

DESARROLLAR UN SISTEMA DE INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DEL ACUEDUCTO DE BOGOTÁ USANDO LA COMUNIDAD DE DIATOMEAS.

CONTRATO No. 1 - 2 - 26200 - 0568 - 2021

PRODUCTO 1.

PERIODO: 23 JUNIO AL 23 OCTUBRE DEL 2021



PROFESIONALES PARTICIPANTES

CPA INGENIERIA S.A.S	Director	Yasmin Plata Díaz
	Experto en biología-Categoría 5	Yasmín Plata Díaz
	Biólogo-Categoría 8	Laura Leandra Garzón Salamanca
	Biólogo-Categoría 7	María Isabel Ospina
	Ingeniero ambiental-Categoría 7	Diana del Pilar Roa Angarita
	Biólogo-Categoría 5	Catalina Rodríguez Flórez
	Profesional ingeniería Categoría 5	Yisell Viviana Herrera Charry
	Profesional logístico y administrativo-Categoría 7	Julián Héctor López
	Director HSEQ	Víctor Moreno Reina
EAAB-ESP	Supervisor	Nubia Irley León Lopez
	Asesor	Ángela Maria Zapata Anzola
	Asesor	Carlos Alberto Rivera Rondón
	Equipo de Aguas y Saneamiento Básico (DIE)	Ing. William Villamil Barahona Diana Carolina V. Pasito Lina Fernanda Mora

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. LISTADO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE DIATOMEAS EN EL BIOMONITOREO.	16
TABLA 2. VALOR S Y VALOR H EN EL SISTEMA DE SAPROBIOS DE PANTLE & BUCK (1955).	18
TABLA 3. ÍNDICES DE DIATOMEAS MÁS COMÚNMENTE USADOS EN EUROPA EN LA VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.	21
TABLA 4. LISTADO DE ESPECIES DETERMINADAS EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DEL ACUEDUCTO EN CATEGORÍA -CF- POR CONFIRMAR. FUENTE: INFORME DE SEGUIMIENTO LIMNOLÓGICO SEPTIEMBRE 2019.	31
TABLA 5. ESTADO DE MUESTRAS PROCESADAS	46
TABLA 6. NÚMERO DE MUESTRAS ENVIADAS A LA FECHA	48
TABLA 7. RELACIÓN DE MUESTRAS CONTADAS A LA FECHA	48
TABLA 8. LISTADO DE ESPECIES IDENTIFICADAS A LA FECHA EN 30 MUESTRAS ANALIZADAS A LA FECHA DE LOS SISTEMAS EL DELIRIO Y SISTEMA SUR.	51
TABLA 9. CONTINUACIÓN. LISTADO DE ESPECIES IDENTIFICADAS A LA FECHA EN 30 MUESTRAS ANALIZADAS A LA FECHA DE LOS SISTEMAS EL DELIRIO Y SISTEMA SUR.	54
TABLA 10. LISTADO DE ESPECIES DE DIATOMEAS REGISTRADAS EN DECANTADORES SAN CRISTÓBAL CON SUS RESPECTIVOS ACRÓNIMOS (SP ID)	58
TABLA 11. LISTADO DE ESPECIES DE DIATOMEAS REGISTRADAS EN MUESTRAS DE LA QUEBRADA LA OSA CON SUS RESPECTIVOS ACRÓNIMOS (SP ID)	61
TABLA 12. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS	64
TABLA 13. INDICADOR RIESGO QUÍMICO	72
TABLA 14. REGISTRO FOTOGRÁFICO PRODUCTOS QUÍMICOS	72
TABLA 15. INDICADORES ACCIDENTALIDAD	75
TABLA 16. INDICADORES PROGRAMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA OSTEOMUSCULAR	76
TABLA 17. INDICADOR AFILIACIONES A SEGURIDAD SOCIAL Y RIESGOS LABORALES	76
TABLA 18. INDICADORES ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN	77
TABLA 19. MATRIZ RIESGOS MATERIALIZADOS	86

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. GRADIENTE AMBIENTAL, RANGO ÓPTIMO Y TOLERANCIA PARA ESPECIES HIPÓTÉTICAS.	14
FIGURA 2. NÚMERO DE PUBLICACIONES POR AÑO Y POR PAÍS SOBRE DIATOMEAS Y BIOINDICACIÓN EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS. FUENTE: SCOPUS.	17
FIGURA 3. COMPARACIÓN DE LOS PRINCIPALES ENFOQUES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES. FUENTE: YASMIN PLATA-DÍAZ.	25
FIGURA 4. ESQUEMA DE INTEGRACIÓN PARA LA CLASIFICACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO SEGÚN LOS ELEMENTOS DE CALIDAD BIOLÓGICA, HIDROMORFOLÓGICA Y FISIQUÍMICA. TOMADO Y MODIFICADO DE: GUIDANCE DOCUMENT NO 13 COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC)	26
FIGURA 5. COMBINACIÓN DE PARÁMETROS (O ÍNDICES) PARA ESTIMAR EL ESTADO DE LOS ELEMENTOS BIOLÓGICOS. TOMADO DE: GUIDANCE DOCUMENT NO 10 COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC).	27
FIGURA 6. CLASIFICACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO BASADO EN RELACIÓN DE CALIDAD ECOLÓGICA (EQR). TOMADO Y MODIFICADO DE: GUIDANCE DOCUMENT NO 13 COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC).	28
FIGURA 7. NÚMERO DE MORFOTIPOS DE DIATOMEAS REGISTRADAS POR CLASE TAXONÓMICA EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DEL ACUEDUCTO DE BOGOTÁ. FUENTE: INFORME DE SEGUIMIENTO LIMNOLÓGICO SEPTIEMBRE DE 2019	30
FIGURA 8. NÚMERO DE ESPECIES DE DIATOMEAS REGISTRADAS A NIVEL DE FAMILIA EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DEL ACUEDUCTO DE BOGOTÁ. FUENTE: INFORME TRIMESTRAL DE SEGUIMIENTO LIMNOLÓGICO SEPTIEMBRE DE 2019	32
FIGURA 9. ESTADO DE MUESTRAS PROCESADAS	47
FIGURA 10. MANEJO DE LOS ARCHIVOS DE IMÁGENES EN EL PROYECTO	50
FIGURA 11. NÚMERO DE ESPECIES POR GÉNERO REGISTRADAS A LA FECHA	51
FIGURA 12. ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES DE DIATOMEAS REGISTRADAS EN LAS MUESTRAS DE DECANTADORES SAN CRISTÓBAL.	57
FIGURA 13. ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES DE DIATOMEAS REGISTRADAS EN LAS MUESTRAS DE LA QUEBRADA LA OSA.	60
FIGURA 14. GENERACIÓN DE RESIDUO PELIGROSO (RESPEL) POR TIPO DE CORRIENTE (ML)	68
FIGURA 15. % OCUPACIÓN DE CAPACIDAD DE RESIDUO PELIGROSO (RESPEL)	69
FIGURA 16. SÍNTOMAS PRESENTADOS	79
FIGURA 17. CONTACTO CON PERSONAS POSITIVAS	80
FIGURA 18. MODALIDAD DE TRABAJO	80
FIGURA 19. CONDICIONES DE SALUD	81
FIGURA 20. PERSONAL	81
FIGURA 21. RIESGOS MATERIALIZACIÓN	83

FIGURA 22. RIESGOS CERRADOS	84
FIGURA 23. NIVEL DE RIESGO	85
FIGURA 24. RIESGOS NO MATERIALIZADOS	85

LISTADO DE SIGLAS

AUSRIVAS: Australian River Assessment System

CCA: Análisis de Correspondencia Canónica. Técnica de análisis indirecto de gradientes que es usada para resumir las relaciones unimodales entre las variables respuesta (especies) y las variables ambientales.

ICA: Índice de calidad de Agua

IS: índice sapróbico

RESPEL: (Residuos Peligrosos) Es el instrumento de gestión de información mediante el cual se captura información normalizada, homogénea, sistemática sobre la generación y el manejo de residuos o desechos peligrosos, originados por las diferentes actividades productivas y sectoriales del país.

RIVPACS: River Invertebrate Prediction and Classification System

RDA: Análisis de Redundancia. Técnica de análisis indirecto de gradientes que resume las relaciones lineales entre las variables de respuesta (especies) que son "redundantes" o "explicadas" por un conjunto de variables explicativas o ambientales.

SST: Salud y Seguridad en el Trabajo

WQI: Water Quality Index

GLOSARIO

Bioindicación: Disciplina que aprovecha la sensibilidad de las especies con el fin de establecer sistemas de medición o monitoreo de la contaminación.

Bioindicación: Disciplina que aprovecha la sensibilidad de las especies con el fin de establecer sistemas de medición o monitoreo de la contaminación.

Comunidades bentónicas: Comunidades que crecen adheridas a un sustrato.

Condición de referencia: Condición que se da cuando no existen alteraciones antropogénicas o son muy mínimas.

Diatomeas: Microalgas con pared celular silíceica compuesta por dos valvas.

Disturbio: Evento que causa una remoción catastrófica de la biomasa algal.

Estado Ecológico: Expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales.

Frústulo: Pared celular silíceica de las diatomeas constituida por dos piezas o valvas las cuales encajan una dentro de la otra.

Herbivoría: Forma de depredación en la que el organismo presa es una planta.

Katarobio: Organismos que habitan aguas limpias.

Óptimo: Sector del gradiente ambiental donde una especie alcanza su mayor abundancia.

Protistos: Conjunto de organismos eucariotas que no son animales, plantas u hongos. Abarca todas las microalgas acuáticas.

Saprobiedad: Aguas contaminadas por aguas residuales domésticas

Saprobio: Organismos que habitan aguas contaminadas.

Sésiles: Organismos que viven adheridos a un sustrato ya sea roca, resto vegetal u otro organismo.

Taxocenosis: Grupo de organismos dentro de una comunidad que están taxonómicamente relacionados eje: diatomeas.

Valor indicador: Expresión numérica que indica el grado de sensibilidad de las especies.

INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el desarrollo de las actividades descritas para los meses 1, 2, 3 y 4 como son el estado del arte de conocimiento de las diatomeas a nivel nacional e internacional en sistemas de alta montaña, incluyendo los sistemas de Abastecimiento del Acueducto de Bogotá, avance de revisión y conteo preliminar y procesamiento de muestras de diatomeas, seguimiento limnológicos de los afluentes y efluentes de los embalses de la EAAB-ESP, seguimiento y gestión a los aspectos ambientales, bioseguridad y de SST dentro del Contrato N° 1-2-26200-0568-2021, cuyo objeto es “Desarrollar un sistema de indicadores de la calidad del agua de los ríos del sistema de Abastecimiento del Acueducto de Bogotá usando la comunidad de Diatomeas.

OBJETO DEL CONTRATO	DESARROLLAR UN SISTEMA DE INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DEL ACUEDUCTO DE BOGOTÁ USANDO LA COMUNIDAD DE DIATOMEAS.
NÚMERO DEL CONTRATO	1 – 2 – 26200 – 0568 - 2021
CONTRATISTA	COMPAÑÍA DE PROYECTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA S.A.S - CPA INGENIERÍA S.A.S
PLAZO DE EJECUCIÓN	DOCE (12) MESES

1. ESTADO DEL ARTE

1.1. INTRODUCCIÓN

El agua juega un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones, y en particular los ecosistemas epicontinentales proporcionan una serie de servicios ecosistémicos relacionados con el almacenamiento y suministro, mitigación de riesgos (inundaciones), alimentos, biorremediación de residuos, así como servicios culturales a nivel paisajístico, recreativo y espiritual (EEM, 2005). Dado que la demanda en cantidad y calidad crece con el aumento de la población, esto conlleva al aumento de las presiones ambientales sobre los sistemas acuáticos, y con ello, los cambios en el uso del suelo y contaminación, lo que repercute finalmente en la calidad del agua.

La bioindicación es una herramienta ampliamente utilizada en el mundo, principalmente en agencias gubernamentales europeas -desde hace más de veinte años- para evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos, mediante la implementación de índices bióticos. Dichos índices parten de la cuantificación de la sensibilidad de las especies al disturbio antrópico como eutroficación, contaminación orgánica, acidificación, sedimentación, entre otros.

El desarrollo de índices en el mundo ha sido posible gracias a la consolidación de bases de datos regionales creadas como resultado del seguimiento y monitoreo de los ecosistemas que hacen las agencias del agua en cada país. En Colombia, el establecimiento de sistemas de monitoreo hace parte de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) y uno de los instrumentos en la Política Nacional del Recurso Hídrico (PNRH) es la implementación de metodologías que conlleven a cuantificar de manera práctica la calidad del agua. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá viene desarrollando el monitoreo de seguimiento limnológico de sus fuentes abastecedoras desde el año 2004 y con ello ha construido una nutrida base de datos de monitoreo fisicoquímico y biológico en sus 31 quebradas que alimentan los embalses Chuza, Chisacá, San Rafael y La Regadera, consolidando una base de información apropiada para la implementación de índices bióticos.

El presente informe muestra el estado del arte de las diatomeas en el contexto internacional, nacional y regional, y su uso en sistemas de bioindicación.

1.2. EL INICIO: LA ECOLOGÍA DE LAS ALGAS BÉNTICAS

Los estudios en ecología de diatomeas parten del estudio del perifiton como comunidad. Dentro del perifiton, las diatomeas se les reconocen como un excelente grupo indicador de contaminación en razón a varias características ecológicas, como cortos tiempos de generación y responder de manera directa y rápida a la mayoría de cambios químicos y biológicos (Stevenson et al., 1999). Por ser fisiológicamente sensibles a los cambios en las condiciones del hábitat y a las variaciones físicas y químicas del agua, su composición, abundancia relativa y biomasa pueden ser asociadas a una variable en particular (Stevenson et al., 1999).

Las diatomeas constituyen uno de los grupos más diversos dentro del perifiton, y son el grupo con el mayor número de especies dentro de los protistos. Es por ello que este grupo suele ser descrito como una de las taxocenosis más representativas de los ríos y con ello su protagonismo como eslabón fundamental en las redes tróficas y en los ciclos biogeoquímicos (Lamberti, 1996).

Los estudios sobre los efectos de los factores abióticos en la composición y abundancia del perifiton son recurrentes en la literatura desde los años 40's ([Patrick, 1948](#)) y los estudios a nivel experimental - trabajos clásicos - en los 50's permitieron conocer aspectos relacionados con el metabolismo como productividad y tasa de toma de nutrientes ([Odum, 1956](#)). En los años 70's, los estudios sobre sucesión, herbivoría y ciclaje de nutrientes fueron recurrentes ([Elwood & Nelson, 1972](#), entre otros).

Entre los 80's y 90's hubo un gran auge de estudios relacionados con limitación por recursos (luz y nutrientes), entre los cuales se destacan los trabajos de [Lowe et al., \(1986\)](#), [Pringle \(1990\)](#), Stevenson et al. (1996) , sobre el disturbio ([Biggs et al., 1998a](#)) y sus efectos tanto en la composición taxonómica de la comunidad como en sus atributos funcionales ([Biggs et al., 1998b](#)).

1.3. GRADIENTES AMBIENTALES, ÓPTIMO Y TOLERANCIA DE LAS ESPECIES

El eje central de la valoración de la calidad del agua se basa en la cuantificación de los óptimos y tolerancias de las especies a lo largo del gradiente ambiental estudiado. Un gradiente ambiental hace referencia al rango de valores que alcanza una variable (o conjunto de variables) en un determinado ecosistema o cuenca.

Por lo general, las especies pueden colonizar un rango de condiciones ambientales, sin embargo, en la mayoría de los casos solo ocupan de manera preferente una parte del espectro ambiental disponible. Como resultado de sus adaptaciones fisiológicas pueden ser más (o menos) competitivas en determinados hábitats, observándose así diferentes patrones o curvas de respuesta (**Figura 1**). A lo largo del gradiente, las especies alcanzan su óptimo en un punto donde funcionan fisiológicamente mejor y gradualmente disminuyen su rendimiento cuando se aleja de dicho óptimo (**Figura 1A**). En un sistema lótico, por ejemplo, con determinada concentración de fósforo disuelto, el taxón más abundante en ese punto tendrá su óptimo en dicha concentración.

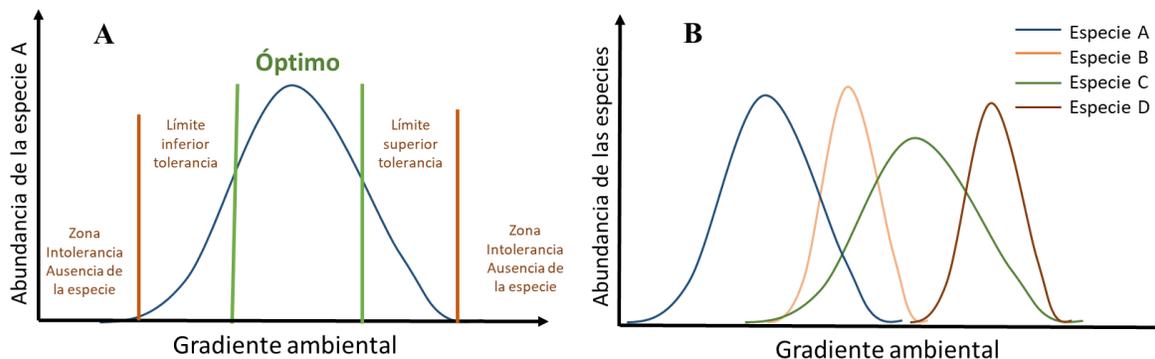


FIGURA 1. GRADIENTE AMBIENTAL, RANGO ÓPTIMO Y TOLERANCIA PARA ESPECIES HIPÓTÉTICAS.

La forma típica de curva de campana (curva unimodal) suele ser muy común en la naturaleza, sin embargo, diferentes especies pueden tener diferentes tipos de curvas, algunas más estrechas o menos tolerantes, o más amplias, en cuyo caso, con tolerancia más amplia. No todas las especies poseen la misma curva de respuesta y sus óptimos pueden ubicarse en diferentes puntos dentro del gradiente (**Figura 1B**). Diferentes especies poseen óptimos diferentes a lo largo de un mismo

gradiente e incluso una especie puede tener una tolerancia estrecha para el gradiente de una variable o una tolerancia amplia para el gradiente de otra variable ([Guisan et al., 2017](#)). Aquellas especies con tolerancia amplia suelen ser consideradas poco sensibles a los cambios del hábitat. Por lo tanto, la evaluación de los óptimos de las especies requiere de muestreos en un rango de valores que van desde aguas muy limpias a aguas muy poluídas.

El gradiente ambiental suele explorarse mediante el uso de técnicas multivariadas que incluyen el análisis de la interacción especies-ambiente. Una vez identificado el gradiente ambiental por técnicas de estadística multivariadas (RDA o CCA), se procede al cálculo de los óptimos de las especies, para lo cual es muy comúnmente utilizado el método de regresión de la media ponderada. Este procedimiento asume una curva de respuesta unimodal de las especies a una variable (o conjunto de variables) en particular ([ter Braak & Juggins, 1993](#)). Asimismo, otro enfoque de la cuantificación del gradiente ambiental son los rangos dados por un índice fisicoquímico elaborado sobre la misma base de datos.

Los estudios en diatomeas que exploran el gradiente ambiental han estado centrados principalmente en las variaciones en la composición taxonómica a lo largo de gradientes relacionados con los cambios en el uso del suelo (Pan et al., 2000), así como la velocidad de la corriente (Poff et al., 1990; [Biggs et al., 1998a](#); Passy, 2001), el sustrato (Tuchman & Stevenson, 1980; Schneck & Melo, 2012), los nutrientes ([Pringle, 1990](#)), la luz y la herbivoría (Lange et al., 2011). Dichas variables a su vez están asociadas con la geología, el clima y la geomorfología de la cuenca ([Stevenson, 1997](#)).

1.4. LAS DIATOMEAS COMO INDICADORAS DE CONTAMINACIÓN: BIOINDICACIÓN

Diferentes comunidades bentónicas han sido utilizadas para evaluar la calidad de los ríos, entre los cuales, macroinvertebrados y diatomeas son las de más amplio uso. De manera general, los índices bióticos que incluyen las algas bénticas de ríos suelen incorporar una sola taxocenosis, y las diatomeas son las más ampliamente utilizadas.

Las diatomeas, poseen muchas ventajas en la valoración de la calidad del agua (Lowe & Pan, 1996; Round, 1991; Descy & Micha, 1988) entre ellas están: un ciclo

de vida corto, lo que permite responder a las variaciones ambientales en un corto período de tiempo; son organismos sésiles, no migran ante eventos de perturbación; son fáciles de coleccionar; su taxonomía se basa en la morfología del frústulo, por lo que pueden ser trabajadas en láminas permanentes para su identificación y existe buena información sobre su ecología y taxonomía. Aunque también poseen algunas desventajas (**Tabla 1**), todas de ellas pueden ser superadas implementando metodologías apropiadas.

A pesar de ser una herramienta sencilla y muy ampliamente usada en sistemas templados durante décadas, su aplicación no pierde vigencia, y en gran parte porque muchos estudios demuestran su confiabilidad (Potapova & Charles, 2007; Pan and Lowe, 1994; Pan et al., 1996; Stevenson et al, 1999; Whitton and Rott, 1996); lo que la posiciona como una herramienta práctica de la valoración y gestión del agua.

TABLA 1. LISTADO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE DIATOMEAS EN EL BIOMONITOREO.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se encuentran en cualquier lugar a lo largo del río (distribución no agregada) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La taxonomía en ríos tropicales es incipiente
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Posee especies tolerantes y sensibles a los cambios ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No es posible identificar células vivas en montajes permanentes.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiempo de respuesta rápido a las perturbaciones ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La identificación de algunas especies requiere microscopía electrónica.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ De fácil colecta, se encuentran en grandes cantidades en superficies pequeñas 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ El uso de montajes permanentes permite reexaminar la muestra y ser enviada a especialistas. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ La taxonomía se basa en la morfología del frústulo 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hay una gran cantidad de información sobre ecología de las especies 	

En la actualidad numerosos estudios siguen siendo publicados y constituye un tema prioritario a nivel mundial, con más de 400 documentos publicados en los últimos 20 años y entre los países con más publicaciones sobre el tema, Estados Unidos y

Francia son los primeros (**Figura 2**). En Suramérica, solo Brasil posee un mayor número de publicaciones en comparación con otros países de la región que han desarrollado indicadores con diatomeas.

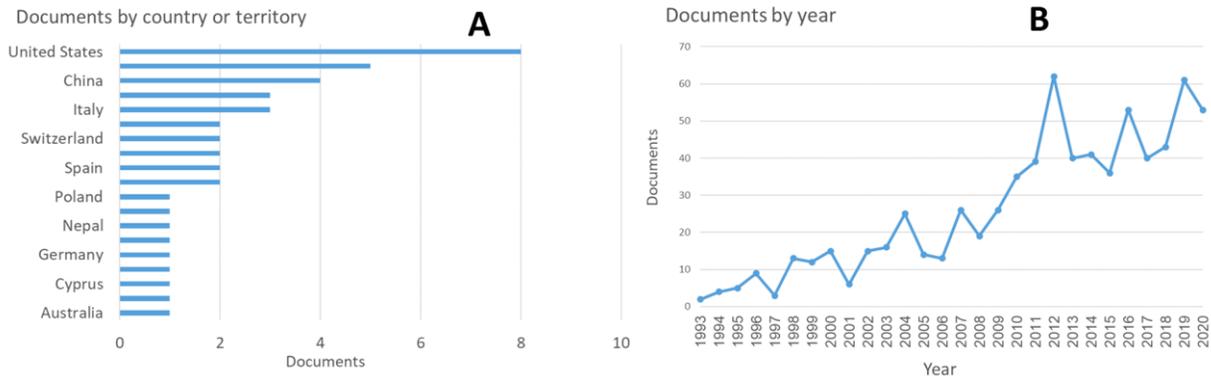


FIGURA 2. NÚMERO DE PUBLICACIONES POR AÑO Y POR PAÍS SOBRE DIATOMEAS Y BIOINDICACIÓN EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS. FUENTE: SCOPUS.

1.5. LOS ÍNDICES

La valoración de la calidad del agua es tan antigua como los inicios de la ecología misma ([Moog et al., 2018](#)). Si bien la química del agua es ampliamente utilizada como indicador de calidad, dichas métricas aportan información puntual de las condiciones del cuerpo del agua, mientras que los organismos, proporcionan un registro continuo de la calidad del medio ambiente integrando todos los parámetros tanto bióticos y abióticos de su hábitat. Es por esto que en los sistemas de bioindicación, la vida es el principal monitor de la calidad del medio ambiente.

El uso de las comunidades del perifiton como indicadores de la salud en ríos comenzó su auge a finales de los años 80's (Leclercq & Manquet, 1987; Descy & Coste, 1991; Lenoir & Coste, 1996; Descy & Ector, 1999). Sin embargo, los primeros intentos por establecer un índice de valoración de calidad ecológica se remontan hacia principios del siglo XX con el trabajo de Kolkwitz & Marsson (1902), quienes introdujeron el término *Saprobio* para organismos que habitan aguas contaminadas y *Katarobio* para organismos que habitan aguas limpias. En dicho sistema se usó el término *Saprobiedad* para hacer referencia a aguas poluídas -contaminadas por aguas residuales domésticas- y para el cual realizaron el primer gran listado de especies indicadoras (tanto de algas como de macroinvertebrados bentónicos) para

cada nivel de polución. En dicho sistema la presencia de ciertas especies determinaba el grado de contaminación del agua, naciendo así el primer concepto de *organismo indicador*.

En los años 50's, Pantle & Bunk (1955) desarrollaron un sistema numérico, el *índice sapróbico (IS)*, lo que permitió cuantificar el grado de contaminación mediante la siguiente ecuación:

$$IS = \frac{\sum (s \cdot h)}{\sum h} \quad (1)$$

Donde, h es la frecuencia en la que cada una de las especies es encontrada (establecida previamente por investigación ecológica del sistema) y s es el valor sapróbico (o valor indicativo) de cada una de las especies, el cual es obtenido a partir de un listado de organismos que indica su posición dentro del sistema de saprobios (Bick, 1963) (**Tabla 2**).

TABLA 2. VALOR S Y VALOR H EN EL SISTEMA DE SAPROBIOS DE PANTLE & BUCK (1955).

VALOR S	INDICADOR	VALOR H	SIGNIFICADO
s = 1	Organismo indicador oligosapróbico	$h = 1$	Especies encontradas por azar
s = 2	Organismo indicador beta-mesosapróbico	$h = 3$	Especies frecuentes
s = 3	Organismo indicador alpha-mesosapróbico	$h = 5$	Especies abundantes
s = 4	Organismo indicador polisapróbico		

FUENTE: TOMADO Y MODIFICADO DE BICK (1963).

La ecuación (1) proporciona el valor de saprobiedad o polución en cada sitio. Dicho valor oscila entre 1 y 4, representando 4 clases de calidad: 1-1.5: oligosapróbica o muy baja contaminación, 1.5-2.5: β -mesosapróbicas o contaminación moderada, 2.5-3.5: α -mesosapróbicas o polución fuerte y 3.5-4: polisapróbica o muy alta polución.

Posteriormente, Zelinka & Marvan (1961) modificaron el índice al incluir los conceptos de *valencia sapróbica*, el cual hace referencia a la curva de respuesta de

la especie sobre el gradiente de polución, y el de *valor indicador*. Numéricamente la valencia sapróbica depende de la frecuencia relativa de las especies en cada uno de los diferentes niveles de saprobiedad y se expresa en una escala de 1 a 10. El valor indicador para cada especie representa la tolerancia de las especies y se expresa en una escala de 1 a 5, donde 1 es muy bajo valor indicador y 5 muy alto valor indicador.

Como cada especie tiene un rango ecológico particular, la valencia ecológica de cada especie constituye una medida de sensibilidad a la contaminación orgánica, mientras que el valor indicador, es inversamente proporcional a la extensión del espectro ecológico. De manera general son considerados bioindicadores válidos aquellas especies cuyos requisitos autoecológicos son estrechos, especialmente para parámetros de contaminación orgánica (Leclercq & Maquet, 1987).

En los años 70's, Sládecek (1973) propuso un método más objetivo para el cálculo de la valencia ecológica como medida de sensibilidad, y el valor indicador es expresado de manera inversa a la amplitud del espectro -o valencia- ecológico, proporcionando así un importante listado de un gran número de especies con sus respectivos valores indicadores y de valencia ecológica. Asimismo, compiló todas las bases del sistema de saprobios, y enumeró varias objeciones al método, dentro de la cuales las más sobresalientes fueron:

- Está restringido a contaminación por aguas residuales domésticas
- La valencia ecológica de la mayoría de las especies es desconocida
- Se requiere un amplio conocimiento en taxonomía
- La definición de especie indicadora es conceptualmente incorrecta, dado que una especie puede encontrarse en diferentes niveles de calidad

Su compilación permitió el desarrollo de numerosos índices en las siguientes décadas. El índice sapróbico -con sus modificaciones- constituyó así el método base para la asignación de las clases de calidad del agua en muchos países de Europa y Asia, en donde actualmente es ampliamente implementado.

En los años 80's se da el desarrollo de los índices diatómicos, los cuales incorporan la valoración cuantitativa de la tolerancia de las especies a la polución mediante la cuantificación por media ponderada de la abundancia de las especies con su valencia sapróbica o sensibilidad. Aunque comparten de manera general el principio

básico del IS de Pantle & Buck (ídem), el valor h es reemplazado por la abundancia relativa de las especies y el valor indicador es dado en función de la curva de respuesta de las especies a una variable en particular, es decir, su tolerancia. Ejemplo de ellos son los índices de Leclercq & Manquet (1987), Kobayasi & Mayama (1989), Descy & Coste (1990), así como el Índice de Polusensibilidad específica (IPS) (Cemagref, 1982), uno de los más usados en Europa.

En términos generales, el *promedio ponderado* es el enfoque establecido para integrar la respuesta autoecológica de todas las especies presentes en una muestra, resumiendo a una expresión numérica la intensidad de las presiones antrópicas. La fórmula básica de todos los índices desarrollados desde entonces incluye, en términos generales, la siguiente expresión:

$$\text{Índice diatómico} = \frac{\sum_{x=1}^n A_x * S_x * Vi_x}{\sum_{x=1}^n A_x * Vi_x} \quad (2)$$

Donde,

A es la abundancia relativa de la especie x

S sensibilidad de la especie x a la polución

Vi el valor indicador de la especie x

En los años 90's se dio un gran auge de los índices diatómicos, como el IBD (Biological Diatom Index, Lenoir & Coste 1996), EPI-D - Eutrophication/Polution Index Dell'Uomo 1996), CEE (Descy & Coste 1990), TDI-Trophic Diatom Index ([Kelly & Whitton, 1995](#)), entre otros, varios de ellos desarrollados en Francia por las agencias del agua y Cemagref (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture), los cuales tienen en cuenta diferente número de especies. En Asia, particularmente en Japón, son ampliamente usados el índice SI (Kobayasi & Mayama, 1989) y el índice DAipo (Watanabe, et al., 1988). En el continente americano, varios índices han sido desarrollados Estados Unidos (Potapova & Charles, 2007), y bajo un enfoque multimétrico ([Wang et al., 2005b](#); [Fore & Grafe, 2015](#)) que incluye también las cianobacterias ([Liu et al., 2020](#)). Actualmente el programa Omnidia ([Lecoite et al., 1993](#)), creado por las agencias del agua de Francia y el Instituto Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Medio Ambiente y la Agricultura-IRSTEA, incluye el cálculo de todos los índices diatómicos actualmente utilizados en Europa (**Tabla 3**). En el año 2000, con

el surgimiento de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (Water Framework Directive 2000/60/EC) (European Commission, 2000), cada país procedió a desarrollar e implementar sus propios índices, lo que llevó al desarrollo de protocolos de monitoreo estandarizados, así como ejercicios de intercalibración de métodos ([Besse-lototskaya et al., 2006](#); [Furse et al., 2006](#)) entre países. Dicha normativa establece que el estatus ecológico debe definirse basado en un enfoque tipo-específico, es decir según el tipo de ecosistema (ríos, lagos, aguas costeras, etc.) y la condición de referencia (Mogg et al, 2018). La condición de referencia es definida como sitios con ausencia -o muy bajo nivel- de presión antrópica, desde la cual se comparan todos los sitios de monitoreo.

En la actualidad se cuenta con cerca de 300 métodos de evaluación de la calidad del agua ([Birk et al., 2012](#)) a través de los cuales se revisaron y actualizaron los listados de especies, las condiciones de referencia y finalmente la clasificación ecológica de cada cuerpo de agua.

TABLA 3. ÍNDICES DE DIATOMEAS MÁS COMÚNMENTE USADOS EN EUROPA EN LA VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.

ACRÓNIMO	ÍNDICE
IBD	Biological Diatom Index (BDI) Prybiel & Coste (1993)
IPS	Pollution Sensitivity Index, Cemagref and Omnidia (1982-91)
IDG	Generic Diatom Index, Rumeau & Coste (1988)
Descy	Descy index (1979)
Sla.	Sladeczek Saprobic Index (1986)
IDSE	IDSE Leclercq (2008)
IDAP	Indice Diatomique Artois Picardie, Prygiel et al. (1996)
EPI-D	Indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione, Dell'Uomo (2004)
Lobo	Trophic-Saprobic index, Lobo et al. (2004)
Rott TI	Rott et al. Trophic index (1999)
Rott SI	Rott et al. saprobic index (1997)

TDIL	Stenger-Kovacs & Padisak Trophic Diatom Index for Lakes (2007)
CEE	Groupes Indice CEE, Descy & Coste (1991)
DAIPO	Diatom Index for Organic Pollution Watanabe (1982-1990)
TDI	Trophic Diatom Index, Kelly & Whitton (1995)
PDI	Pampean Diatom Index, Gómez & Licursi (2001)
SHE	Steinberg & Schiefele (1988)

FUENTE: TOMADO Y MODIFICADO DE: [HTTPS://OMNIDIA.FR/EN/FEATURES/](https://omnidia.fr/en/features/) (FECHA CONSULTA 16 AGOSTO/2021)

1.6. TIPOS DE ENFOQUES EN LA VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Históricamente, la calidad del agua se ha cuantificado teniendo en cuenta variables fisicoquímicas y biológicas, ya sea de manera individual o de manera global, éste último es un enfoque que supone la búsqueda de modelos de calibración de la respuesta de la biota a las condiciones físicas y químicas del agua.

En general, los índices basados en variables fisicoquímicas como WQI (Horton, 1965) o ICA (IDEAM, 2001), dan una información muy puntual de las características del agua y no explican su grado de influencia en la biota, mientras que los índices biológicos muestran dicha relación a una escala temporal mayor. De ahí la importancia del uso de ambos enfoques en la valoración de la calidad del agua.

Existen diferentes enfoques o formas de evaluar la calidad del agua, los cuales difieren en el nivel de análisis y las características ecológicas a cuantificar. De manera general los índices se pueden agrupar en tres grandes tipos: *Índices bióticos*, *Índices multivariados* e *Índices Multimétricos*, los cuales se describen a continuación y se presentan a manera de comparación en la **Figura 3**.

1.6.1. Índices Bióticos

Los *Índices Bióticos* se basan en la estructura de la comunidad, la abundancia de cada taxón y la tolerancia de las especies. Numéricamente cuantifican los valores óptimos y de tolerancia de las especies para una variable ambiental en particular,

relacionada con la polución. Son una expresión numérica de la sensibilidad -o tolerancia- de las especies al disturbio antropogénico, en donde cada especie posee un *score* o expresión numérica del valor indicador, el cual es usado para calcular el índice. Todos los índices bióticos poseen en términos generales las características presentadas en este capítulo y su cuantificación sigue de manera general la expresión presentada en la ecuación (2).

1.6.2. Los Índices Multivariados

Estos índices funcionan como un sistema predictivo de evaluación midiendo la desviación entre un sitio de muestreo con su condición de referencia. El objetivo de este enfoque es establecer la relación estadística entre la comunidad biológica con las variables ambientales de un conjunto de sitios de referencia (con alta calidad), para poder predecir la comunidad que se esperan encontrar en ausencia de contaminación o estrés ambiental ([Clarke et al., 2003](#)). Para ello, se recurre a métodos de estadística multivariada (com Análisis de Correspondencia Canónica-ACC, Análisis de Componentes Principales-PCA, Análisis de Redundancia-RDA, Análisis de Correspondencia-AC) que permiten establecer las variables que inciden en los cambios de composición de la comunidad (**Figura 3**).

Así, un sitio de muestreo a evaluar puede ser considerado muy bueno si la comunidad acuática encontrada es similar a la comunidad predicha, por el contrario, puede tener una condición de perturbado si la comunidad observada en el sitio es diferente. Para ello, se debe tener un conocimiento de la composición de especies y su distribución estacional para la condición de referencia ([Moog et al., 2018](#)). Dicha metodología solo ha sido implementada en comunidades de macroinvertebrados bentónicos, metodología ampliamente conocidas como RIVPACS (River Invertebrate Prediction and Classification System) ([Clarke et al., 2003](#)), y sus diferentes modificaciones como AUSRIVAS (AUSTRALIAN RIVER Assessment Schem) (Simpson & Norris, 2000).

1.6.3. Los Índices Multimétricos o de Integridad Biótica (IBI)

Este es un enfoque más reciente en donde se incorporan diferentes métricas tanto estructurales como funcionales de la comunidad. Por ejemplo, para el caso del perifiton incorporan varios atributos -métricas- como: porcentaje de diatomeas vivas, porcentaje de formas teratológicas, número de especies, índice de diversidad, índice de equidad, concentración clorofila, formas de crecimiento, índices bióticos, grupos funcionales, entre otros (Barbour et al., 1998). En este último enfoque cada

métrica representa una dimensión de la condición biológica, por lo tanto, reúne información de toda la comunidad algal béntica. Es de los procedimientos más sofisticados para estimación del estado ecológico de los ríos, dado que evalúa el efecto de múltiples estresores ([Moog et al., 2018](#)).

Los IBI han sido desarrollados para detectar cambios entre un sitio de estudio con la condición de referencia ([Karr and Dudley 1981](#), Barbour et al. 1999) y es uno de los enfoques más ampliamente usados en Estados Unidos. Uno de los primeros IBI fue diseñado para la comunidad de peces ([Karr, 1981](#)) y desde entonces se han adaptado para diferentes comunidades (macroinvertebrados, algas, macrófitas y peces) ([Wang et al., 2005a](#); [Wu et al., 2012](#); [Fetscher et al., 2014](#); [Masson et al., 2021](#)) en muchos países. Una vez definido el gradiente estresor, la inclusión o selección de determinada métrica depende del tipo de ecosistema, grupo de organismos, métricas disponibles, así como la potencia o coeficiente de variación de cada métrica entre los sitios contaminados vs los sitios de referencia ([Wu et al., 2012](#)). Por lo general, gran parte de las métricas asociadas con atributos funcionales o sensibilidad de las especies, son tomadas de revisión de la literatura. Para su cálculo final, el puntaje de cada métrica o atributo es normalizado (escala de 0-1) y el índice como tal se procede a calcular como la suma de todas las métricas normalizadas.

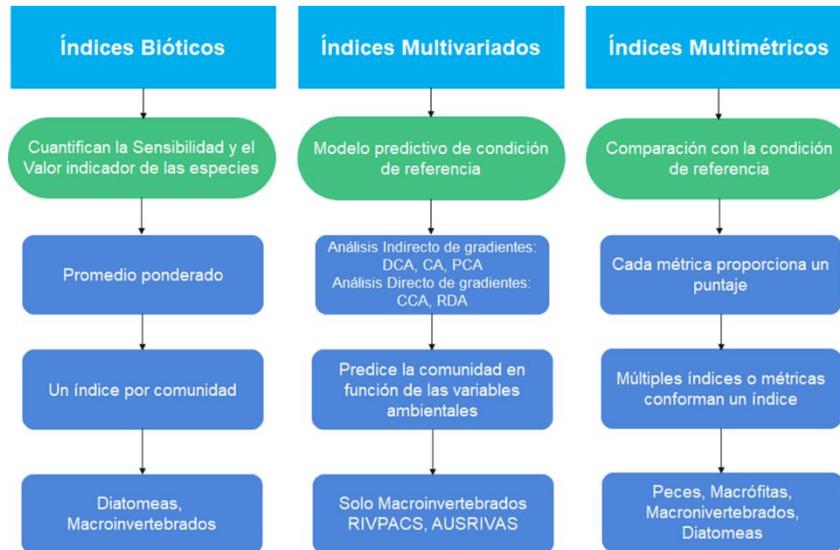


FIGURA 3. COMPARACIÓN DE LOS PRINCIPALES ENFOQUES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES. FUENTE: YASMIN PLATA-DÍAZ.

1.7. LOS SISTEMAS INTEGRADOS DE LA VALORACIÓN DE LA CALIDAD Y CLASES DE CALIDAD DEL AGUA.

Una vez generadas varias métricas de valoración de la calidad del agua, surge la necesidad de crear un sistema que integre los diferentes indicadores desarrollados. En Europa la Directiva Marco del Agua-DMA (European Comission, 2000) propuso un sistema integrado común para evaluar el Estado de una masa de agua superficial, la cual es calculada como el peor valor entre el *Estado Ecológico* y el *Estado Químico*, este último establecido según criterios de cumplimiento de los umbrales para contaminantes específicos, según la ley europea.

Para cuantificar el Estado Ecológico de los ríos, se incluyen variables ambientales y biológicas, denominadas *elementos de calidad (QE)*, los cuales incluyen variables fisicoquímicas generales (nutrientes, pH, temperatura, oxígeno disuelto), variables relacionadas con la hidromorfología (estructura de la ribera, profundidad, sustrato, etc), y variables bióticas (fitoplancton, perifiton, macrófitas, invertebrados bentónicos y peces). El estatus ecológico de cualquier cuerpo de agua surge de la combinación de todos los elementos de calidad.

Al evaluar el Estado Ecológico mediante los diferentes elementos de calidad, la valoración de la calidad es determinada como aquella métrica que refleje el peor escenario (o principio one-out, all-out), es decir, el peor valor que se haya obtenido para cada uno de los elementos por separado (**Figura 4**).

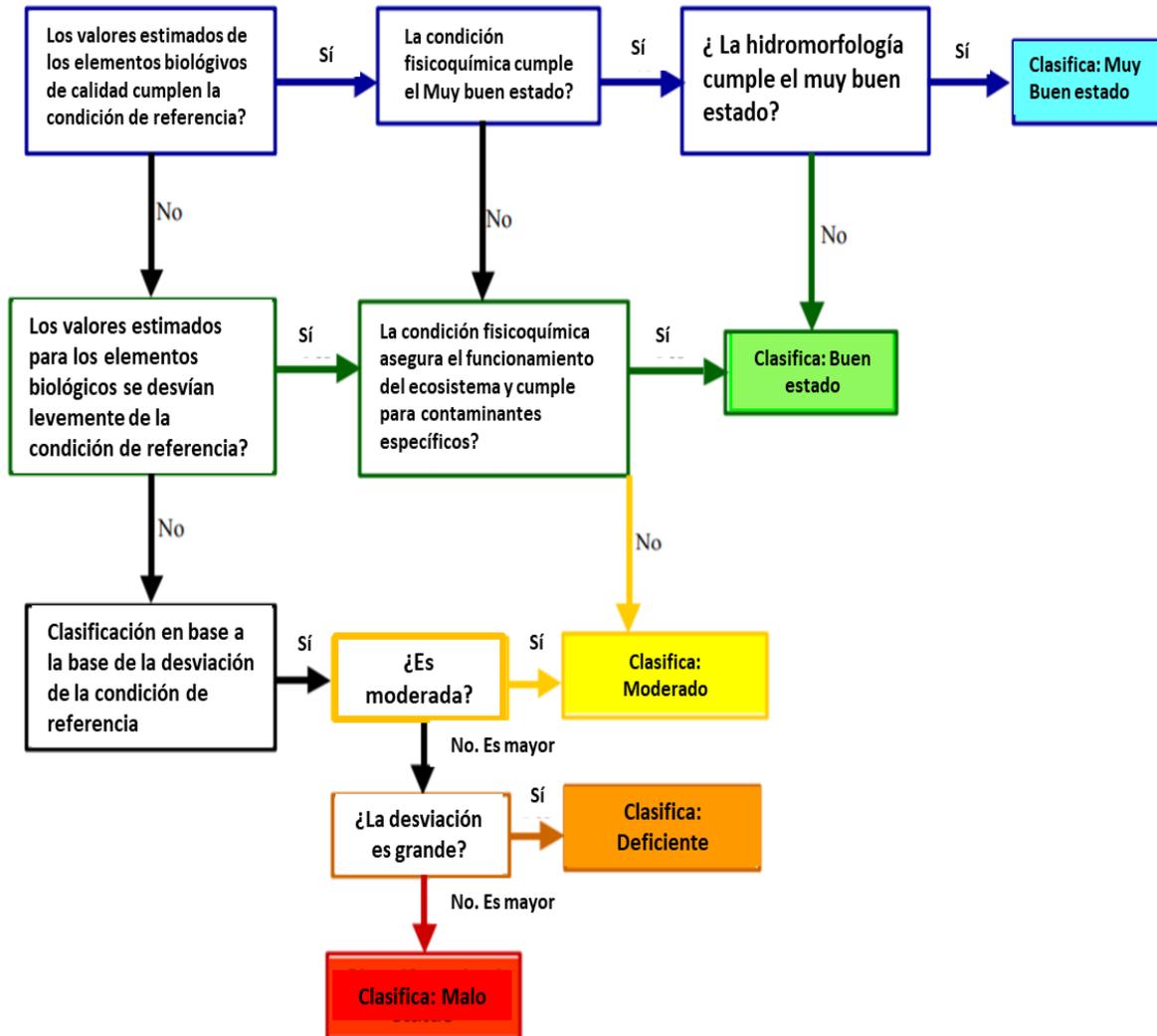


FIGURA 4. ESQUEMA DE INTEGRACIÓN PARA LA CLASIFICACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO SEGÚN LOS ELEMENTOS DE CALIDAD BIOLÓGICA, HIDROMORFOLÓGICA Y FISIQUÍMICA. TOMADO Y MODIFICADO DE: GUIDANCE DOCUMENT NO 13 COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC)

En caso de que se posean diferentes índices (o métricas) desarrollados con diferentes comunidades, se deben combinar para definir el estado de los elementos biológicos. Mediante este procedimiento, si se tienen diferentes índices biológicos

que responden a una misma presión, se combinan o promedian. En caso de que se tengan diferentes índices que reflejen los efectos a diferentes tipos de presiones, se escoge aquel que indique el mayor impacto. Posteriormente, se emplea nuevamente el criterio one-out, all-out, y el estatus de clasificación será el peor escenario (**Figura 5**).

Finalmente, la Clasificación del Estado Ecológico se realiza mediante los EQRs (Equivalent Quality Ratio). Los EQRs son la relación del Estado Ecológico observado en un río respecto a la Condición de Referencia y se expresa como un valor numérico entre 0 y 1, en donde 1 corresponde al mejor estado ecológico y 0, al peor (**Figura 6**).

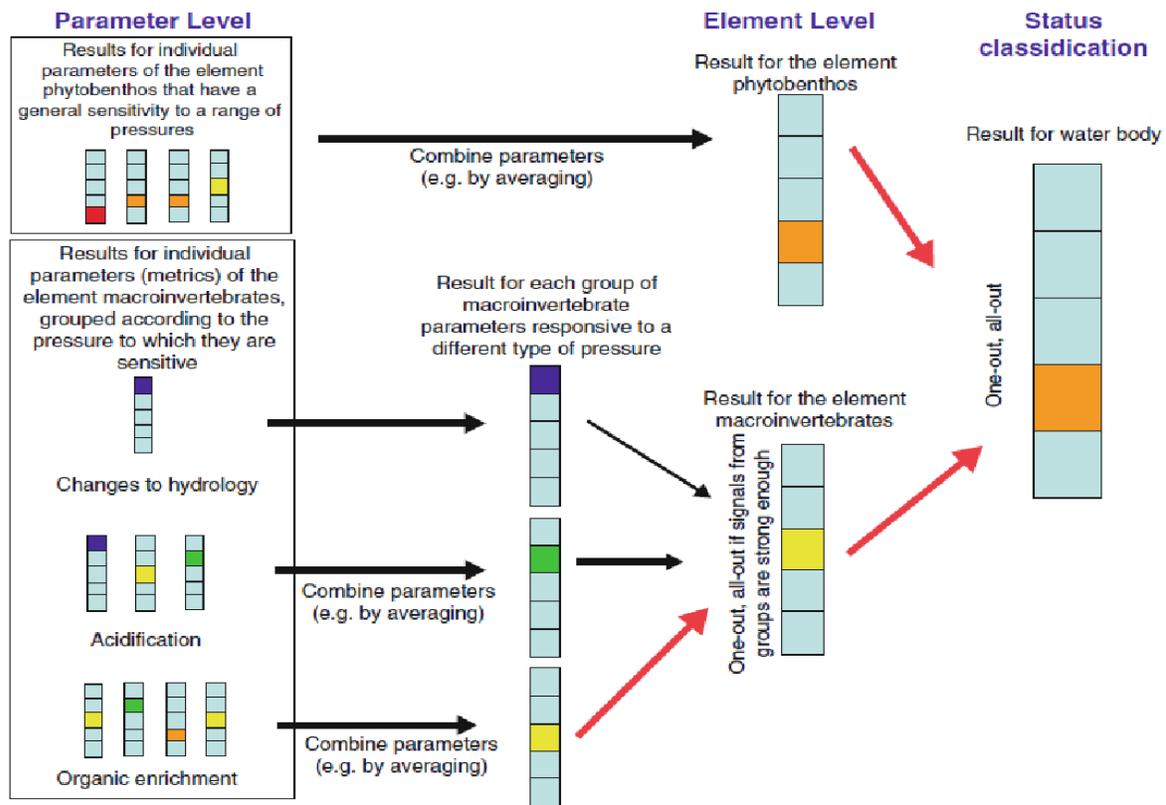


FIGURA 5. COMBINACIÓN DE PARÁMETROS (O ÍNDICES) PARA ESTIMAR EL ESTADO DE LOS ELEMENTOS BIOLÓGICOS. TOMADO DE: GUIDANCE DOCUMENT NO 10 COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC).

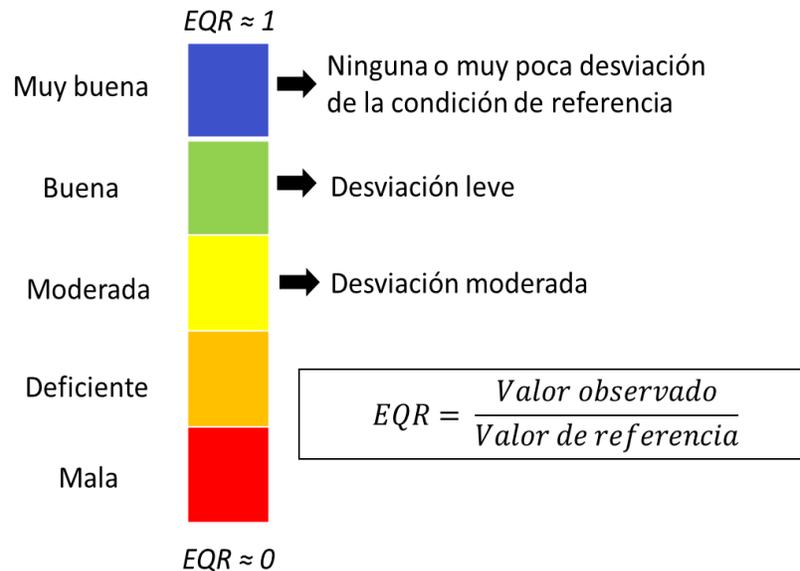


FIGURA 6. CLASIFICACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO BASADO EN RELACIÓN DE CALIDAD ECOLÓGICA (EQR). TOMADO Y MODIFICADO DE: GUIDANCE DOCUMENT NO 13 COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC).

1.8. ESTUDIOS DE DIATOMEAS EN COLOMBIA CON ESPECIAL REFERENCIA A SISTEMAS DE ALTA MONTAÑA

En Colombia, los estudios que evalúan los cambios en composición a lo largo del gradiente ambiental se centran en sistemas acuáticos de alta montaña y de páramo ([Díaz-Quirós & Rivera-Rondón, 2004](#); [Ramírez & Plata-Díaz, 2008](#), Donato, 2001). De los estudios en ríos de alta montaña varios de ellos se centran en cambios temporales en la biomasa y la diversidad con la variabilidad en el flujo y el periodo hidrológico ([Rivera & Donato, 2008](#); Zapata & Donato, 2008), otros se centran en aspectos sobre sucesión (Martínez & Donato, 2003), y un mayor número de estudios sobre composición y estructura (Hernández-Atilano et al., 2005; Montoya et al., 2008; Pedraza-Garzón & Donato-Rondón, 2011) a nivel espacial y/o temporal.

Si bien el conocimiento taxonómico aún es incipiente dada la gran diversidad registrada hasta el momento (Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998, 2007; Rumrich et al., 2000), Colombia ya cuenta con un número importante de publicaciones taxonómicas. Entre ellos se encuentran los trabajos de Sala et al. (2002b, 2002a,

2008, 2014, 2015), Vouilloud et al. (2014), Medina-Tombé et al. (2019) y más recientemente los de Blanco et al. (2020) y Simonato et al. (2020).

Estudios de diatomeas a grandes escalas en Colombia son pocos. Benito et al., (2018) realizó un trabajo de regionalización de lagos suramericanos mediante la comunidad de diatomeas desde un enfoque taxonómico y funcional en donde incluyó lagos de tierras bajas y de páramos de Colombia. Un trabajo similar es el de Plata-Díaz (2016), en donde compara la estructura del ensamble taxonómico y funcional para proponer una tipología de ríos para el país. De otro lado, Vouilloud et al., (2016), realizan un trabajo taxonómico a gran escala donde describen la variabilidad morfológica de *Eunotia parasiolii* en diferentes regiones geográficas.

1.9. LAS DIATOMEAS EN LOS MONITOREOS LIMNOLÓGICOS DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DEL ACUEDUCTO DE BOGOTÁ

Actualmente el Acueducto de Bogotá posee un catálogo iconográfico de las algas del perifiton y fitoplancton registradas en los cuerpos de agua que hacen parte del sistema de abastecimiento. Dicha información reúne 45 géneros y 191 morfotipos solo para la clase Bacillariophyceae, en donde el género *Eunotia* es uno de los más diversos con 28 morfotipos, seguido por *Gomphonema* con 23. Sin embargo, este número de especies puede tener una incertidumbre importante dado que la identificación taxonómica se ha realizado a partir de muestras sin procesar.

De acuerdo con el informe de seguimiento limnológico de septiembre de 2019, en las fuentes de abastecimiento del Acueducto de Bogotá se han registrado a la fecha - entre especies y morfoespecies- 76 taxones de diatomeas en total. La Clase Bacillariophyceae es la más diversa con 66 morfoespecies, mientras que las clases Fragilariophyceae (diatomeas arrafídeas) y Coscinodiscophyceae (diatomeas céntricas) registran pocas especies (**Figura 7**).

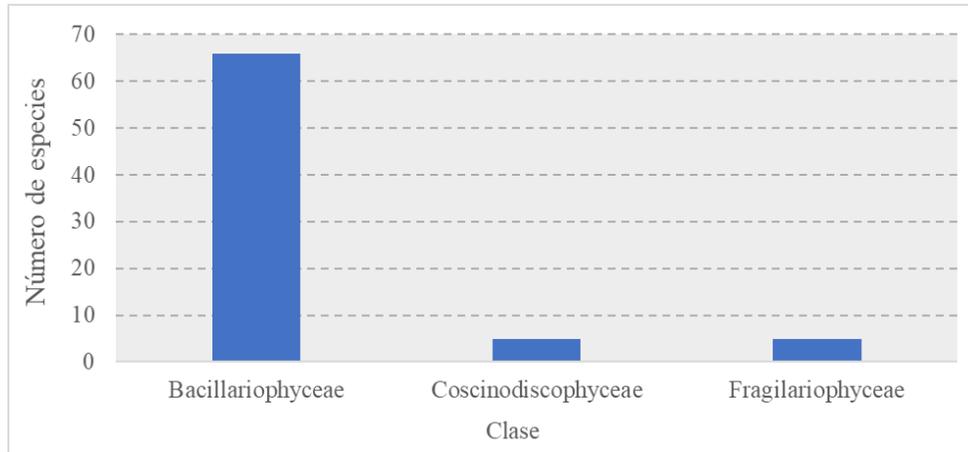


FIGURA 7. NÚMERO DE MORFOTIPOS DE DIATOMEAS REGISTRADAS POR CLASE TAXONÓMICA EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DEL ACUEDUCTO DE BOGOTÁ. FUENTE: INFORME DE SEGUIMIENTO LIMNOLÓGICO SEPTIEMBRE DE 2019

Del total de especies registradas, solo 22 taxones poseen determinación a nivel de especie y se encuentran en categoría por confirmar -cf- en su mayoría (**Tabla 4**). La familia Naviculaceae registra el mayor número de especies (13), seguida de Gomphonemataceae, Bacillariaceae con 7 especies y Pinnulariaceae con 6 (**Figura 8**). De las 10 especies registradas en el género *Navicula*, están determinadas *Navicula cf. capitatoradiata* y *Navicula rynchocephala*, las ocho especies restantes son morfotipos. Se destaca la familia Gomphonemataceae por poseer el mayor nivel de determinación, seis de los siete taxones hasta el momento registrados están delimitados a especie y corresponden a *Gomphonema cf. acuminatum*, *Gomphonema cf. gracile*, *Gomphonema cf. lagenula*, *Gomphonema cf. minutum*, *Gomphonema cf. olivaceum*, y *Reimeira sinuata*.

TABLA 4. LISTADO DE ESPECIES DETERMINADAS EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DEL ACUEDUCTO EN CATEGORÍA -CF- POR CONFIRMAR. FUENTE: INFORME DE SEGUIMIENTO LIMNOLÓGICO SEPTIEMBRE 2019.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE
Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	Nitzschia	<i>Nitzschia cf. palea</i>
Bacillariophyceae	Cocconeidales	Cocconeidaceae	Cocconeis	<i>Cocconeis cf. placentula</i>
Bacillariophyceae	Cymbellales	Rhoicospheniaceae	Rhoicosphenia	<i>Rhoicosphenia cf. abbreviata</i>
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	Gomphonema	<i>Gomphonema cf. acuminatum</i>
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	Gomphonema	<i>Gomphonema cf. gracile</i>
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	Gomphonema	<i>Gomphonema cf. lagenula</i>
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	Gomphonema	<i>Gomphonema cf. minutum</i>
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	Gomphonema	<i>Gomphonema cf. olivaceum</i>
Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	Reimeira	<i>Reimeira sinuata</i>
Bacillariophyceae	Eunotiales	Eunotiaceae	Eunotia	<i>Eunotia cf. bilunaris</i>
Bacillariophyceae	Eunotiales	Eunotiaceae	Eunotia	<i>Eunotia cf. diodon</i>
Bacillariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	Fragilaria	<i>Fragilaria cf. capucina</i>
Bacillariophyceae	Licmophorales	Ulnariaceae	Hannaea	<i>Hannaea arcus</i>
Bacillariophyceae	Licmophorales	Ulnariaceae	Ulnaria	<i>Ulnaria ulna</i>
Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	Navicula	<i>Navicula cf. capitatoradiata</i>
Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	Navicula	<i>Navicula rynchocephala</i>

Bacillariophyceae	Naviculales	Sellaphoraceae	Sellaphora	<i>Sellaphora cf. pupula</i>
Fragilariophyceae	Tabellariales	Tabellariaceae	Diatoma	<i>Diatoma cf. mesodon</i>
Fragilariophyceae	Tabellariales	Tabellariaceae	Tabellaria	<i>Tabellaria cf. fenestrata</i>
Fragilariophyceae	Tabellariales	Tabellariaceae	Tabellaria	<i>Tabellaria cf. flocculosa</i>
Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	Melosira	<i>Melosira cf. varians</i>
Coscinodiscophyceae	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	Discotella	<i>Discotella cf. stelligera</i>

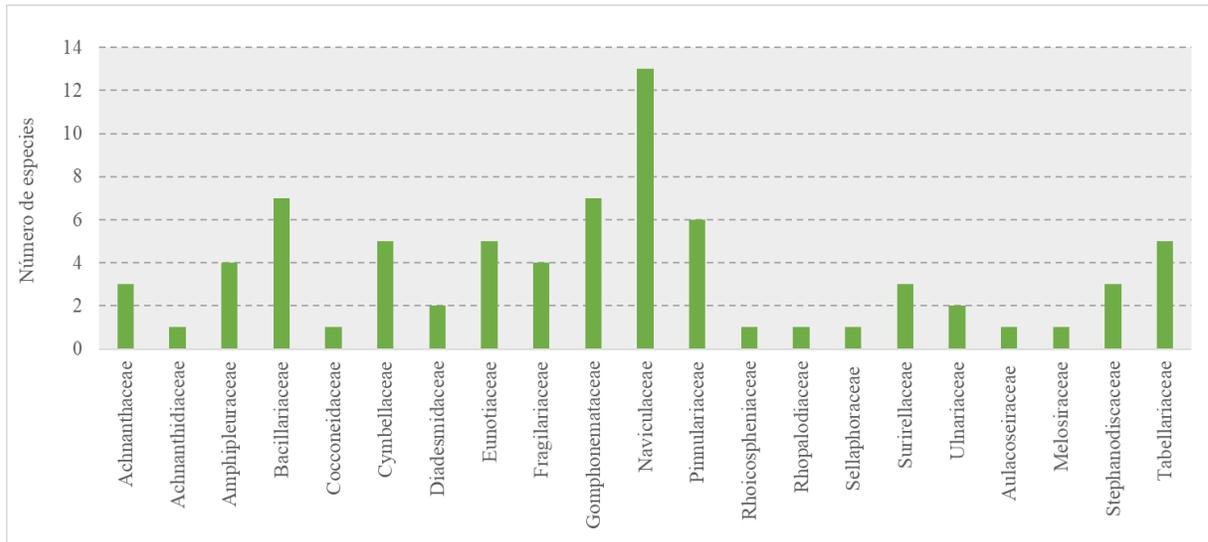


FIGURA 8. NÚMERO DE MORFOTIPOS DE DIATOMEAS REGISTRADAS A NIVEL DE FAMILIA EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DEL ACUEDUCTO DE BOGOTÁ. FUENTE: INFORME TRIMESTRAL DE SEGUIMIENTO LIMNOLÓGICO SEPTIEMBRE DE 2019

1.10. ÍNDICES DESARROLLADOS EN COLOMBIA

En Colombia el desarrollo de índices bióticos con diatomeas es muy incipiente. Actualmente se cuenta con los trabajos de [Castro-Roa & Pinilla-Agudelo \(2014\)](#) en el que desarrollaron un índice de diatomea diatomeas para humedales urbanos basándose en los valores de calidad química según reglamentación.

Un segundo trabajo es el de [Hernández et al., \(2020\)](#), el cual incluye toda la comunidad del perifiton como grupo indicador y en donde establecieron los óptimos y tolerancias de las especies perifíticas en respuesta al grado de correlación de las abundancias de las especies con el gradiente ambiental, generado por técnicas multivariadas.

Sin embargo, aún es común la práctica de aplicar directamente los índices desarrollados en otros continentes en diferentes áreas geográficas asumiendo que las diatomeas de agua dulce son en su mayoría cosmopolitas. En los ambientes tropicales esta práctica generaría resultados erróneos ya que los estudios de base provienen de ambientes templados y fríos; y además porque la asunción del cosmopolitismo ha sido razonablemente cuestionada (Kociolek & Spaulding, 2000).

1.11. BIBLIOGRAFÍA

Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder, & J. B. Stribling, 1998. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. US Environmental Protection Agency Office of Water Washington DC U.S. Environmental Protection Agency, Whashington, D.C 2nd: 339.

Benito, X., S. C. Fritz, M. Steinitz-Kannan, P. M. Tapia, M. A. Kelly, & T. V. Lowell, 2018. Geo-climatic factors drive diatom community distribution in tropical South American freshwaters. *Journal of Ecology* 106: 1660–1672.

Besse-lototskaya, A., P. F. M. Verdonshot, & J. A. Sinkeldam, 2006. Uncertainty in diatom assessment : Sampling , identification and counting variation. 247–260.

Bick, H., 1963. a Review of Central European Methods for the Biological Estimation of Water Pollution Levels. *Bulletin of the World Health Organization* 29: 401–413.

Biggs, B. J. F., D. G. Goring, & V. I. Nikora, 1998a. Subsidy and Stress Responses of Stream Periphyton To Gradients in Water Velocity As a Function of Community Growth Form. *Journal of Phycology* 34: 598–607.

Biggs, B., R. Stevenson, & R. Lowe, 1998b. A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Archiv für Hydrobiologie* 143: 21–56.

Birk, S., W. Bonne, A. Borja, S. Brucet, A. Courrat, S. Poikane, A. Solimini, W. Van De Bund, N. Zampoukas, & D. Hering, 2012. Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecological Indicators Elsevier Ltd* 18: 31–41, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.009>.

Blanco, S., C. L. Munoz-Lopez, & C. A. Rivera-Rondon, 2020. *Nupela eremica* sp. nov. (Bacillariophyta, Naviculaceae) from a páramo lake in the Colombian Andes. *Phytotaxa* 455: 295–300.

Castro-Roa, D., & G. Pinilla-Agudelo, 2014. Periphytic diatom index for assessing

the ecological quality of the Colombian Andean urban wetlands of Bogotá. *Limnetica* 33: 297–312.

CEMAGREF, 1982. Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport Q. E. Lyon – A. F. Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 217 pp.

Clarke, R. T., J. F. Wright, & M. T. Furse, 2003. RIVPACS models for predicting the expected macroinvertebrate fauna and assessing the ecological quality of rivers. *Ecological Modelling* 160: 219–233.

Dell'Uomo A., 1996. Assessment of water quality of an Apennine river as a pilot study for diatom- based monitoring of Italian watercourses. In: Whitton B.A., Rott E. (eds), *Use of algae for monitoring rivers II*. Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Innsbruck: 65-72.

Dell'uomo, A., 2004. L'indice diatamico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti. *Linee Guida*. .

Descy, J. P. 1979. A new approach to water quality estimation using diatoms. *Beih. Nova Hedw.*, 64, 305-323.

Descy, J. P., & J. C. Micha, 1988. Use of biological indices of water quality. *Statistical Journal of the United Nations Economic Commission for Europe* 5: 249–261.

Descy, J.-P., & L. Ector, 1999. Use of diatoms for monitoring rivers in Belgium and Luxemburg. *Use of algae for monitoring rivers III*. : 128–137.

Descy, J.-P., & M. Coste, 1991. A test of methods for assessing water quality based on diatoms. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen Taylor & Francis* 24: 2112–2116.

Díaz-Quirós, C., & C. A. Rivera-Rondón, 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia* 26: 381–394.

Donato, J. Ch. 2001. Fitoplancton de los lagos Andinos del norte de Suramérica. Composición y factores de distribución. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Bogotá. 233 pp.

Elwood, J. W., & D. J. Nelson, 1972. Periphyton production and grazing rates in a stream measured with a ^{32}P material balance method. *Oikos* JSTOR 295–303.

European Comission, 2000. Directive 2000/60/EC of the european parliament and of the council-establishing a framework for Community action in the field of water policy. Brussels.

Evaluación de los ecosistemas del milenio (EEM). 2005. Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. Informe síntesis. World Resources Institute, Washington D.C. 80 pp.

Fetscher, A. E., R. Stancheva, J. P. Kociolek, R. G. Sheath, E. D. Stein, R. D. Mazon, P. R. Ode, & L. B. Busse, 2014. Development and comparison of stream indices of biotic integrity using diatoms vs. non-diatom algae vs. a combination. *Journal of Applied Phycology* 26: 433–450.

Fore, L. S., & C. Grafe, 2015. Using diatoms to assess the biological condition of large rivers in Idaho (U.S.A.). *Freshwater Biology* 2015–2037.

Furse, M. T., D. Hering, K. Brabec, A. Buffagni, L. Sandin, & P. F. M. Verdonschot, 2006. The ecological status of European rivers: evaluation and intercalibration of assessment methods. 1–2.

Gómez, N., & M. Licursi, 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecology* 35: 173–181.

Guisan, A., N. E. Zimmermann, & W. Thuiller (eds), 2017. What Drives Species Distributions? Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R. Cambridge University Press, Cambridge: 21–40.

Hernández, E., D. M. Agudelo, E. Flórez, R. Sepúlveda, A. M. Zabala, Lady Vargas, M. Parra, G. Ramírez, & N. Aguirre, 2020. Índice de Calidad Ecológica y gestión hídrica en tres ecosistemas de Colombia. *Revista de Biología Tropical* 68: 1337–1345.

Hernández-Atilano, E., N. J. Aguirre, & J. A. Palacio, 2005. Variación espacio-temporal de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas* 27: 67–77.

Horton R. K .1965. An index number system for rating water quality. *J Water Pollut Control Fed* 37(3):300–306

Karr, J. R., 1981. Assessment of Biotic Integrity Using Fish Communities. *Fisheries* 6: 21–27.

Kelly, M. G., & B. A. Whitton, 1995. The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* 7: 433–444.

Kobayasi, H., & S. Mayama, 1989. Evaluation of river water quality by diatoms. *The Korean Journal of Phycology* 4: 121–133.

Kociolek, J., & S. Spaulding, 2000. Freshwater diatom biogeography. *Nova Hedwigia* 71: 223–241.

Kolkwitz, R., & M. Marsson, 1902. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. *Abwasserbeseit* 1: 33–72.

Lamberti, G. A., 1996. The role of periphyton in benthic food webs. *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, California, USA 533–572.

Lange, K., A. Liess, J. J. Piggott, C. R. Townsend, & C. D. Matthaei, 2011. Light, nutrients and grazing interact to determine stream diatom community composition and functional group structure. *Freshwater Biology* 56: 264–278.

Leclercq, L., & B. Maquet, 1987. Deux nouveaux indices diatomiques et de qualité chimique des eaux courantes. Comparaison avec différents indices existants. Cahiers De Biologie Marine 28: 303–310.

Leclercq, L., & B. Maquet, 1987. Deux nouveaux indices diatomiques et de qualité chimique des eaux courantes. Comparaison avec différents indices existants. Cahiers De Biologie Marine 28: 303–310.

Lecoite, C., M. Coste, & J. Prygiel, 1993. “Omnidia”: software for taxonomy, calculation of diatom indices and. Hydrobiologia 269.

Lenoir, A., & M. Coste, 1996. Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French National Water Board Network. International symposium, Volksbildungsheim Grilhof Vill, AUT, 17-19 September 1995. Universität Innsbruck: 29–43.

Liu, B., S. Chen, H. Liu, & Y. Guan, 2020. Blue-green algae enhanced performance of diatom-based multimetric index on defining lake condition under high level of human disturbance. Science of the Total Environment Elsevier B.V. 730: 138846, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138846>.

Lobo, E. A., D. Bes, L. Tudesque, & L. Ector, 2004. WATER QUALITY ASSESSMENT OF THE PARDINHO RIVER , RS , BRAZIL , USING EPILITHIC DIATOM ASSEMBLAGES AND FAECAL COLIFORMS AS BIOLOGICAL INDICATORS. 54: 115–125.

Louis-Leclercq. 2008. IDSE Diatom Index of Saprobity-Eutrophication conception

Lowe, R. L., & Y. Pan, 1996. 22 - Benthic Algal Communities as Biological Monitors In Stevenson, R. J., M. L. Bothwell, & R. L. Lowe (eds), Algal Ecology. Academic Press, San Diego: 705–739, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780126684506500515>.

Lowe, R. L., S. W. Golladay, & J. R. Webster, 1986. Periphyton response to nutrient manipulation in streams draining clearcut and forested watersheds. Journal of the North American Benthological Society North American Benthological Society 5: 221–229.

Martínez, L. F., & J. C. Donato, 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia* 25: 337–354.

Masson, I., J. Gonzalez Castelain, S. Dubny, N. Othax, & F. Peluso, 2021. Index of biotic integrity based on fish assemblages for pampean streams and its implementation along the Del Azul stream (Buenos Aires province, Argentina). *Acta Limnologica Brasiliensia* 33.

McCormick, P. V, 1996. Resource competition and species coexistence in freshwater benthic algal assemblages *Algal ecology*. Elsevier: 229–252.

Medina-Tombé, M. F., A. A. Vouilloud, & S. E. Sala, 2019. *Terpsinoë musica* Ehrenberg (Bacillariophyceae), primer registro del género para Colombia. *Actualidades Biológicas* 41: 5–13.

Metzeltin, D., & H. Lange-Bertalot, 1998. Tropical Diatoms of South America I. About 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora. *Iconographia Diatomologica* 5. Koeltz, Königstein, Germany .

Metzeltin, D., & H. Lange-Bertalot, 2007. Tropical diatoms of South America II. Special remarks on biogeographic disjunction. *Iconographia Diatomologica* 18. Koeltz Scientific Books. Koenigstein.

Moog, O., S. Schmutz, & I. Schwarzingler, 2018. *Biomonitoring and bioassessment. Riverine Ecosystem Management* Springer International Publishing 371.

Murphy, M. L., C. P. Hawkins, & N. H. Anderson, 1981. Effects of Canopy Modification and Accumulated Sediment on Stream Communities. *Transactions of the American Fisheries Society* 110: 469–478.

Nestor Aguirre-ramírez, & Y. Montoya-Moreno, 2008. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana *Periphytic algae assemblage in macrophyte roots in a Colombian tropical wetland*. *Hidrobiológica* 18: 189–198.

Odum, H., 1956. Primary Production in Flowing Waters. *Limnology and*

Oceanography 1: 102–117.

Pan, Y., & R. L. Lowe, 1994. Independent and interactive effects of nutrients and grazers on benthic algal community structure. *Hydrobiologia* Springer 291: 201–209.

Pan, Y., R. J. Stevenson, B. H. Hill, A. T. Herlihy, & G. B. Collins, 1996. Using diatoms as indicators of ecological conditions in lotic systems: A regional assessment. *Journal of the North American Benthological Society* 15: 481–495.

Pantle, R. & H. Buck. 1955. Die biologische Ueberwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *-Gas-, Wasserfach* 96: 604.

Passy, S. I., 2001. Spatial paradigms of lotic diatom distribution: A landscape ecology perspective. *Journal of Phycology* 37: 370–378.

Patrick, R., 1948. Factors effecting the distribution of diatoms. *The Botanical Review* Springer 14: 473–524.

Pedraza-Garzon, E., & J. . Donato-Rondon, 2011. Diversity and distribution of diatoms in a mountain stream of the Colombian Andes. *Caldasia* 33: 177–191.

Plata-Díaz, Y. 2016. Tipología de ríos de Colombia basada en gradientes ambientales y la estructura del ensamble de diatomeas. Tesis de Maestría. Universidad Industrial de Santander. 74 pp.

Poff, N. L., J. . Neal, & J. . Ward, 1990. Algal colonization under four experimentally-controlled current regimes in a high mountain stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 9: 303–318.

Potapova, M. G., & D. F. Charles, 2002. Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography* 29: 167–187, <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2699.2002.00668.x>.

Potapova, M., & D. F. Charles, 2007. Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of the United States. 7: 48–70.

Pringle, C. M., 1990. Nutrient Spatial Heterogeneity: Effects on Community Structure, Physiognomy, and Diversity of Stream Algae. *Ecology* 71: 905–920.

Prygiel J., Leveque L., Iserentant R. Un nouvel indice diatomique pratique pour l'évaluation de la qualité des eaux en réseau de surveillance, *Rev. Sci. Eau*, N°1, p. 97-113

Prygiel, J., & M. Coste, 1993. The assessment of water quality in the Artois-Picardie water basin (France) by the use of diatom indices. *Hydrobiologia* 269/270: 343–349, <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00028033>.

Ramírez, A. ., & Y. Plata-Díaz, 2008. Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña. *Acta Biologica Colombiana* 13: 199–216.

Rivera, C. A., & J. C. Donato, 2008. Influencia de las variaciones hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas bénticas In Donato, J. C. (ed), *Ecología de un río de montaña*. Bogotá: 83–101.

Rott, E.; Pipp, E.; Pfister, P.; Van Dam, K.; Ortler, K.; Binder, n. & Pall, K. 1999. Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 2: Trophieindikation (sowie geochemische Präferenzen, taxonomische und toxikologische Anmerkungen). (Indicator species lists for periphyton from Austrian rivers. Part 2: Trophic indication with additional references to geochemical reaction, taxonomy and ecotoxicology.) – 248 pp., *Wasserwirtschaftskataster* herausgegeben vom Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien. (ISBN 3-85 174-25-4.).

Rumeau, A and M. Coste, 1988. Initiation a la systematique des diatomees d'eau douce pour ('utilisation pratique d'un indice diatomique generique . *Bull. Fr. Peche Piscic.* 309 : 1-69.

Rumrich, U., H. Lange-Bertalot, & M. Rumrich, 2000. *Diatomeen der Anden: von Venezuela bis Patagonien/Feuerland: und zwei weitere Beiträge*. ARG Gantner Verlag KG.

Sala, S. E., J. J. Ramírez, & Y. Plata, 2008. Diatoms from lentic and lotic systems in Antioquia, Chocó and Santander Departments in Colombia. 56: 1159–1178.

Sala, S. E., S. R. Duque, & M. N. Ez-avellaneda, 2002a. Diatoms from the Colombian Amazonia. Cryptogamie, Algol. 23: 75–99.

Sala, S. E., S. R. Duque, M. Núñez-avellaneda, & A. A. Lamaro, 2002b. DIATOMS FROM THE COLOMBIAN AMAZON: SOME SPECIES OF THE GENUS *Eunotia* (BACILLARIOPHYCEAE). Bosque 32: 589–603, <http://acta.inpa.gov.br/fasciculos/32-4/PDF/v32n4a05.pdf>.

Sala, S. E., V. A., Y. Plata-Díaz, E. Pedraza, & A. Pimienta, 2015. Taxonomy and distribution of epilithic diatoms reported for the first time in. Caldasia 37: 125–141.

Sala, S., A. A. Vouilloud, Y. Plata-díaz, E. Pedraza, & A. Pimienta, 2014. *Nupela* species (Naviculales: Bacillariophyceae) from Colombian lowland waters including *N. acaciensis* nov. sp. and *N. catatumbensis* nov. sp. Revista de Biología Tropical 62: 241–255.

Schneck, F., & A. S. Melo, 2012. Hydrological disturbance overrides the effect of substratum roughness on the resistance and resilience of stream benthic algae. Freshwater Biology 57: 1678–1688.

Simonato, J., J. P. Kociolek, S. E. Sala, Y. P. Díaz, & M. Núñez-Avellaneda, 2020. Three new *Luticola* species from the Andean-Amazonian transition in Colombia: taxonomy, morphology and preliminary considerations of the biogeography of the genus. Diatom Research Taylor & Francis 1–17, <https://doi.org/10.1080/0269249X.2020.1813205>.

Simpson, J. C., & R. H. Norris, 2000. Biological assessment of river quality: development of AUSRIVAS models and outputs. Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques. Proceedings of an International Workshop held in Oxford, UK, on 16-18 September 1997. Freshwater Biological Association (FBA): 125–142.

Sládeček, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie* 7: 1–218.

Sládeček, V., 1986. Diatoms as Indicators of Organic Pollution. *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 14: 555–566.

Steinberg, C., & S. Schiefele, 1988. Biological indication of trophy and pollution of running waters. *Zeitschrift für Wasser-und Abwasser-Forschung* 21: 227–234.

Stenger-Kovács, C., K. Buczkó, É. Hajnal, & J. Padišák, 2007. Epiphytic, littoral diatoms as bioindicators of shallow lake trophic status: Trophic Diatom Index for Lakes (TDIL) developed in Hungary. *Hydrobiologia* 589: 141–154.

Stevenson, R. J., 1997. Scale-Dependent Determinants and Consequences of Benthic Algal Heterogeneity Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *The North American Benthological Society* 16: 248–262.

Stevenson, R., M. Bothwell, R. Lowe, & J. Thorp, 1996. *Algal ecology: Freshwater benthic ecosystem*. Academic Press, San Diego, USA.

Stevenson, R., Y. Pan, & H. Van Dam, 1999. Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms In Smol, J. P., & E. F. Stoermer (eds), *The diatoms: applications for the environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press: 57–85.

Ter Braak, C. J. F., & S. Juggins, 1993. Weighted averaging partial least squares regression (WA-PLS): an improved method for reconstructing environmental variables from species assemblages. *Twelfth international diatom symposium*. Springer: 485–502.

Tuchman, M., & R. Stevenson, 1980. Comparison of clay tile, sterilized rock, and natural substrate diatom communities in a small stream in southeastern Michigan, USA. *Hydrobiologia* 79: 73–79,
<http://link.springer.com/article/10.1007/BF00006564>.

Vouilloud, A. A., S. E. Sala, M. Núñez-Avellaneda, Y. Montoya-Moreno, & S. R. Duque, 2014. *Brachysira* (Naviculales, Bacillariophyceae) in lowland waters from Colombia. *Diatom Research* 29: 147–163.

Vouilloud, A. A., Y. Plata-díaz, E. Pedraza, A. Pimienta, S. Heguilor, A. Lamaro, & E. Sala, 2016. Distribución de *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) en ríos neotropicales (Colombia) y su implicancia en la taxonomía de la especie Distribution of *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) in Neotropical rivers (Colombia) and its implication on t. *Hidrobiológica* (México, DF) 26: 241–250.

Wang, Y. K., R. J. Stevenson, & L. Metzmeier, 2005b. Development and evaluation of a diatom-based Index of Biotic Integrity for the Interior Plateau Ecoregion, USA. *Journal of the North American Benthological Society* 24: 990–1008.

Wang, Y.-K., R. J. Stevenson, & L. Metzmeier, 2005a. Development and evaluation of a diatom-based Index of Biotic Integrity for the Interior Plateau Ecoregion, USA. *Journal of the North American Benthological Society* 24: 990–1008.

Watanabe T, Asai K, Houki A .1988. Numerical water quality monitoring of organic pollution using diatom assemblages. *Proc Ninth Int Diatom Symp 1986* , FE Round Ed. Koeltz Scientific Books: Koenigstein, Germany: 123-141.

Whitton, B. A., & E. Rott, 1996. Use of algae for monitoring rivers II. Eugen Rott.

Wu, N., Q. Cai, & N. Fohrer, 2012. Development and evaluation of a diatom-based index of biotic integrity (D-IBI) for rivers impacted by run-of-river dams. *Ecological Indicators Elsevier Ltd* 18: 108–117, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.013>.

Zapata, A. M., & J. C. Donato, 2008. Regulación hidroblógica de la biomasa algal béntica In Donato, J. C. (ed), *Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos (Río Tota, Boyacá)*. Universidad Nacional de Colombia: 103–125.

Zelinka, M. and Marvan, P. 1961. Zur Präzisierung der biologischen klassifikation der Reinheit fließender Gewässer.-*Arch. Hydrobiol.*, 57:389-407

2. REVISIÓN PRELIMINAR DE MUESTRAS HISTÓRICAS

2.1. SELECCIÓN

El día viernes 16 julio/21 mediante oficio S.2610001-2021-208104 la empresa de Acueducto hace entrega de 411 muestras físicas de perifiton y 32 de fitoplancton de las fuentes lólicas y lénticas que hacen parte del sistema de suministro de la EAAB-ESP. Teniendo en cuenta que CPA INGENIERIA SAS es un laboratorio acreditado ante el IDEAM, se realiza la recepción de muestras según lo estipulado en la Norma 17025 de 2017.

La recepción es realizada los días 19, 21 y 22 de julio de 2021 por las profesionales LAURA GARZON (Bióloga) y YISELL HERRERA (Analista de laboratorio), para lo cual registran los datos de las muestras en el formato LF49 CADENA DE CUSTODIA Y VIGILANCIA.MATRIZ AGUA V01.

Una vez ingresadas las muestras se dio inicio a la revisión y pre-conteo inicial de valvas.

2.2. PRE-CONTEO

Las muestras son observadas en un microscopio óptico a 400 aumentos para establecer la presencia y densidad de frústulos vacíos. Para esto se toma 100 microlitros de la muestra y se disponen sobre una lámina. En caso de observarse más de un 50% de diatomeas vacías, con muy baja densidad y sin posibilidad de concentrar la muestra y se descartará.

Hasta la fecha, de 297 muestras procesadas, 17 muestras no son aptas para el análisis.

2.3. BALANCE DEL NÚMERO DE MUESTRAS PROCESADAS, MONTAJES AL MICROSCOPIO ÓPTICO Y MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Las muestras procesadas corresponden a los sistemas Chisacá, Chuza, Regadera, Río Blanco, Río San Cristóbal, San Rafael y Yomasa, siendo San Rafael el sistema con más muestras procesadas (28%) y Yomasa con menos muestras (5%).

Con relación al estado de las muestras, la mayoría de las muestras se encuentra en estado de oxidación (61%) y el 25% ya han completado el proceso y se encuentran en montajes permanentes.

Actualmente las muestras de los sistemas de San Rafael y Río Blanco se encuentran en pre-conteo, las cuales posteriormente pasarán a Oxidación (**Tabla 5 y Figura 9**). En relación con los montajes para microscopía electrónica, se prepararon 8 muestras correspondientes a los sistemas Río San Cristóbal, Chisacá y la Regadera, las cuales fueron enviadas el día 14 de octubre para análisis en Bucaramanga.

TABLA 5. ESTADO DE MUESTRAS PROCESADAS

SISTEMA	EN LÁMINA	EN OXIDACIÓN	NO APTA	PRE-CONTEO	TOTAL GENERAL	%
Chisacá	12	14	2		28	9%
Chuza	12	26	1		39	13%
Regadera	18	32	1		51	17%
Río Blanco		42	5	12	59	20%
Río San Cristóbal	18		4		22	7%
San Rafael		68	3	11	82	28%
Yomasa	15		1		16	5%
Total general	75	182	17	23	297	/
%	25%	61%	6%	8%	/	/

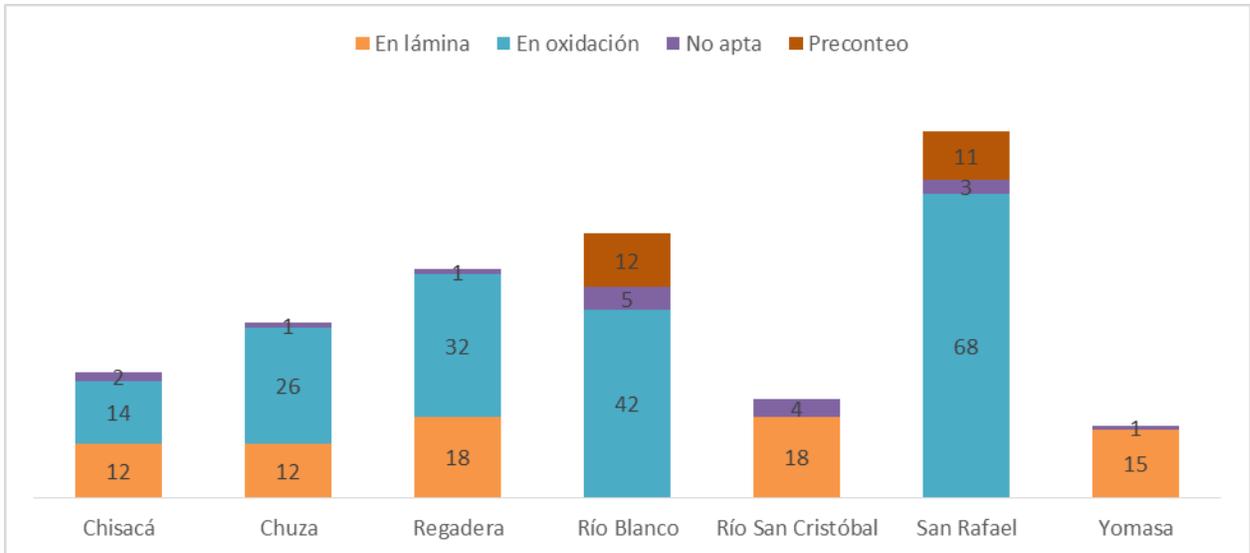


FIGURA 9. ESTADO DE MUESTRAS PROCESADAS

2.4. NÚMERO DE MUESTRAS EN DETERMINACION TAXÓNOMICA

Durante el periodo del Primer Producto correspondiente de junio a octubre de 2021, se han realizado 4 envíos de láminas para análisis de determinación taxonómica por parte de la Bióloga Maria Isabel Ospina los cuales se han hecho de la siguiente manera:

- 17 de agosto de 2021 envío de 16 muestras
- Entre el 10 y 16 de septiembre de 2021 se enviaron 22 muestras
- El 8 de octubre de 2021 se enviaron 22 muestras para un total de 60 muestras de los sistemas Chisacá, Chuza, Regadera, Río San Cristóbal y Yomasa (**Tabla 6**).

De las 60 muestras en montaje, actualmente se cuentan con un total de 122 láminas ya que se están montando por duplicado y en algunos casos triplicados de acuerdo a las condiciones de la muestras con el propósito de tener una mejor calidad de las imágenes al momento de generar el producto final.

TABLA 6. NÚMERO DE MUESTRAS ENVIADAS A LA FECHA

ZONA	MUESTRAS ENVIADAS
------	-------------------

Chisacá	12
Chuza	1
Regadera	14
Río San Cristóbal	18
Yomasa	15
Total general	60

3. REVISIÓN DE LAS MUESTRAS DEL INVENTARIO HISTÓRICO

3.1. ANÁLISIS DE MUESTRAS ANALIZADAS A LA FECHA

Hasta la fecha se tiene un total de 31 muestras analizadas, con sus respectivos conteos, morfometría y fotografías asociadas. Para el Sistema El Delirio, las muestras de Decantadores San Cristóbal y Quebrada La Osa ya fueron revisadas en su totalidad, lo cual corresponde a 11 muestras de diatomeas. En lo referente a Intersección Upatá-Palo Blanco se han revisado 7 muestras, y sólo falta una muestra para finalizar dicho sistema. Para el Sistema Sur, se han revisado algunas muestras de Descarga de Fondo, Río Mugroso, Río Chisacá y Río Curubital, lo cual corresponde a 13 muestras de diatomeas (**Tabla 7**).

TABLA 7. RELACIÓN DE MUESTRAS CONTADAS A LA FECHA

SISTEMA	RÍO	MUESTRA	ESTADO	OBSERVACIONES
El Delirio	Decantadores San Cristobal	20183701/20211957/20212063	Contada	Todas las muestras contadas
El Delirio	Quebrada La Osa	2019186*/ 2018855/ 2019255/ 2020175/ 20153312/ 20181387/ 20183700/ 20192745	Contada	Todas las muestras contadas Muestra muy diversa.

El Delirio	Intersección Upatá –Palo Blanco	2019185/ 2020174/ 20153311/ 20181042/ 20181907/ 20182093/ 20183699	Contada	20153311 por contar 20181042 muy baja densidad
Sur	Descarga de Fondo	20102777, 20153145, 201980	Contada	20153145 por contar
Sur	Río Mugroso	20211950	Contada	
Sur	Río Chisacá	20102996, 20211951	Contadas	
Sur	Río Curubital	2016199, 2020253, 20102998, 20152813, 20153144, 20211953, 20103143	Contadas	

La organización de toda la información correspondiente a conteos, morfometría y fotografías están organizadas de acuerdo con lo estipulado en el Plan de Calidad versión 2, siguiendo la estructura presentada en la **Figura 10**.

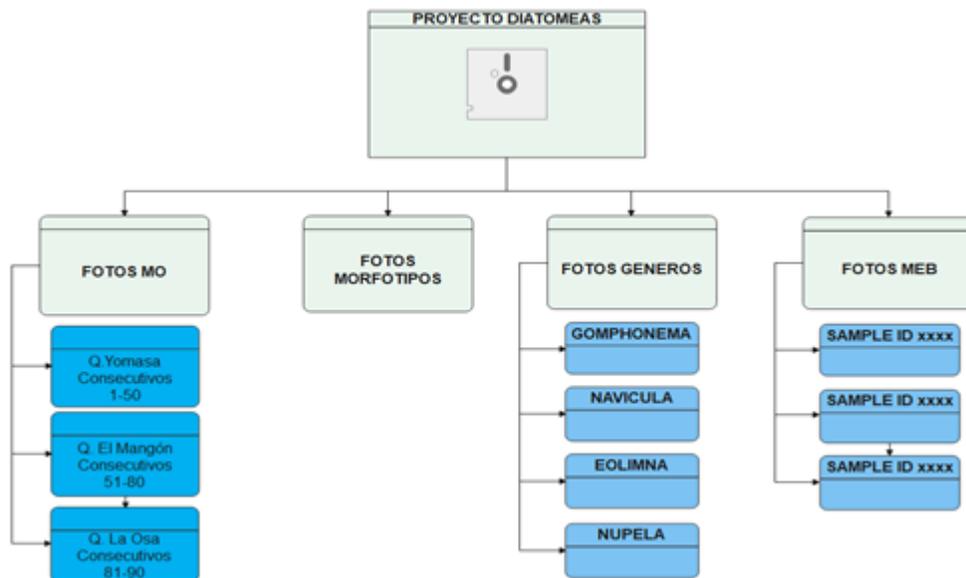


FIGURA 10. MANEJO DE LOS ARCHIVOS DE IMÁGENES EN EL PROYECTO

3.2. DATOS MORFOMÉTRICOS Y FOTOGRAFÍAS

El listado de morfometría de todos los morfotipos contados e identificados comprende una lista de 12 columnas * 425 filas, razón por la cual no es anexada en el presente informe pero se incluye la ruta de acceso para su consulta.

Toda la información relacionada de los conteos y morfometría se encuentra disponible en la siguiente ruta
<https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1UWmUhON9RRZRSNM4KVwb-3FGzMSITwmJ>

Las fotografías relacionadas por muestras (Fotos MO) se encuentra en la siguiente ruta:
<https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1vrzJ9bNTpu4NHZlhNgnwZGYHdBO2N3Hu>

Las fotografías de las especies identificadas se encuentran en la siguiente ruta:
<https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1JvnjPBjDkx0P-o0RJrfKvZxA21zGQnXu>

3.3. LISTADO DE ESPECIES Y CONTEOS

A la fecha se han identificado 112 especies, distribuidas en 12 órdenes, 19 familias y 34 géneros (**Tabla 8**). Los géneros con mayor número de especies corresponden a Eunotia con 19 especies, seguido de Gomphonema y Navicula con 12 y 11 especies, seguido de Nitzschia (9 especies) y Pinnularia (8 especies) (**Figura 11**). En la **Tabla 9** se presenta el listado total de especies.

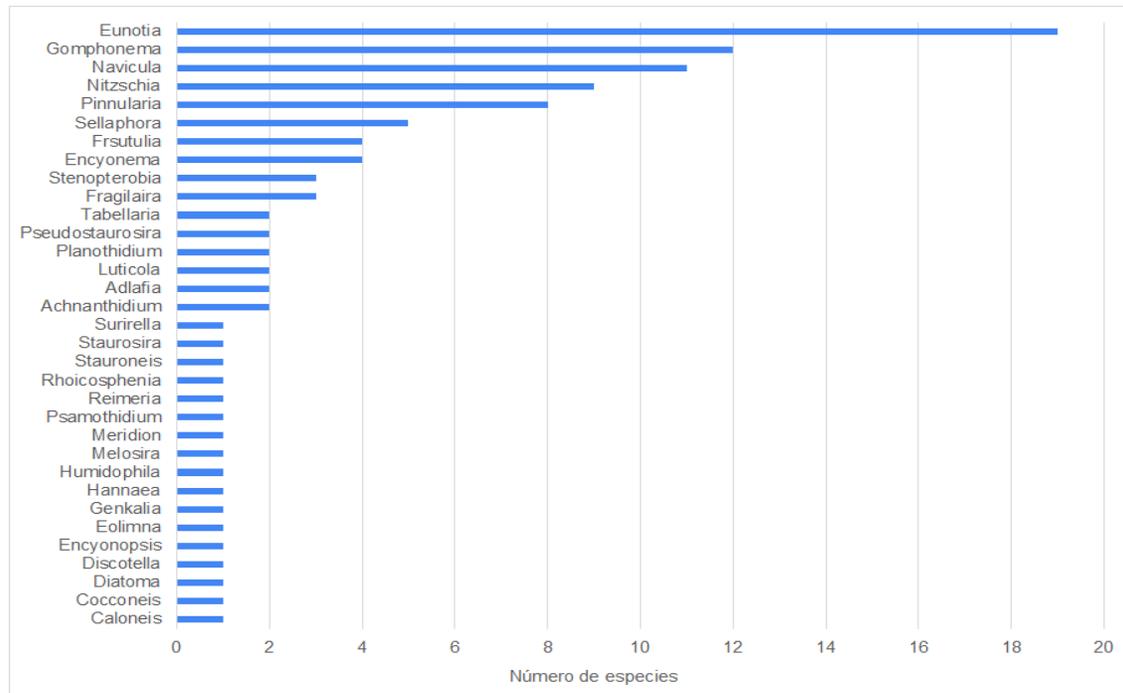


FIGURA 11. NÚMERO DE ESPECIES POR GÉNERO REGISTRADAS A LA FECHA

TABLA 8. LISTADO DE ESPECIES IDENTIFICADAS A LA FECHA EN 30 MUESTRAS ANALIZADAS A LA FECHA DE LOS SISTEMAS EL DELIRIO Y SISTEMA SUR.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE
Bacillariophyceae	Achnanthales	Achnanthaceae	Achnanthydium	<i>Achnanthydium minutissimum</i>
				<i>Achnanthydium cf eutrophilum</i>
			Psammothidium	<i>Psammothidium subatomoides</i>
		Achnanthidiaceae	Planothidium	<i>Planothidium cf rostratum</i>
				<i>Planothidium lanceolatum</i>

			Psammothidium	<i>Psammothidium subatomoides</i>
		Cocconeidaceae	Cocconeis	<i>Cocconeis placentula</i>
Bacillariales	Bacillariaceae	Nitzschia		<i>Nitzschia aff gracilis</i>
				<i>Nitzschia cf intermedia</i>
				<i>Nitzschia cf. recta</i>
				<i>Nitzschia gracilis 2</i>
				<i>Nitzschia paela var debilis</i>
				<i>Nitzschia palea</i>
				<i>Nitzschia recta</i>
				<i>Nitzschia sp. 1</i>
				<i>Nitzschia sp.2</i>
			Cocconeidales	Achnanthidiaceae
	<i>Planothidium lanceolatum</i>			
	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>			
Cymbellales	Cymbellaceae	Encyonema	<i>Encyonema silesiacum</i>	
		Encyonopsis	<i>Encyonopsis cf difficilis</i>	
	Gomphonemataceae	Encyonema		<i>Encyonema minutum</i>
				<i>Encyonema neogracile</i>
				<i>Encyonema silesiacum</i>
				<i>Encyonema venezolanum</i>
		Gomphonema		<i>Gomphonema acuminatum</i>
				<i>Gomphonema aff affine var rhombicum</i>
				<i>Gomphonema cf subclavatum</i>
				<i>Gomphonema cf. aequirostrum</i>
				<i>Gomphonema cf. gracile</i>
				<i>Gomphonema cf. subclavatum</i>
				<i>Gomphonema lagenula</i>
				<i>Gomphonema minutum</i>
				<i>Gomphonema parvulum</i>
	<i>Gomphonema pumilum</i>			

				<i>Gomphonema sp.1 aff paludosum</i>
				<i>Gomphonema sp.2</i>
			Reimeria	<i>Reimeria sinuata</i>
			Rhoicospheniaceae	Rhoicosphenia
Eunotiales	Eunotiaceae	Eunotia		<i>Eunotia aff incisa</i>
				<i>Eunotia aff trigibba</i>
				<i>Eunotia cf exigua</i>
				<i>Eunotia cf hirudo</i>
				<i>Eunotia cf metamonodon</i>
				<i>Eunotia cf minor</i>
				<i>Eunotia cf muscicola var tridenta</i>
				<i>Eunotia cf pseudosudetica</i>
				<i>Eunotia cf salamancensis</i>
				<i>Eunotia cf tridentula</i>
				<i>Eunotia cf xystriformis</i>
				<i>Eunotia cf. exigua</i>
				<i>Eunotia cf. muscicola var tridenta</i>
				<i>Eunotia cf. nymanniana</i>
				<i>Eunotia cf. parasiolii</i>
				<i>Eunotia cf. tridentula</i>
				<i>Eunotia muscicola var tridenta</i>
				<i>Eunotia parasiolii</i>
	<i>Eunotia sp.3</i>			
	<i>Eunotia sp.4</i>			

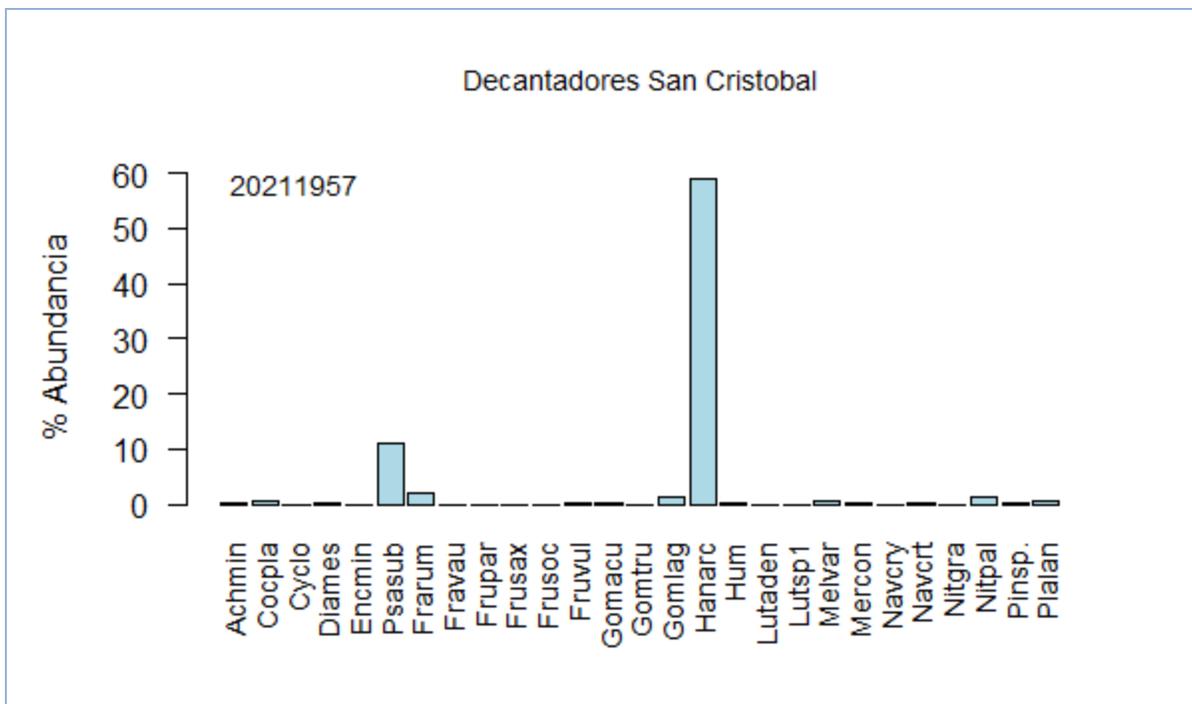
TABLA 9. CONTINUACIÓN. LISTADO DE ESPECIES IDENTIFICADAS A LA FECHA EN 30 MUESTRAS ANALIZADAS A LA FECHA DE LOS SISTEMAS EL DELIRIO Y SISTEMA SUR.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE
Bacillariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	Diatoma	<i>Diatoma mesodon</i>
			Fragilaria	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>rumpens</i>
				<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i>
				<i>Fragilaria crotonensis</i>
			Hannaea	<i>Hannaea arcus</i>
			Meridion	<i>Meridion circulare</i> var. <i>constrictum</i>
			Pseudostaurosira	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>
				<i>Pseudostaurosira</i> sp.1
	Staurosira	<i>Staurosira</i> sp.1		
	Melosirales	Melosiraceae	Melosira	<i>Melosira varians</i>
	Naviculales	Amphipleuraceae	Frustulia	<i>Frustulia</i> aff. <i>pararhomboides</i>
				<i>Frustulia</i> aff. <i>saxonica</i>
				<i>Frustulia</i> cf. <i>crassinervia</i>
				<i>Frustulia vulgaris</i>
		Diadesmidaceae	Humidophila	<i>Humidophila contenta</i>
			Luticola	<i>Luticola</i> sp.1 aff. <i>deniseae</i> Wetzel
				<i>Luticola</i> sp.5
		Naviculaceae	Adlafia	<i>Adlafia</i> sp. 2
				<i>Adlafia</i> sp.1
			Caloneis	<i>Caloneis bacillum</i>
			Eolimna	cf. <i>Eolimna minima</i>
			Genkalia	<i>Genkalia</i> sp.
			Navicula	<i>Navicula</i> aff. <i>cryptotenella</i>
<i>Navicula</i> aff. <i>tripunctata</i>				
<i>Navicula</i> aff. <i>angusta</i>				
<i>Navicula capitatoradiata</i>				
	<i>Navicula</i> cf. <i>heimansioides</i>			

				<i>Navicula cf. cryptotenella</i>
				<i>Navicula cryptocephala</i>
				<i>Navicula longicephala</i>
				<i>Navicula notha</i>
				<i>Navicula sp.1</i>
				<i>Navicula sp.2</i>
				<i>Navicula cf. notha</i>
		Pinnulariaceae	Pinnularia	<i>Pinnularia cf. microstauron</i>
				<i>Pinnularia cf. microstauron var brasiliensis</i>
				<i>Pinnularia cf. pisciculus</i>
				<i>Pinnularia sp.1</i>
				<i>Pinnularia sp.2</i>
				<i>Pinnularia sp.4</i>
				<i>Pinnularia sp.5</i>
				<i>Pinnularia sp.6</i>
		Sellaphoraceae	Sellaphora	<i>Sellaphora cf. saugerresii</i>
				<i>Sellaphora cf. atomoides</i>
				<i>Sellaphora cf. seminulum</i>
				<i>Sellaphora cf. aggerica</i>
				<i>Sellaphora sp.2</i>
		Stauroneidaceae	Stauroneis	<i>Stauroneis sp.1</i>
	Surirellales	Surirellaceae	Stenopterobia	<i>Stenopterobia aff. delicatissima</i>
				<i>Stenopterobia cf. pseudodelicatissima</i>
			Surirella	<i>Surirella cf. angusta</i>
	Tabellariales	Tabellariaceae	Tabellaria	<i>Tabellaria flocculosa</i>
	Thalassiosira les	Stephanodiscaceae	Discotella	<i>Discotella stelligera</i>

A continuación, se presentan los gráficos de abundancia por especie de las muestras del Sistema El Delirio que a la fecha están completadas.

Un total de 27 especies fueron registradas en las muestras de Decantadores San Cristóbal. En dos de las tres muestras *Hannaeae arcus* fue la especie más abundante, mientras que en la muestra Decantadores San Cristóbal 2021 en el muestreo de marzo fue *Psammothidium subatomoides*, especie de muy pequeño tamaño y con amplio rango morfométrico. En todas las muestras dichas especies son codominantes, junto con otras especies que varían de acuerdo con la temporalidad como *Fragilaria capucina var rumpens* y *Melosira varians*, cuyas abundancias relativas superan el 10% del total (**Figura 12**).



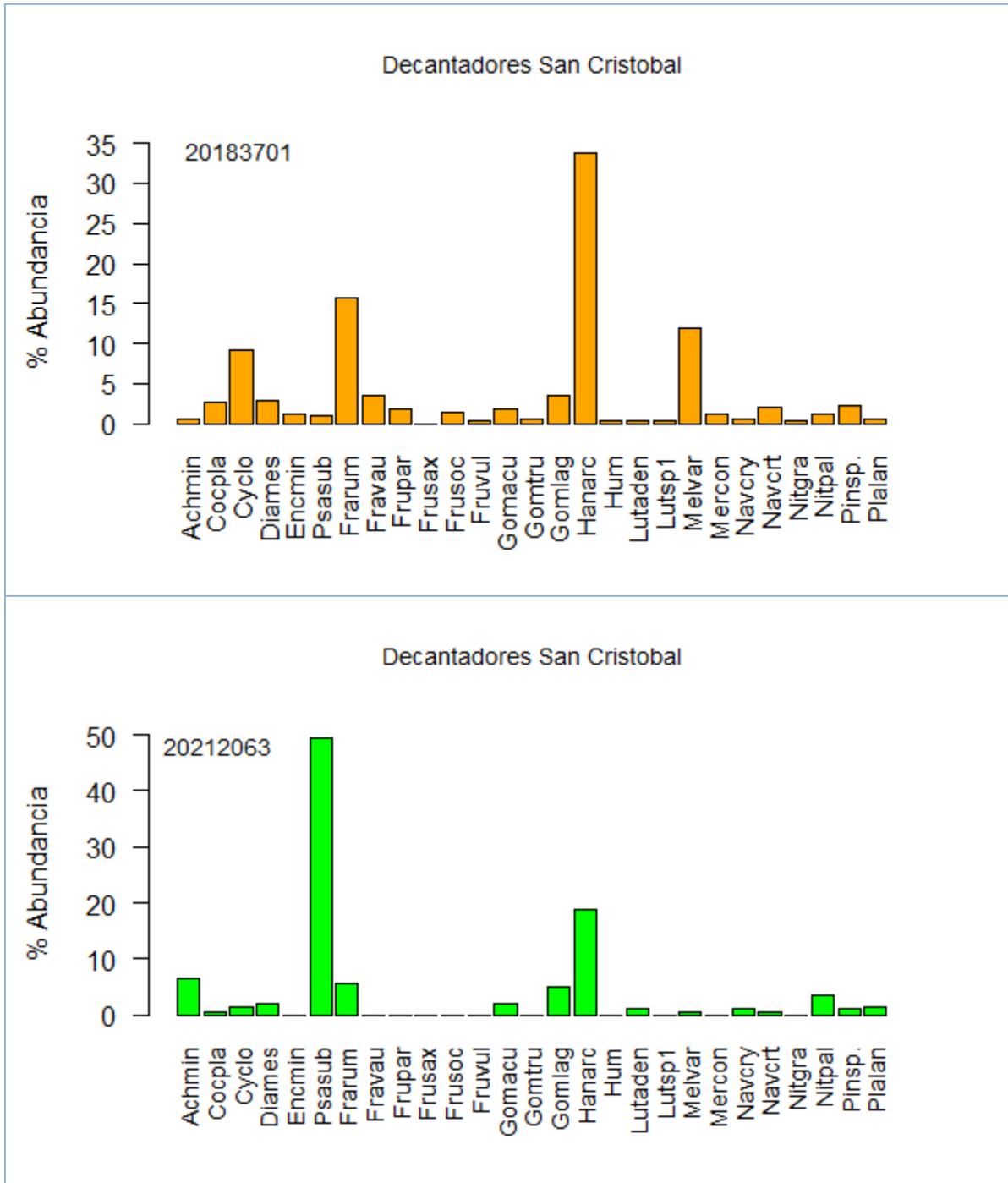


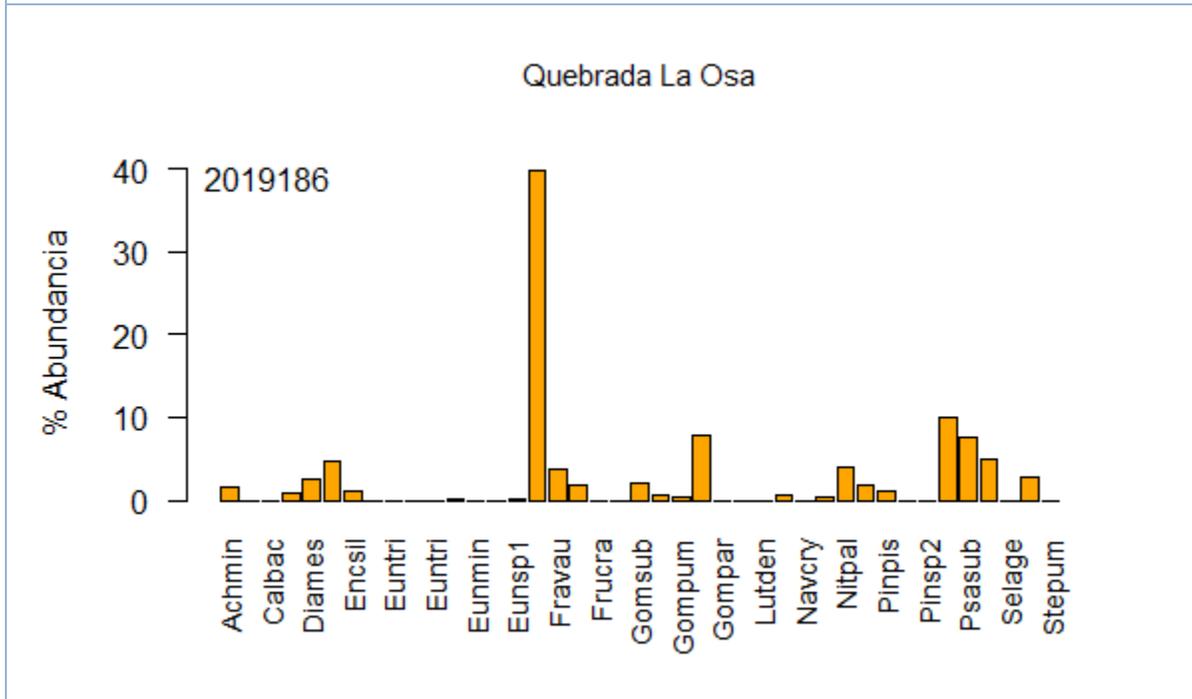
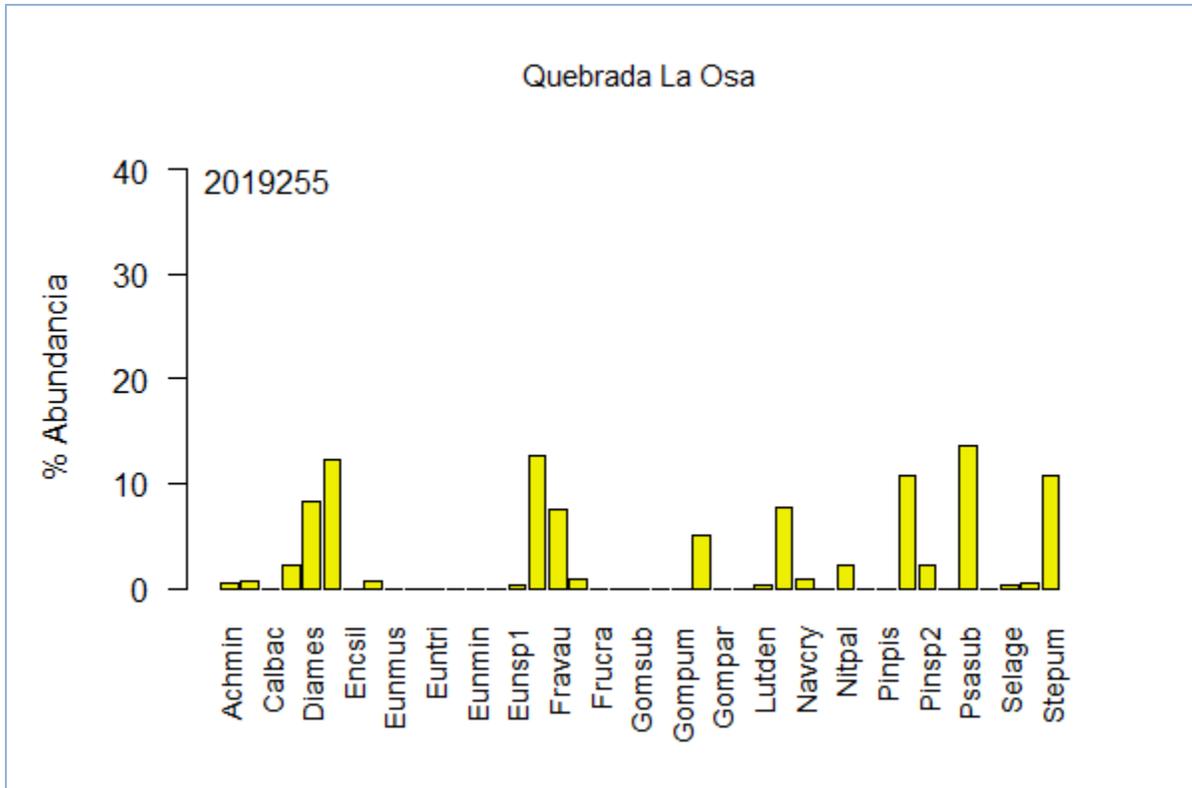
FIGURA 12. ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES DE DIATOMEAS REGISTRADAS EN LAS MUESTRAS DE DECANTADORES SAN CRISTÓBAL

TABLA 10. LISTADO DE ESPECIES DE DIATOMEAS REGISTRADAS EN DECANTADORES SAN CRISTÓBAL CON SUS RESPECTIVOS ACRÓNIMOS (SP ID)

Espece	Sp ID
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	Achmin
<i>Cocconeis placentula</i>	Cocpla
<i>Cyclotella sp</i>	Cyclo
<i>Diatoma mesodon</i>	Diames
<i>Encyonema minutum</i>	Encmin
<i>Psammothidium subatomoides</i>	Psasub
<i>Fragilaria capucina var. rumpens</i>	Frarum
<i>Fragilaria capucina var. vaucheriae</i>	Fravau
<i>Frustulia aff pararhomboides</i>	Frupar
<i>Frustulia aff saxonica</i>	Frusax
<i>Frustulia cf. socia</i>	Frusoc
<i>Frustulia vulgaris</i>	Fruvul
<i>Gomphonema acuminatum</i>	Gomacu
<i>Gomphonema cf. truncatum</i>	Gomtru
<i>Gomphonema lagenula</i>	Gomlag
<i>Hannaea arcus</i>	Hanarc
<i>Humidophila sp</i>	Hum
<i>Luticola aff deniseae</i>	Lutaden
<i>Luticola sp.1 aff deniseae</i>	Lutsp1
<i>Melosira varians</i>	Melvar
<i>Meridion circulare var constrictum</i>	Mercon
<i>Navicula aff cryptotenella</i>	Navcry
<i>Navicula cryptocephala</i>	Navcrt
<i>Nitzschia aff gracilis</i>	Nitgra
<i>Nitzschia palea</i>	Nitpal
<i>Pinnularia sp.1</i>	Pinsp.
<i>Planothidium lanceolatum</i>	Plalan

Las muestras de la quebrada La Osa fueron más diversas, con 41 especies en total. *Fragilaria capucina var rumpens* y *Psammothidium subatomoides* fueron las más abundantes, esta última altamente dominante en la muestra Qda. La Osa 2019 en el muestreo de diciembre la abundancia es superior al 80% del total.

Se destaca la muestra Qda. La Osa 2019 en el muestreo de febrero por presentar varias especies codominantes, todas con abundancias similares superiores al 10%, las cuales corresponden a *Encyonema minutum*, *Pinularia sp.1*, *Stenopterobia aff. pumila*, *Fragilaria capucina var rumpens* y *Psammothidium subatomoides*.



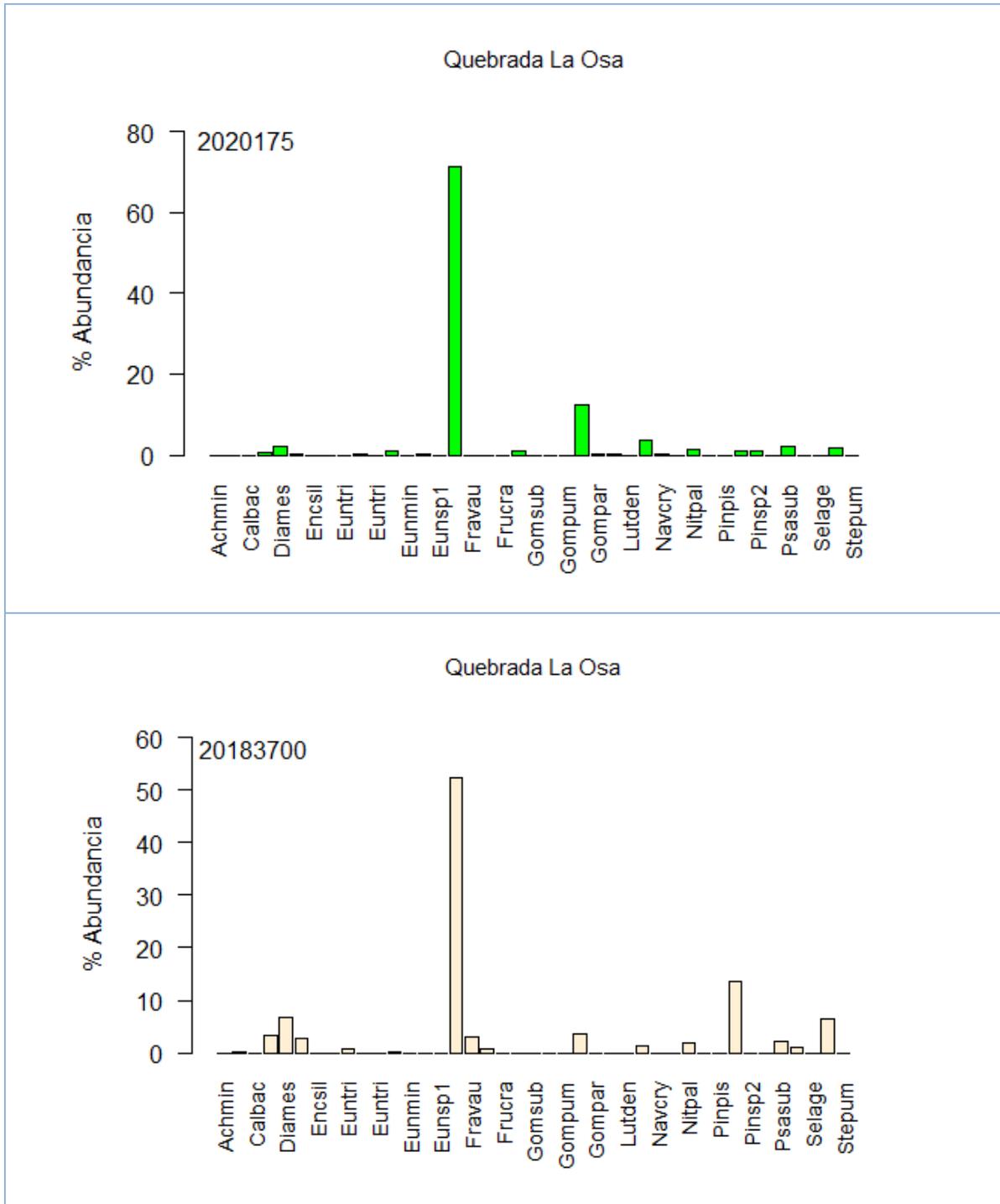


FIGURA 13. ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES DE DIATOMEAS REGISTRADAS EN LAS MUESTRAS DE LA QUEBRADA LA OSA.

TABLA 11. LISTADO DE ESPECIES DE DIATOMEAS REGISTRADAS EN MUESTRAS DE LA QUEBRADA LA OSA CON SUS RESPECTIVOS ACRÓNIMOS (SP ID)

Especie	Spld	Especie	Spld
<i>Achnanthis minutissimum</i>	Achmin	<i>Gomphonema cf. subclavatum</i>	Gomsub
<i>Adlafia sp.</i>	Adlsp	<i>Gomphonema cf. gracile</i>	Gomgra
<i>Caloneis cf. bacillum</i>	Calbac	<i>Gomphonema cf. pumilum</i>	Gompum
<i>Cocconeis placentula</i>	Cocpla	<i>Gomphonema lagenula</i>	Gomlag
<i>Diatoma mesodon</i>	Diames	<i>Gomphonema parvulum</i>	Gompar
<i>Encyonema minutum</i>	Encmin	<i>Humidophila contenta</i>	Humcon
<i>Encyonema silesiacum</i>	Encsil	<i>Luticola aff. deniseae Wetzel</i>	Lutden
<i>Eunotia cf. minor</i>	Eunmin	<i>Meridion circulare var. constrictum</i>	Mercon
<i>Eunotia cf. muscicola var. tridentata</i>	Eunmus	<i>Navicula aff. cryptotenella</i>	Navcry
<i>Eunotia cf. pseudosudetica</i>	Eunpse	<i>Navicula cryptocephala</i>	Navcry
<i>Eunotia cf. tridentata</i>	Euntri	<i>Nitzschia palea</i>	Nitpal
<i>Eunotia cf. exigua</i>	Eunexi	<i>Nitzschia recta</i>	Nitrec
<i>Eunotia cf. minor</i>	Eunmin	<i>Pinnularia cf. pisciculus</i>	Pinpis
<i>Eunotia parasioli</i>	Eunpar	<i>Pinnularia sp. 1</i>	Pinsp1
<i>Eunotia sp. 1</i>	Eunsp1	<i>Pinnularia sp. 2</i>	Pinsp2
<i>Fragilaria capucina var. rumpens</i>	Frarum	<i>Psammothidium subatomoides</i>	Psasub
<i>Fragilaria capucina var. vaucheriae</i>	Fravau	<i>Pseudostaurosira sp.1</i>	Pseps1
<i>Frustulia aff. saxonica</i>	Frusax	<i>Sellaphora cf. aggerica</i>	Selage
<i>Frustulia cf. crassinervia</i>	Frucra	<i>Stenopterobia aff. delicatissima</i>	Stedel
<i>Frustulia vulgaris</i>	Fruvul	<i>Stenopterobia sp. 1 aff. pumila</i>	Stepum

4. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DEL SEGUIMIENTO LIMNOLÓGICO DE LA EAAB-ESP

ANÁLISIS DE LAS VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS, BACTERIOLÓGICAS, HIDROBIOLÓGICAS, HIDROLÓGICAS, ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA Y MULTIVARIADA, MOVIMIENTOS OPERATIVOS, CÁLCULO DE ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA, PUNTOS DE MONITOREO CON COORDENADAS, RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO.

El seguimiento limnológico de la EAAB-ESP tiene como objetivo caracterizar a los cuerpos de agua que surten y a las cuencas respectivas, mediante el seguimiento de variables físico químico y biológico. Para llevar esto a cabo, se pretende abordar puntos ya establecidos con el fin de revisar cambios, definir tendencias o puntualizar aspectos que requieran atención inmediata.

En este sentido, el mes de junio se llevó a cabo el monitoreo en el sistema Chuza (Quebrada Leticia, Quebrada Babilonia, R. Guatiquía aguas abajo y R. Chuza-Golillas), sistema Río Blanco (Quebrada Plumaraña Blanca aguas arriba y abajo, Quebrada Barro-Plumaraña aguas arriba y abajo, Quebrada El Mangón aguas arriba y abajo, Quebrada Chocotalal aguas arriba, Quebrada Charrascales aguas arriba, Quebrada Peñas Blancas aguas arriba y abajo, Quebrada Cortadera aguas arriba, Quebrada Buitrago arriba y abajo, Quebrada Piedras Gordas arriba y abajo,

Quebrada Horqueta I Arriba, II Arriba y aguas abajo), Río Teusacá (Nacimiento, Puente Francis, Entrada La Calera, La Cabaña), sistema Chisacá (Río Mugroso y Río Chisacá), sistema La Regadera (Río Curubital, Río Chisacá-Regadera y Río Tunjuelo), Quebrada Yomasa aguas arriba y abajo y sistema El Delirio (Decantadores). Adicionalmente, se hizo seguimiento al Sistema Tibitoc (Río Bogotá antes y después del sisga, después de Tominé y Puente Botero, Bocatoma Norte y Después de Dársena, Aposentos) y en Chuza al Río Guatiquía aguas arriba solamente parámetros físico químicos, los embalses no se monitorearon.

El componente hidrobiológico (algas del perifiton y macroinvertebrados) fue analizado en el laboratorio de Biología de la EAAB-ESP, obteniendo resultados que se utilizaron para generar este informe. A partir de las densidades obtenidas, se realizó la descripción de cada comunidad por punto de monitoreo y los índices métricos en el caso de las algas y posteriormente, por medio de estadística (Análisis de Correspondencia Canónica) se observaron diferentes relaciones de las especies con las variables físico químicas. En general, las comunidades estuvieron representadas por géneros con un amplio rango de tolerancia a cambios ambientales tanto en la comunidad algal del perifiton como en la de macroinvertebrados.

Los índices métricos mostraron que en el sistema Chisacá el Río Mugroso siguió con la tendencia de mayor turbiedad y sólidos, en el sistema La Regadera El Río Tunjuelo indicó estar en un estado intermedio, siendo los demás puntos de Buena calidad y en Quebrada Yomasa y Decantadores todos los puntos indicaron condiciones de Buena calidad del agua.

5. SEGUIMIENTO Y GESTIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES [INCLUYE LA GESTIÓN DE RESIDUOS], DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO, DE BIOSEGURIDAD Y DE SST

5.1. PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL Y DE RESIDUOS

La Compañía CPA INGENIERIA S.A.S en cumplimiento de su Política HSEQ, así como de los requisitos legales ambientales que le aplican, ha identificado el tipo de residuo que se genera durante las diferentes actividades realizadas en el laboratorio, para su respectivo manejo y disposición final.

En la **Tabla 12** se presenta la clasificación de los residuos peligrosos generados como son:

- Y34 – Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida.
- Y42 – Disolventes orgánicos con exclusión de disolventes halogenados.

Esta clasificación corresponde a lo establecido en el DECRETO NÚMERO 4741 del 30 de Diciembre de 2005.

TABLA 12. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

PROCESO O ACTIVIDAD	RESIDUO	TIPO DE RESIDUOS DE ACUERDO CON LA CORRIENTE	PELIGROSIDAD	DISPOSICION FINAL
Preparación de muestras: lavado de las diatomeas preservadas con formaldehido	Agua desionizada con formol	Y42 Disolventes orgánicos, con exclusión de disolventes halogenados	TOXICO H301+H311+H331 Tóxico en caso de ingestión, contacto con la piel o inhalación H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves H317 Puede provocar una reacción alérgica en la piel H335 Puede irritar las vías respiratorias H341 Se sospecha que provoca defectos genéticos H350 Puede provocar cáncer H370 Provoca daños en los órganos (ojo)	Transporte DESCONT y disposición final TECNIAMSA
Digestión de materia orgánica : se realiza digestión de las muestras utilizando peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	Agua de lavado con peróxido de hidrogeno	A4120 Desechos que contienen, consisten o están contaminados con peróxidos	OXIDANTE H314-Causa severas quemaduras en piel y daños en los ojos. H302-Nocivo por ingestión. H332-Nocivo por inhalación. H335-Puede irritar las vías respiratorias. H272-Puede intensificar un incendio; es oxidante.	Transporte DESCONT y disposición final TECNIAMSA
Digestión de materia orgánica : se realiza digestión de las muestras utilizando HNO ₃ y HCl	Agua de lavado con HCl y HNO ₃	Y34 Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida	CORROSIVO H290 Puede ser corrosivo para los metales. H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. H335 Puede irritar las vías respiratorias	Transporte DESCONT y disposición final TECNIAMSA
	Material impregnado de reactivos (HCl; HNO ₃ , NAPHRAX, TOLU ENO): guantes de	A4130 Envases y contenedores de desechos que contienen sustancias	OXIDANTE CORROSIVO TÓXICO	Transporte DESCONT y disposición final TECNIAMSA

	nitrito, toallas absorbentes, envases de reactivos vacíos	incluidas en el anexo I	
--	---	-------------------------	--

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

▪ **Almacenamiento temporal de residuo peligroso (RESPEL)**

Los residuos generados durante los procesos de preparación de muestras y digestión de las diatomeas, se almacenan temporalmente en un bidón, el cual será entregado al gestor DESCONT, una vez se haya superado el 80% de su capacidad, estos recipientes tiene una capacidad máxima de 20 litros cada uno (**Fotografía 1**).



FOTOGRAFÍA 1. ALMACENAN TEMPORALMENTE (BIDÓN)

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

Los bidones son almacenados de manera temporal en la zona de acopio de residuos peligrosos de la Compañía (**Fotografía 2**), la cual tiene una capacidad para 4 bidones, (80 Litros) hasta que son recogidos por el gestor seleccionado, el cual es DESCONT.

Con respecto a los residuos identificados como son: A4130 y A4120 a la fecha no se han generado.



FOTOGRAFÍA 2. ZONA DE ACOPIO DE RESIDUOS PELIGROSOS

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

Los residuos generados durante las actividades del laboratorio son registrados en el formato LF32 CONTROL DE RESIDUOS GENERADOS POR EL LABORATORIO (**Fotografía 3**).

CPA INGENIERÍA S.A.S COMUNIDAD DE PROFESORES AMBIENTALES E INGENIEROS		CONTROL DE RESIDUOS GENERADOS POR EL LABORATORIO						CÓDIGO: LF32 Versión: 2
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL								
MES DE GENERACIÓN: Septiembre - Octubre								
EMPRESA ESPECIALIZADA: DESCONT								
FECHA DE MEDICIÓN	VOLUMEN DE RESIDUO (ml)							
	A4130 CORTOPUN ZANTES	A4130 SOLIDOS PELIGROSOS	Y34 LÍQUIDOS	Y42 LÍQUIDOS	Y45 LÍQUIDOS	Y24 LÍQUIDOS	Y29 LÍQUIDOS	CANTIDAD EN MILILITROS
17/09/21			500					500
20/09/21			150					150
23/09/21			950 + 300	400				1350
30/09/21			300					300
05/10/21				600				600
08/10/21			300					300
20/10/21			400	350				750
TOTAL DE RESIDUOS GENERADOS (ml)								
OBSERVACIONES:						FIRMA:		

FOTOGRAFÍA 3. FORMATO LF32 CONTROL DE RESIDUOS GENERADOS POR EL LABORATORIO

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

En la **Figura 14** se presentan los valores de manera semanal de los residuos generados por tipo de corriente, de los cuales se tiene un total al mes de octubre/2021 de 4700 ml de residuo Y34 – Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida y 850 ml del residuo Y42 – Disolventes orgánicos con exclusión de disolventes halogenados.

La semana del 23/09/2021 reporta una mayor disposición del residuo Y34 con 1150 ml, igualmente que la del 10/09/2021 con 1100 ml, con respecto al residuo Y42 reporta mayor cantidad la semana del 05/10/2021 con 600 ml. Esto se debe al aumento de la actividad de preparación de muestras y digestión en estos periodos.

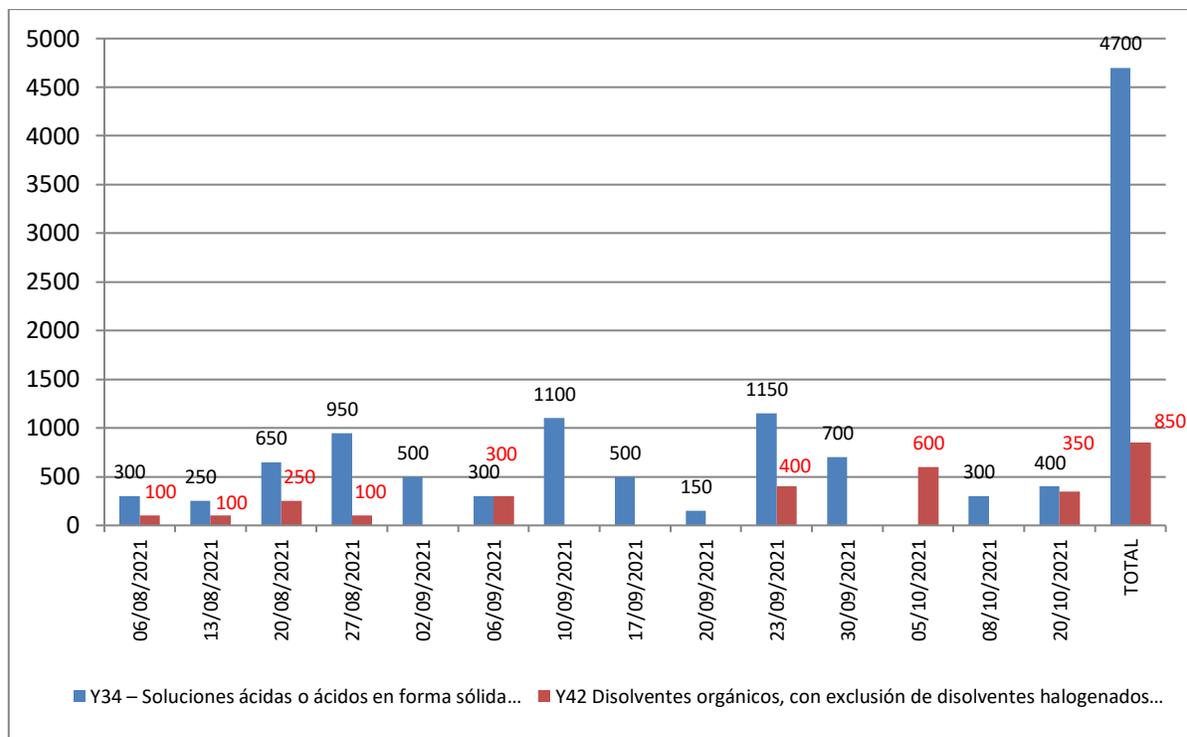


FIGURA 14. GENERACIÓN DE RESIDUO PELIGROSO (RESPEL) POR TIPO DE CORRIENTE (ML)

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

Como anteriormente se mencionó la capacidad de los bidones es de 80 litros, actualmente los residuos generados corresponden a 9.450 ml lo que representa un uso de la capacidad máxima del 11.8% (**Figura 15**). Debido a esto a la fecha no se ha dispuesto residuos con el gestor seleccionado.

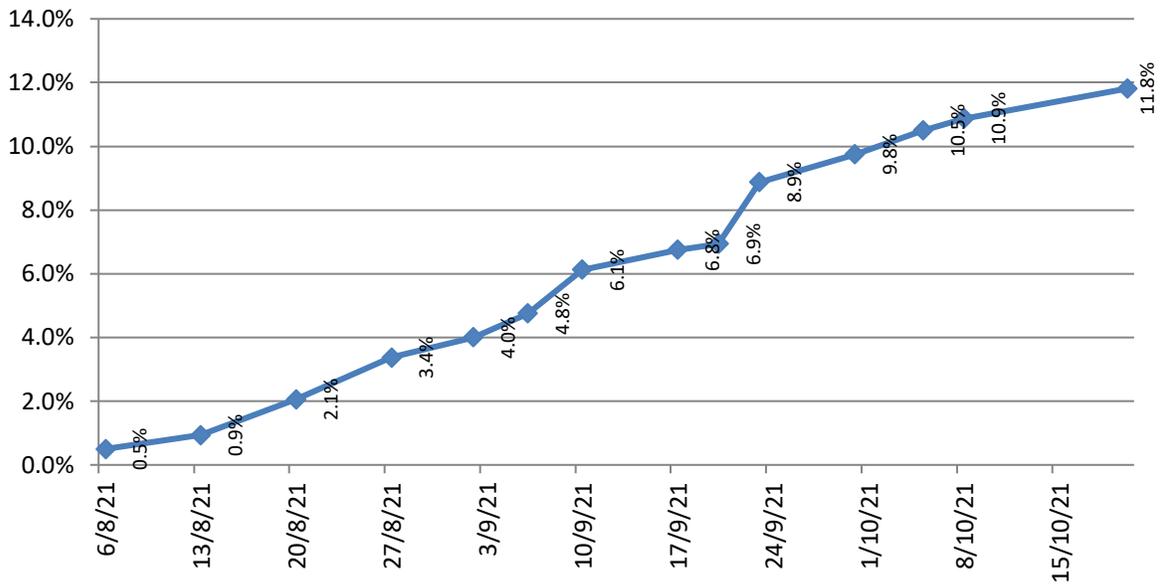


FIGURA 15. % OCUPACIÓN DE CAPACIDAD DE RESIDUO PELIGROSO (RESPEL)

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

5.2. PLAN DE TRABAJO SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

Las actividades desarrolladas desde el inicio del proyecto hacen parte de los controles establecidos de acuerdo a los peligros identificados, estas se han venido desarrollando mes a mes con el fin de prevenir los riesgos evaluados. El principal peligro identificado es el químico y el osteomuscular de tal forma que las actividades planteadas se encuentran orientadas a la prevención de estos.

5.2.1. MES 1

Se da inicio a las actividades del contrato y a las actividades de Seguridad y Salud en el trabajo asegurando la documentación de afiliaciones a seguridad social y realizando afiliaciones a riesgos laborales de los profesionales que harán parte del mismo.

Igualmente, se llevan a cabo actividades como:

- Inducción del personal, durante la cual se realiza la socialización de las políticas.
- Entrega de los elementos de protección personal a la Bióloga, quien es la profesional que realizará en el laboratorio los procesos de pre-conteo, digestión de las muestras y fijación para revisión y fotografía. SST/ANEXO SSTA MES 1 y Fotografía 4.
- Capacitación del personal en cuanto a residuos peligrosos (RESPEL) y Campaña de Prevención y cuidado de enfermedades respiratorias, COVID-19.



FOTOGRAFÍA 4. USO DE EPP'S DURANTE LAS ACTIVIDADES DEL LABORATORIO

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

5.2.2. MES 2

Durante el segundo mes de ejecución se lleva a cabo las siguientes actividades:

Adecuación del puesto de trabajo para la Bióloga, en el cual se instala el microscopio, horno y la centrifuga en el área de lavado de material de vidrio. **(Fotografía 5)**



FOTOGRAFÍA 5. ADECUACIÓN ÁREA DE TRABAJO

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

Seguimiento a las afiliaciones de seguridad social y riesgos laborales. Los soportes se presentan en la carpeta SST / ANEXO SSTA MES 2/ANEXO 1 PERSONAL DE PROYECTO.

Se realiza la compra de los reactivos que aplican para el proyecto asegurando que cumplan con la identificación del Sistema Globalmente Armonizado (SGA). Las fichas de seguridad correspondientes se presentan en la carpeta SST / ANEXO SSTA MES 2/ANEXO 2 PRODUCTOS QUÍMICOS y Tabla 14.

Teniendo en cuenta lo anterior dentro de Sistema de Gestión del proyecto se lleva el seguimiento mediante el siguiente indicador: **(Tabla 13)**

TABLA 13. INDICADOR RIESGO QUÍMICO

RIESGO QUÍMICO		
FORMULA DEL INDICADOR	INTERPRETACIÓN	RESULTADO
Productos Químicos identificados de acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado	(No. de productos químicos que cumplen con el rotulado*100 / No. de productos químicos utilizados)	3*100/3=100%

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

TABLA 14. REGISTRO FOTOGRÁFICO PRODUCTOS QUÍMICOS

PERÓXIDO DE HIDRÓGENO 30%	SOLUCIÓN DE ÁCIDO CLORHÍDRICO	NAPHRAX
		

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

Para hacer seguimiento a las condiciones de salud del personal que hace parte del proyecto se implementa una encuesta en la cual los profesionales informan sus condiciones de salud en general y adicional se especifica sintomatología y posibles contactos con personas contagiadas con COVID-19. Los resultados se presentan en el subtítulo **5.7 AUTOREPORTES DE SALUD.**

En cuanto a emergencias se realiza la capacitación sobre CINEMÁTICA DEL TRAUMA y MANEJO DE HERIDAS Y HEMORRAGIAS con el proveedor de ARL COLMENA. Los soportes se presentan en la carpeta SST / ANEXO SSTA MES 2/ANEXO 3 CAPACITACIÓN.

5.2.3. MES 3

Durante el tercer mes de ejecución se continúa con el seguimiento a los pagos de seguridad social y riesgos laborales, los cuales se adjuntan en la carpeta SST / ANEXO SSTA MES 3/ANEXO 1 PERSONAL DE PROYECTO.

En cuanto a los reactivos usados en los procesos del laboratorio estos se almacenan de acuerdo a su compatibilidad asegurando que cumplan con los criterios de identificación y etiquetado definidos por el Sistema Globalmente Armonizado (SGA). Las fichas de seguridad (FDS) correspondientes son socializadas y entregadas a la Bióloga, están igualmente se encuentran almacenadas digitalmente en la carpeta SST / ANEXO SSTA MES 3/ANEXO 2 PRODUCTOS QUÍMICOS.

El personal interno y externo participante en el proyecto continúa diligenciando el formulario de encuesta para el auto reporte de condiciones de salud, desde donde se realiza seguimiento continuo para identificar posibles síntomas presentados asociados al COVID-19, los resultados se presentan en el subtítulo **5.7 AUTOREPORTES DE SALUD.**

De acuerdo al plan de capacitación establecido en la organización se lleva a cabo capacitación en **RIESGOS Y OPORTUNIDADES PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO**, a fin de identificar oportunidades de mejora en la ejecución de los procesos definidos en la compañía. Así mismo se ejecuta capacitación en **RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS** con el apoyo del profesional en psicología delegado por la **ARL COLMENA**. Los soportes se encuentran en la carpeta SST / ANEXO SSTA MES 3 /ANEXO 3 CAPACITACIÓN.

Para garantizar una ventilación natural adecuada en las áreas de trabajo se mantienen las puertas y ventanas abiertas continuamente, garantizando un flujo de aire suficiente evitando la recirculación del mismo. Los soportes se presentan en la carpeta SST / ANEXO SSTA MES 3/ANEXO SSTA MES 3

5.2.4. MES 4

Durante el cuarto mes de ejecución se garantiza que el personal continúe diligenciando el formulario de auto reporte de condiciones de salud a fin de prevenir cualquier foco de contagio entre la población trabajadora. De igual manera la compañía dispone del tiempo necesario para que el personal realice su proceso de vacunación satisfactoriamente.

Respecto al programa de capacitación ejecutado durante el periodo se realiza de manera virtual con apoyo de la ARL Colmena, realizando formación en lo referente a Procedimientos Operativos Normalizados (PON) frente a posibles eventos que involucren sismos y evacuación. Así mismo, con el propósito de mitigar el riesgo psicosocial el personal recibe formación sobre inteligencia emocional con el acompañamiento de un psicólogo especializado.

Para el cumplimiento del Programa de medicina preventiva y del trabajo: se dispone el espacio de tiempo para realizar conjuntamente con todo el personal pausa activa durante 15 minutos en horas de la tarde, la metodología utilizada es a través de un video conferencia delegando semanalmente a un trabajador para liderar la actividad. Los soportes se presentan en la carpeta SST / ANEXO SSTA MES 4.

5.3. ESTADÍSTICAS DE ACCIDENTALIDAD

Durante el periodo evaluado correspondiente al Producto 1 no se presentaron accidentes durante el desarrollo de las actividades del proyecto, tampoco se reportaron enfermedades laborales.

Mediante los siguientes indicadores se evidencia que en los primeros 4 meses de ejecución no se han presentados accidentes. (**Tabla 15**)

TABLA 15. INDICADORES ACCIDENTALIDAD

NOMBRE DEL INDICADOR	FORMULA DEL INDICADOR	INTERPRETACIÓN	M E S 1	M E S 2	M E S 3	M E S 4
Frecuencia de accidentalidad	No. de AT que se presentaron en el mes*100 / N° de trabajadores en el mes	Por cada cien (100) trabajadores que laboraron en el mes, se presentaron X accidentes de trabajo	0	0	0	0
Severidad de accidentalidad	No. de días perdidos o cargados por causa de los casos ATEL reportados durante el periodo + # de días cargados en el mes *100/ # de trabajadores en el mes	Por cada cien (100) trabajadores que laboraron en el mes, se perdieron X días por accidente de trabajo	0	0	0	0
Proporción de accidentes mortales	No. de AT mortales que se presentaron en el mes*100 / N° accidentes que se presentaron en el año	En el año, el X% de accidentes de trabajo fueron mortales	0	0	0	0
Ausentismo por causa medica	# de días de ausencia por incapacidad laboral o común en el mes*100/# de días de trabajo programados en el mes	En el mes se perdió X% de días programados de trabajo por incapacidad médica	0	0	0	0

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

Las encuestas de condiciones de salud reflejan que no se presentó ausentismo por ninguno de estos motivos.

Mediante los siguientes indicadores se evidencia el seguimiento al Programa de Vigilancia Epidemiológica Osteomuscular. (**Tabla 16**)

TABLA 16. INDICADORES PROGRAMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA OSTEOMUSCULAR

NOMBRE DEL INDICADOR		FORMULA DEL INDICADOR	INTERPRETACIÓN	ME S 1	ME S 2	ME S 3	ME S 4
Programa de Vigilancia Epidemiológica Osteomuscular	Prevalencia	(Número de casos nuevos + antiguos / No. De Expuestos) *100.000	Por cada 100.000 trabajadores existen X casos de enfermedad laboral en el periodo Z	0	0	0	0
	Nivel de Incidencia	(Número de casos nuevos en el periodo / Población expuesta en el periodo) /100.000	Por cada 100.000 trabajadores existen X casos nuevos de enfermedad laboral en el periodo Z	0	0	0	0

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

5.4. AFILIACIONES A SEGURIDAD SOCIAL Y RIESGOS LABORALES

La totalidad del personal que participa y que ha participado en el proyecto se encontraba afiliado a servicios de salud y riesgos laborales, de tal forma que en caso de presentarse algún evento se asegura que le sean prestados los correspondientes servicios y la persona no queda desamparada. (Tabla 17)

TABLA 17. INDICADOR AFILIACIONES A SEGURIDAD SOCIAL Y RIESGOS LABORALES

ACTIVIDAD	INTERPRETACIÓN	RESULTADOS EN EL PERIODO
La totalidad del personal que participa en el proyecto se encuentra afiliado a seguridad social y Riesgos Laborales.	(No. de trabajadores afiliados* 100 / N° de trabajadores en el mes)	$10*100/10 = 100\%$

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

5.5. ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN

Las capacitaciones realizadas al personal del proyecto se han realizado de manera virtual, teniendo en cuenta que aún nos encontramos en emergencia sanitaria.

Estas se han orientado a la prevención y el control de los riesgos evaluados para el proyecto, abarcando las diferentes áreas como son emergencias, residuos peligrosos (RESPEL), riesgo psicosocial. En la **Tabla 18** se presentan los indicadores de capacitación desarrollados de manera mensual.

TABLA 18. INDICADORES ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN

MES 1		
ACTIVIDAD	INTERPRETACIÓN	RESULTADOS EN EL PERIODO
Capacitación PRIMERA RESPONDIENTE.	(No. de trabajadores capacitados* 100 / N° de trabajadores para emergencias)	$5 \cdot 100 / 5 = 100\%$
Capacitación residuo peligroso (RESPEL)	(No. de trabajadores participantes* 100 / N° de trabajadores planificados)	$5 \cdot 100 / 5 = 100\%$
Capacitación en Medidas Generales para la Prevención de la Transmisión del COVID-19, Resolución 777 de 2021.	(No. de trabajadores participantes* 100 / N° de trabajadores planificados)	$6 \cdot 100 / 8 = 75\%$
MES 2		
ACTIVIDAD	INTERPRETACIÓN	RESULTADOS EN EL PERIODO
Capacitación CINEMATICA DEL TRAUMA.	(No. de trabajadores afiliados* 100 / N° de trabajadores en el mes)	$4 \cdot 100 / 10 = 40\%$
Capacitación MANEJO DE HERIDAS Y HEMORRAGIAS.	(No. de trabajadores afiliados* 100 / N° de trabajadores en el mes)	$8 \cdot 100 / 10 = 80\%$
MES 3		
ACTIVIDAD	INTERPRETACIÓN	RESULTADOS EN EL PERIODO

Capacitación en RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS.	(No. de trabajadores afiliados* 100 / N° de trabajadores en el mes)	$8*100/10 = 80\%$
Capacitación en RIESGOS Y OPORTUNIDADES PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO.	(No. de trabajadores afiliados* 100 / N° de trabajadores en el mes)	$7*100/10 = 70\%$
MES 4		
ACTIVIDAD	INTERPRETACIÓN	RESULTADOS EN EL PERIODO
Capacitación en Procedimiento Operativo Normalizado en caso de sismo y evacuación	(No. de trabajadores afiliados* 100 / N° de trabajadores en el mes)	$7*100/10 = 70\%$
Capacitación sobre inteligencia emocional	(No. de trabajadores afiliados* 100 / N° de trabajadores en el mes)	$6*100/10 = 60\%$

5.6. AUTOREPORTES DE SALUD

A continuación se presenta el objetivo, alcance, metodología y resultados de los reportes realizados durante los primeros 4 meses de ejecución del contrato por los diferentes profesionales que hacen parte del mismo.

AUTOREPORTES DE SALUD

1. OBJETIVO

Identificar posibles casos de contagio de Covid-19 entre la población trabajadora de la organización que participa en el proyecto “Indicadores de calidad diatomeas”, a fin de tomar las medidas sanitarias oportunas según corresponda de acuerdo con los lineamientos legales vigentes establecidos y dar seguimiento las condiciones de salud del personal.

2. ALCANCE

Aplica para el personal activo que desarrolla actividades para el proyecto “Indicadores de calidad diatomeas”.

3. METODOLOGÍA

Mediante la herramienta formularios de Google se aplica de manera digital la encuesta de auto reporte de condiciones de salud.

4. RESULTADOS DE LOS REPORTES

Mediante la herramienta Google Forms se encuestó al personal de manera semanal y se realizó la siguiente pregunta al personal participante en el proyecto:

¿Ha presentado alguno de los siguientes síntomas o situaciones?

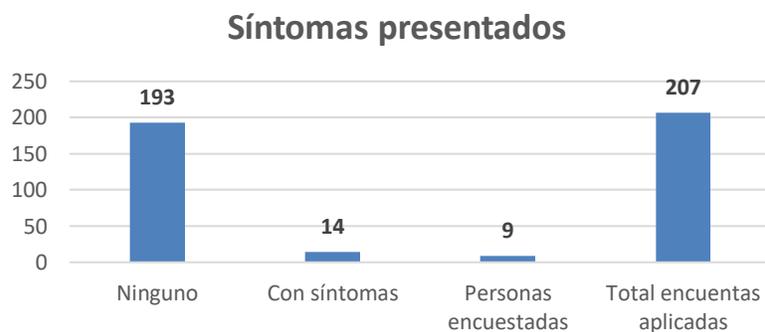


FIGURA 16. SÍNTOMAS PRESENTADOS

Donde se evidencia que 14 personas manifestaron presentar síntomas asociados al Covid-19 sin embargo ninguno de los casos fue confirmado positivo.

Se formuló la pregunta: **¿Ha tenido contacto con personas que hayan presentado los Síntomas o Positivos para COVID en los últimos 14 días?**

Contacto con personas sospechosas en los últimos 14 días

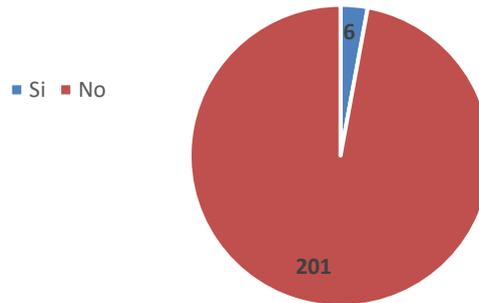


FIGURA 17. CONTACTO CON PERSONAS POSITIVAS

A la cual 6 personas manifestaron haber tenido contacto con casos sospechosos de ser positivos, durante dichos periodos en que se registraron los reportes se estableció comunicación continua para garantizar el cumplimiento de los protocolos de bioseguridad, dichos casos no fueron confirmados positivos.

La modalidad de trabajo que prevaleció fue en oficina dado que para el mes de septiembre se retornó a la presencialidad en la mayoría de casos cumpliendo con los protocolos de bioseguridad definidos en el marco normativo con un alcance para la totalidad del personal, sin embargo se observa que gran parte de las actividades realizadas se ejecutaron desde casa.

Modalidad de Trabajo

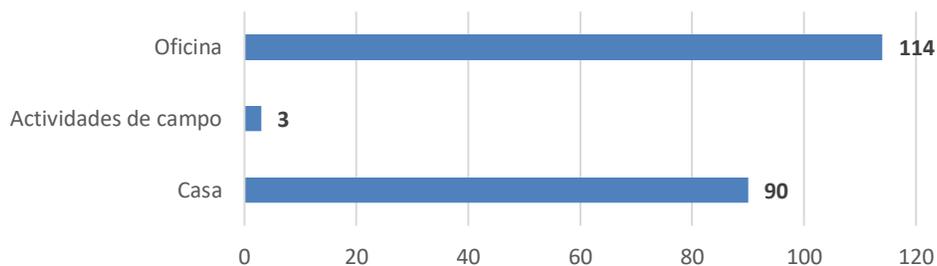


FIGURA 18. MODALIDAD DE TRABAJO

Se solicitó al personal referir mediante el formulario indicar sus condiciones de salud son, donde podían referir una de las siguientes afirmaciones:

- Buenas y me encuentro en condiciones de laborar

- Me encuentro incapacitado o he estado incapacitado en la última semana

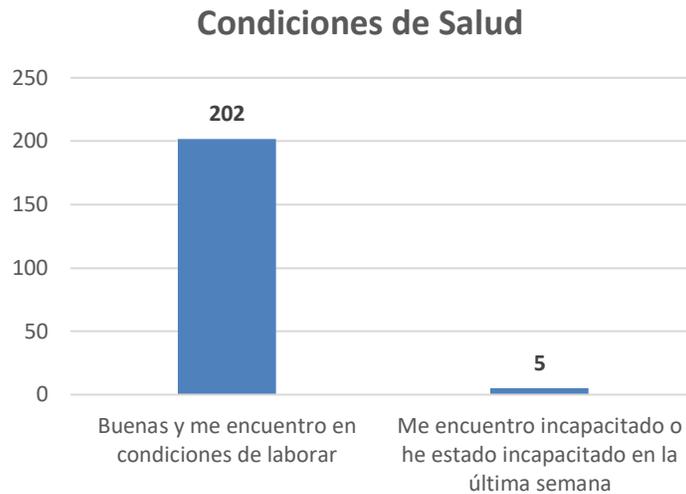


FIGURA 19. CONDICIONES DE SALUD

La grafica refleja los resultados obtenidos, donde solamente en 5 casos se presentaron incapacidades de las cuales ninguna fue por casos confirmados de Covid-19. Se estableció comunicación directa con las personas que estuvieron incapacitadas y estas refirieron presentar síntomas de enfermedad común incluso debido a la aplicación de la vacuna para COVID -19.

ESTADO DE VACUNACION COVID-19



FIGURA 20. PERSONAL

Se realiza seguimiento al esquema de vacunación para COVID-19 del personal participante en el proyecto a fecha de corte del 21 de octubre, evidenciando que de los 5 profesionales internos 4 se encuentran con el esquema completo y uno parcial. Mientras que de los 4 profesionales externos solo una persona tiene el esquema completo Y tres personas parcialmente.

6. GESTIÓN DE LA MATRIZ DE RIESGOS (LAS ACCIONES PREVENTIVAS, CUÁLES RIESGOS SE MATERIALIZAN Y CUÁLES FUERON LAS MEDIDAS CORRECTIVAS)

6.1. SEGUIMIENTO A LA MATRIZ DE RIESGOS

Para el proyecto se identificaron inicialmente 76 riesgos, sin embargo el riesgo # 31: Errores u omisiones en la definición de los perfiles del personal profesional y/o técnico asignado para la ejecución de las actividades. Demoras en los procesos de selección y contratación del personal, se evaluó y se consideró que se están mezclando temas que no aplican de la misma manera de tal forma que se propuso la separación del mismo de la siguiente manera:

31: Demoras en los procesos de selección y contratación del personal, EL CUAL SE ENCUENTRA ABIERTO Y EL # 77 Errores u omisiones en la definición de los perfiles del personal profesional y/o técnico asignado para la ejecución de las actividades, EL CUAL SE EVALUÓ COMO NO MATERIALIZADO.

Se incluye el riesgo número 78: Ineficiencia en el manejo de equipos. Daños o pérdida de equipos por falta de habilidad y/o conocimiento de proveedores / Subcontratistas, dado que se materializa debido a los daños sufridos por las muestras enviadas y que se rompieron durante el servicio de transporte.

La corrección inmediata fue el alistamiento y envío de nuevas muestras.

El plan de acción fue:

- Seleccionar nuevo proveedor que tenga un manejo adecuado de la mercancía.
- Contar con póliza de cumplimiento del contrato.
- Ajuste y corrección del embalaje de las muestras.

6.1.1. Materialización

En total, incluyendo los nuevos riesgos, se tiene identificados 78, de los cuales se materializaron 4, los cuales fueron intervenidos. **(Figura 21)**

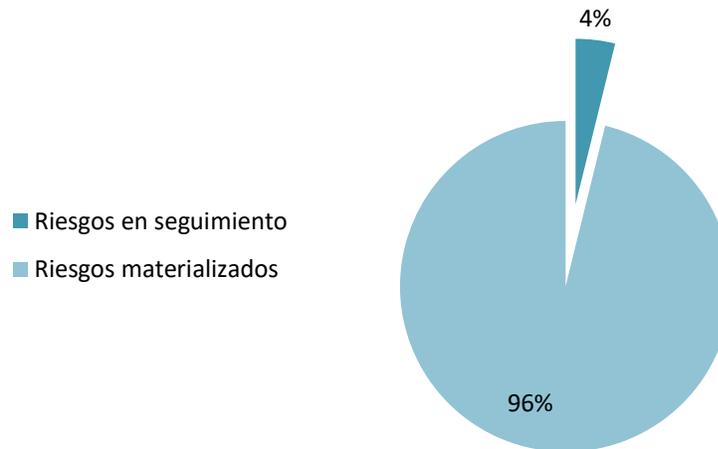


FIGURA 21. RIESGOS MATERIALIZACIÓN
FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

6.1.2. Riesgos cerrados

De los 4 riesgos materializados se cierra 1, el cual corresponde al #28 “*Demora en el cumplimiento de los requisitos previos necesarios para la firma del acta de inicio*”, el cual queda cerrado en el momento que se cumple con la totalidad de los requerimientos para el inicio de las actividades del proyecto. **(Figura 22)**

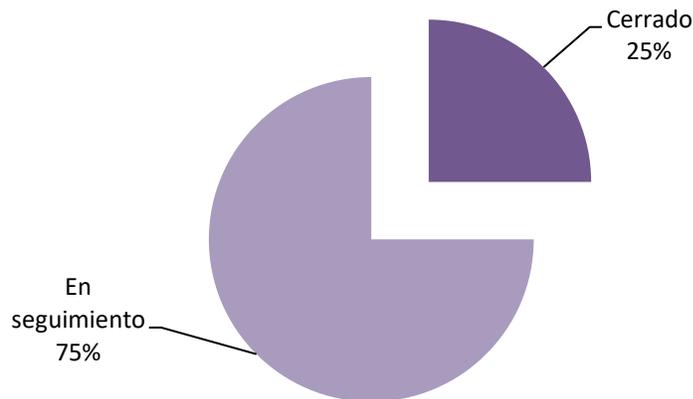


FIGURA 22. RIESGOS CERRADOS
FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

6.1.3. Nivel de riesgo

De los riesgos materializados que se mantienen abiertos, 2 se encuentra en nivel alto, estos corresponden al #3 *Demoras en los procesos de selección y contratación del personal* y el #40 *Errores u omisiones en la coordinación e integración de equipos, materiales, recurso humano y demás bienes requeridos para la ejecución de las actividades del contrato.*

En nivel medio se encuentra el # 78 *Ineficiencia en el manejo de equipos. Daños o pérdida de equipos por falta de habilidad y/o conocimiento de proveedores/Subcontratistas.*

Los 3 riesgos se encuentran en seguimiento. **(Figura 23)**



FIGURA 23. NIVEL DE RIESGO
FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

6.1.4. Riesgos no materializados

De los 74 riesgos que no se materializaron 16 corresponden a riesgos previos a la firma del acta de inicio, de tal forma que con la firma de esta y el inicio de las actividades del proyecto, estos riesgos quedaron cerrados. Los restantes 58 quedan en seguimiento durante la ejecución del proyecto. (**Figura 24**)

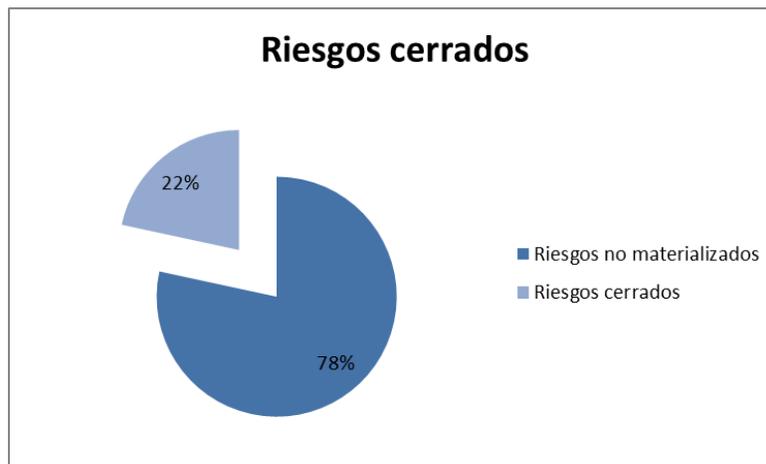


FIGURA 24. RIESGOS NO MATERIALIZADOS
FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S

6.1.5. Monitoreo al cumplimiento de los planes de acción

La matriz presenta la trazabilidad de los planes de acción realizados para el cierre de los riesgos materializados.

TABLA 19. MATRIZ RIESGOS MATERIALIZADOS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CONSECUENCIA DE LA OCURRENCIA DEL EVENTO	ESTADO	NIVEL DE RIESGO	PLAN DE ACCIÓN	FECHA A LA QUE SE MANTIEN ABIERTOS	ESTADO DE SEGUIMIENTO	FECHA PROGRAMADA DE CIERRE
28	Demora en el cumplimiento de los requisitos previos necesarios para la firma del acta de inicio.	Demoras en el inicio de la ejecución del contrato. Reprogramación de actividades. Incremento en costos. Tiempos muertos.	Cerrado	N/A	N/A	21 de octubre de 2021	N/A	N/A

31	Demoras en los procesos de selección y contratación del personal.	Retrasos en la ejecución del contrato. Reprogramación de actividades. Incremento en costos. Tiempos muertos.	Seguimiento	Alto	<p>Contar con un listado de profesionales suplentes para cada uno de los perfiles del proyecto.</p> <p>Realizar la contratación de los profesionales del proyecto, estableciendo los productos y los tiempos de entrega de común acuerdo con cada profesional</p> <p>Asegurar que cada uno de los contratos de los profesionales críticos cuente con la respectiva cláusula penal por incumplimiento del contrato</p>	21 de octubre de 2021	<p>Todo el personal del proyecto se encuentra contratado de manera formal por parte de la compañía.</p> <p>Los profesionales críticos, quienes se encuentra por prestación de servicios cuentan en su contrato con la respectiva cláusula de penalidad de 06-09-2021 Se está ubicando el personal suplente para el proyecto.</p> <p>16-09-2021 En el transcurso de la semana se realiza revisión de bases de datos de profesionales, sin embargo no se encuentran profesionales que cumplan. Para el viernes 17 de septiembre se programa la publicación para la consecución de personal de back up.</p>	Se continuará con el monitoreo de manera semanal, con el fin de prevenir posibles retrasos.
----	---	--	-------------	-------------	---	-----------------------	--	---

40	Errores u omisiones en la coordinación e integración de equipos, materiales, recurso humano y demás bienes requeridos para la ejecución de las actividades del contrato.	Reprogramación de actividades. Demoras en la ejecución del contrato. Incremento en costos. Tiempos muertos.	Seguimiento	Alto	Ajuste del Plan de Calidad que incluye la programación de actividades. Seguimiento semanal al cronograma de actividades	21 de octubre de 2021	07-09-2021 Se encuentra ajustado el Plan de Calidad y será entregado para revisión por parte del EAAB el día 09 -09-2021. Se realiza seguimiento semanal al Cronograma de Actividades identificando posibles retrasos y estableciendo planes de acción. 16/09/2021 Se continúa con la realización de ajuste del cronograma de acuerdo con las observaciones emitidas por EAAB.	Se continuará con el monitoreo de manera semanal, con el fin de prevenir posibles retrasos
78	Ineficiencia en el manejo de equipos. Daños o pérdida de equipos por falta de habilidad y/o conocimiento de proveedores Subcontratistas.	Reprogramación de actividades. Demoras en la ejecución del contrato. Incremento en costos.	Seguimiento	Medio	Se revisa el tipo de empaque utilizado para el envío de las placas y se refuerza. Se realiza el cambio de proveedor de servicio de transporte.	21 de octubre de 2021	Se envían nuevamente las placas sin reportarse novedades.	Cada uno de los servicios de transporte de placas deben ser monitoreados con el fin de verificar si se materializa el riesgo o no.

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S