinicius Travalini, geógrafo de la CETESB, Sao Paulo, Brasil.

La clase consistió en un taller para conocer el funcionamiento del software QGIS en el área de calidad de aguas, y la utilización que le da la CETESB para ilustrar cambios espaciales. Se realizó una práctica para ilustrar en mapas, datos de las estaciones de muestreo de la CETESB.

6.4 Jueves 12 de septiembre

Clase 1. Administración de la Calidad de los Sedimentos: Criterios Nacionales e Internacionales de Evaluación de la calidad de los sedimentos.

La clase fue impartida por el Dr. José Eduardo Bevilacqua, quien comentó acerca del papel que juegan los sedimentos en la evaluación integral de cuerpos de agua. Esta matriz es particularmente interesante porque en ella se concentran todas las sustancias que no están disueltas en el agua, por lo que son útiles para determinar períodos de contaminación y buscar sustancias peligrosas que no se detectan en el agua.



Figura 11. El Dr. J. E. Bevilacqua impartiendo la clase de sedimentos en las instalaciones de la CETESB, Sao Paulo, Brasil.

Actualmente existe una creciente discusión en Brasil acerca de si es necesario tener estándares de contaminación para sedimentos, ya que todos los ambientes son diferentes y las condiciones pueden variar según una gran cantidad de factores ambientales. Sin embargo, según explicó el Dr. Bevilacqua, el análisis de sedimentos debe incluir en primer lugar una caracterización inicial que incluya elementos bióticos y abióticos. Los sedimentos pueden albergar gran cantidad de organismos vivos, los cuales pueden bioacumular sustancias peligrosas como el mercurio y el cobre.

Clase 2. Estructuración y almacenamiento del banco de datos de calidad del agua. Intercambio de datos.

Esta clase fue impartida por la Dra. Carmen Vergueiro. Se explicó el desarrollo que ha tenido el sistema de información de la CETESB a lo largo del tiempo. La primera base datos de la CETESB fue realizada en MS-Access, luego migraron los sistemas a SQL y actualmente trabajan con un sistema DOCNET.

Se mencionó la utilidad que tienen las bases de datos para ingresar los resultados de salidas al campo y la caracterización geográfica de puntos de muestreo. Se mencionó brevemente como realizar entradas de datos al sistema actual y como se describen los puntos de monitoreo. La base de datos de la CETESB funciona desde cualquier navegador con acceso a internet, sin embargo, está restringida al personal de la Compañía.

Clase 3. Elaboración de boletines de calidad del agua-Diseminación de información entre instituciones.

Se explicó por parte del Quim. Vinicius Marques da Silva, cuáles son las metodologías que tiene la CETESB para elaborar boletines informativos de calidad del agua. Se mencionó la importancia de establecer objetivos claros para todas las publicaciones, y adaptar un contenido apto para transmitir la información de la mejor manera.



Figura 12. La clase de diseminación de información y boletines fue brindada por el Quim. Vinicius Marques da Silva, Sao Paulo, Brasil.

En el caso específico de la CETESB, se tienen boletines mensuales para el Sistema Cantareira, ya que es el sistema que abastece a la mayor parte de la población de Sao Paulo con agua para consumo humano. Así como también, para otros sistemas grandes, como el de Guarapiranga, se realizan boletines bimestrales.

En el caso de las aguas de costas, se realizan boletines semanales con el fin de informar a la población el estado sanitario de las playas. Cabe destacar qué, dependiendo el objetivo del monitoreo, la CETESB les da un carácter técnico o de información pública a los boletines que elabora.

Clase 4. Análisis del proceso de elaboración del contenido del Relatorio o Informe de Calidad de las Aguas Superficiales del Estado de Sao Paulo.

El profesor Dr. Fábio Netto Moreno brindó una clase magistral en la cual explicó los pormenores de la elaboración del Relatorio de Calidad de las Aguas Superficiales de Sao Paulo. Se explicaron detalladamente todas las partes del informe: introducción; aspectos hidrológicos; redes de monitoreo; saneamiento y aspectos legales; índices de calidad de agua; evaluación biológica; evaluación por cuerpos de agua; calidad de sedimentos y mortandad de peces.

Se explicó que un informe debe revelar los principales resultados de las variables e índices que se calcularon producto del monitoreo de los cuerpos de agua. Dicho informe debe discutir las causas y efectos que los resultados puedan tener sobre el cuerpo de agua y además aportar recomendaciones.

Clase 5. Tratamiento y análisis de datos: La comunidad fitoplanctónica como indicadora de calidad ambiental

La clase fue impartida por la Msc. Denise Amazonas, quien brindó detalles de cómo el monitoreo de organismos pertenecientes al fitoplancton, puede brindar detalles importantes acerca de la calidad del agua. Entre los principales grupos que se encuentran dentro del fitoplancton, se encuentran: las clorofíceas, diatomáceas, flagelados y cianobacterias. Estas últimas pueden ser particularmente peligrosas, ya que pueden producir cianotoxinas, las cuales son tóxicas para el ser humano.

Se abordó el tema de floración de algas, el cual es un problema común en cuerpos de agua eutrofizados en Brasil. Las causas de las floraciones pueden estar relacionadas con contaminación antropogénica, por exceso de nutrientes en el ambiente acuático, como nitrógeno y fósforo. Las floraciones causan problemas de operación en sistemas de tratamiento de agua potable, inhabilitación de zonas de baño, mortandad de peces y problemas en el ecosistema acuático en general.

Se realizó una introducción al Índice de Comunidad Fitoplanctónica desarrollado por la CETESB, el cual evalúa parámetros de fósforo y clorofila α . El control de los parámetros relacionados con eutrofización y floración de algas es difícil. Lo primordial siempre es controlar la entrada de nutrientes al cuerpo de agua.

Clase 6. Análisis de comunidades acuáticas: fitopláncton, macroinvertebrados bentónicos e ictiofauna/visita laboratorio

La última clase del día fue impartida por el Dr. Hélio Victorino, ecólogo de la CETESB. La clase se enfocó en la determinación, importancia y uso de macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad de diferentes cuerpos de agua. Se realizó una introducción general a estos organismos y a sus principales familias, basándose en su sensibilidad y resistencia a condiciones ambientales.

También, se repasaron técnicas de muestreo y estrategias para evaluar las comunidades



bentónicas de manera integral. Para lo cual, se hizo un repaso por índices de macroinvertebrados, incluido el Índice de Comunidad Bentónica, utilizado por la CETESB para evaluar los cuerpos de agua del estado de Sao Paulo. Por último, se realizó una visita rápida al laboratorio de comunidades acuáticas con el fin de ver el equipo utilizado para los muestreos y respectivos análisis.

Figura 13. La Msc. Denise Amazonas explicando el uso de las botellas de Van Dorn para la recolección de muestras de agua en ambientes acuáticos, Sao Paulo, Brasil.

Viernes 13 de septiembre

Visita a la Represa de Guarapiranga

En la última sesión del curso, se realizó una visita a la Represa de Guarapiranga, la cual constituye el segundo mayor reservorio de agua para consumo humano del estado de Sao Paulo. La represa abastece de agua alrededor de 3,5 millones de personas.

En la represa, se realizó una exhibición de los principales equipos utilizados en la CETESB para evaluar la calidad de cuerpos de agua: sondas multiparamétricas, medidores de caudal, dopplers acústicos y herramientas para la recolección de muestras. Seguidamente, se realizó un recorrido en barco por la represa con el fin de hacer la demostración de diferentes procedimientos, entre los que destacan la recolección de muestras de fitoplancton y de sedimentos acuáticos.

Durante el recorrido se realizó la caracterización geográfica de 4 puntos de muestreo establecidos por la CETESB. Se anotaron las coordenadas, la altitud y se comentó acerca de los parámetros históricos de cada punto. También, se utilizó la aplicación Wikiloc con el fin de registrar el recorrido realizado y los puntos seleccionados.

La gira finalizó con un almuerzo en el restaurante del Hotel Yacht Club Paulista y la respectiva entrega de los certificados de participación en el curso.



Figura 14. Exhibición de equipos, toma de muestras de agua y sedimentos y explicación de parámetros en la Represa de Guarapiranga en Sao Paulo, Brasil.

7. Conclusiones

- La determinación de la calidad del agua es un fenómeno multifactorial que implica el análisis de diferentes ambientes del ecosistema acuático.
- La utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite evaluar los cambios espaciales de cuerpos de agua y ecosistemas en general.
- El reporte del indicador 6.3.2 del ODS 6 representa un esfuerzo a nivel país que implica una alianza interinstitucional.
- La utilización de índices de calidad representa una herramienta útil en la evaluación de la calidad de ecosistemas acuáticos.
- La adopción de índices de calidad permite una aplicación práctica de los datos de calidad de agua con respecto a criterios y normas según cada país.
- La elaboración de informes de calidad y boletines destinados a grupos específicos, es una forma efectiva de transmitir conocimiento.
- La capacitación por parte de instituciones reconocidas a nivel latinoamericano, como la CETESB, representa una oportunidad única en el desarrollo de profesionales en países en desarrollo.

8. Recomendaciones

- Se recomienda la capacitación de funcionarios de la institución en temas actuales como el reporte de indicadores de ODS, la determinación de nuevos indicadores de calidad de aguas y el tratamiento de altos flujos de datos.
- Estrechar lazos de cooperación con países líderes en gestión del recurso hídrico es una estrategia clave para mejorar los procedimientos actuales de la institución y del país.

9. Bibliografia

Agencia Nacional de Aguas y Banco Interamericano de Desarrollo. (2012). *Panorama de calidad de aguas superficiales de Brasil*. Sao Paulo, Brasil: ANA.

CETESB. (2018). *Calidad de las aguas interiores del estado de Sao Paulo*. Sao Paulo, Brasil: CETESB.

UN-Water. (2016). *STEP-BY-STEP MONITORING METHODOLOGY FOR INDICATOR 6.3.2*. United Nations Organization.

UN-Water. (2018). *Progress on Ambient Water Quality – Piloting the monitoring methodology and initial findings for SDG indicator 6.3.2*. United Nations Development Programme.

10. Anexos





Elaborado por:

Andrei Badilla Aguilar
 Unidad de Investigación en Agua, Ambiente y Salud
 Laboratorio Nacional de Aguas-AyA