

# PROGRAMA NACIONAL DE RESERVAS DE AGUA



*Protocolo de muestreo de macroinvertebrados en  
aguas continentales para la aplicación de la Norma  
de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012)*

Versión 1.0

Preparado por: Raúl Pineda López (Universidad Autónoma de Querétaro), Ricardo Miguel Pérez Munguía (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo), Catherine Mathuriau, José Luis Villalobos Hiriart y Rafael Barba Álvarez (Universidad Nacional Autónoma de México), Tamara Bernal (Universidad Autónoma de Nayarit), Everardo Barba Macías (Colegio de la Frontera Sur)  
Revisión, edición y formato por: Sergio A. Salinas Rodríguez (WWF México)

Agosto de 2014

## PRESENTACIÓN

Desde 2012, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en coordinación con la Alianza WWF México – Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. (FGRA), el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo, y con fundamento en el Artículo 41 de la Ley de Aguas Nacionales, estableció el Programa Nacional de Reservas de Agua para el Ambiente (PNRA) como una medida de gestión y conservación de los recursos hídricos de México. Este programa tiene el propósito de garantizar la funcionalidad del ciclo hidrológico, las funciones ecológicas y servicios ecosistémicos asociados, como una respuesta preventiva ante los impactos del cambio climático en el país. Una reserva de agua es un volumen anual, con significado ecohidrológico, que se destina a permanecer y circular en el ambiente para proteger a la biodiversidad y los servicios ambientales (abasto de agua, producción agrícola, control de inundaciones, etc.) que benefician a las personas y a la gestión del agua.

El PNRA consiste en realizar los estudios técnicos conforme a la aplicación de la NMX-AA-159-SCFI-2012 Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, en 189 reservas potenciales de agua identificadas a partir de su disponibilidad de recursos hídricos, alto interés de conservación y escasa presión hídrica. Con los resultados obtenidos y sistemáticamente analizados, se establecerá un sistema nacional de reservas de agua para la protección o restablecimiento del equilibrio ecológico, demostrará sus beneficios como un instrumento garante de la funcionalidad del ciclo hidrológico y sus servicios ambientales, y fortalecerá las capacidades para la aplicación de la norma de caudal ecológico en todo el país.

Actualmente, el establecimiento de 189 reservas de agua es meta sexenal en el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 y es una acción incluida en los Programas Especial de Cambio Climático 2014-2018 y Sectorial de Medio Ambiente 2014-2018. El PNRA es una iniciativa público-privada cuyo pilotaje fue iniciado en las cuencas de los ríos San Pedro Mezquital en los estados de Durango, Nayarit y Zacatecas, Acajoneta (1 y 2), Rosamorada (1 y 2), Rosamorada (1 y 2), Bejuco (1 y 2) y Cañas (1 y 2) en Nayarit, Copalita-Zimatán-Coyula en Oaxaca, Papaloapan (Blanco, Papaloapan, Valle Nacional, Grande, Playa Vicente, Tesechoacán, Trinidad, San Juan, Llanuras de Papaloapan y Jamapa-Cotaxtla) en Oaxaca y Veracruz, San Nicolás (A y B), Purificación y Cuitzmala en Jalisco, y Santa María (2 y 3), Verde (3), El Salto y Tampaón (1) en Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí. Contó con la participación de 48 instituciones y 118 expertos de la CONAGUA y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, el sector académico liderado y apoyado por universidades e institutos de investigación locales, regionales, nacionales e internacionales, las comunidades rurales y la sociedad civil.

El presente *Protocolo de muestreo de macroinvertebrados en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012)* se desprende de las experiencias ganadas y sistematizadas en los estudios realizados en estas zonas piloto de 2012-2014 para servir de base en la toma estandarizada de datos en los próximos estudios de caudal ecológico en el país y realizar análisis de sistematización en la aplicación de la Norma a escala nacional.

## Contenido

<b>1. Introducción</b> .....	4
<b>2. Objetivos</b> .....	5
2.1. Objetivo general.....	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
<b>3. El valor de los macroinvertebrados como grupo biológico indicador</b> .....	6
<b>4. Planteamiento del muestreo</b> .....	6
4.1. Delimitación del área de estudio .....	6
4.2. Revisión de la literatura e información existente .....	7
<b>5. Trabajo de campo y análisis en gabinete</b> .....	7
5.1. Consideraciones preliminares .....	7
5.2. Selección e identificación de los sitios de muestreo.....	8
5.3. Descripción de los sitios de muestreo.....	11
5.4. Preparación de material y precauciones generales .....	13
5.5. Muestreo de los macroinvertebrados para definir los requisitos hidrológicos de los taxones sensibles a cambios de caudales .....	15
5.5.1. Ríos vadeables.....	15
5.5.2. Ríos no vadeables.....	15
5.6. Cálculo del índice biológico BMWP (según MINAE con algunas adaptaciones): Separación, identificación y conteo .....	18
5.7. Cálculo del Índice de Integridad Biótica basado en familias de macroinvertebrados .....	20
5.7.1. Selección de sitios de muestreo.....	21
5.7.2. Muestreo de las comunidades de macroinvertebrados .....	22
5.7.3. Índice de Integridad Biótica .....	23
5.8. Valoración de la calidad visual .....	27
5.9. Determinación del estado más probable (Tipo de cauce) .....	36
5.10. Análisis de estructura y composición de los ensamblajes encontrados: Grupos funcionales, valores de tolerancia y gremios tróficos.....	37
<b>6. Comentarios finales</b> .....	38
<b>7. Referencias</b> .....	39

## 1. Introducción

En un proyecto conjunto entre la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), World Wildlife Fund Inc. Programa México (Fondo Mundial para la Naturaleza – WWF México), Banco Interamericano de Desarrollo (BID) se están desarrollando los estudios para decretar 189 cuencas como Reservas de Agua para el Ambiente en México.

Se parte de la propuesta de la NORMA MEXICANA NMX-AA-159-SCFI-2012 (NMX), que establece los procedimientos para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, y se integran cuatro grupos de trabajo para probar la implementación de esta Norma. Estos grupos trabajaron durante 2013 en cuatro zonas: Papaloapan, Chamela, Acaponeta y Sierra Gorda.

Durante los trabajos de campo y laboratorio, se fueron integrando y probando los protocolos previstos en la NMX. Sin embargo, no es hasta este momento que se están integrando los protocolos y metodología, considerando la heterogeneidad de situaciones en las cuales se aplicaron. Por ello, como parte de los trabajos del protocolo de macroinvertebrados, se puso en discusión dentro del grupo de asistentes al 2º. Congreso Latinoamericano en Macroinvertebrados Dulceacuícolas para contar con la mayor cantidad de puntos de vista y con ello, mejorar los instrumentos metodológicos. De hecho, se contó con la participación de los asistentes al congreso en una sesión especial el día Miércoles 9 de Abril de 18:20 a 19:20. Con base en las observaciones recibidas y el trabajo del grupo interinstitucional se elaboró este protocolo.

El siguiente esquema (figura 1) muestra la organización del protocolo general para macroinvertebrados y muestra los números de secciones que comprenden el desarrollo de cada metodología asociada al protocolo, cabe mencionar que la sección estado más probable (punto 5.9.) se revisará con mayor detalle en el protocolo de geomorfología.



Figura 1. Diagrama general de organización del protocolo de macroinvertebrados. Las secciones mencionadas corresponden a los subpuntos del capítulo 5 “Protocolo”.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo general

Este protocolo tiene como fin establecer los métodos y directrices de operación del proyecto de reservas de agua, para los muestreos de macroinvertebrados en aguas continentales como ríos, lagos, lagunas, presas y humedales. En este documento se establecen las bases metodológicas para el levantamiento de información de campo a través de muestreos y el análisis en escritorio para la generación de índices de utilidad en el contexto de la evaluación de caudal ecológico.

### 2.2. Objetivos específicos

- Identificar los taxones de importancia ecológica en el área de estudio que requieran medidas especiales para su conservación o recuperación.
- Evaluar los cambios en la presencia y abundancia de las especies de mayor importancia para su conservación o recuperación, así como su posible tendencia.
- Identificar los taxones sensibles a la modificación de los caudales para ajustar las propuestas de caudales ecológicos.

- Utilizar a los insectos acuáticos como organismos indicadores del estado de conservación del ecosistema.

### 3. El valor de los macroinvertebrados como grupo biológico indicador

Los macroinvertebrados constituyen uno de los grupos biológicos más ampliamente usados como indicadores de calidad del agua. Esto se debe a que integran muchas de las cualidades que se esperan de un indicador. Entre éstas, destaca su elevada diversidad y que estén representados diferentes taxones, con requerimientos ecológicos distintos, relacionados con las características hidromorfológicas (velocidad del agua, sustrato), fisicoquímicas y biológicas del medio acuático. En el ámbito del Programa Nacional de Reservas de Agua, los macroinvertebrados bentónicos se consideran útiles para la detección y seguimiento de los siguientes tipos de presiones:

#### Fisicoquímicas:

- Contaminación térmica
- Cambios en la mineralización del agua
- Contaminación orgánica
- Eutrofización
- Contaminación por metales u otros contaminantes

#### Hidromorfológicas:

- Alteración del régimen de caudal / tasa de renovación
- Alteración de la morfología del lecho fluvial / lacustre

Los macroinvertebrados bentónicos indican alteraciones a medio y largo plazo, ya que sus especies poseen ciclos de vida entre menos de un mes hasta más de un año. Su valor indicador abarca un ámbito temporal intermedio que complementa el de otros elementos biológicos con tiempos de respuesta más cortos, como el fitobentos, o más largos, como los peces.

### 4. Planteamiento del muestreo

La planeación es un requisito esencial para un adecuado manejo de la información. Después de que han sido definidos los objetivos del muestreo, hay una serie de preguntas que contestar: qué, cómo y cuándo debe realizarse el muestreo, así como contemplar aspectos de transportación, equipo, personal participante y costos, principalmente. Por lo que las partes fundamentales de la planeación de un muestreo son:

#### 4.1. Delimitación del área de estudio

Como primer paso, es preciso tener en cuenta que el levantamiento de la información en campo será en los sitios de referencia o de validación de caudal ecológico seleccionados en conjunto con

el resto del equipo o las demás especialidades involucradas en el estudio de caudales ecológicos. De manera general, el sitio de referencia deberá tener una dimensión de al menos cinco veces el ancho del cauce federal y en la medida de lo posible deberán evitarse los meandros, planicies arenosas de baja diversidad o zonas estancadas (para el caso de ambientes lóticos) que impidan desarrollar un modelo hidráulico.

#### 4.2. Revisión de la literatura e información existente

Siempre será necesario realizar una revisión bibliográfica sobre la presencia y distribución de especies en el área de trabajo. En este caso y además de la información que pudiera ser encontrada en artículos y libros especializados, es muy importante considerar y realizar una búsqueda en colecciones científicas en universidades. Como punto de partida y por el tamaño de su acervo biológico, cabe mencionar la importancia de las colecciones que obran en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México y en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Asimismo, de sitios como el Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad (SNIB) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Un listado de especies potencialmente “encontrables” en el área de trabajo podrá apoyar de manera significativa la toma de decisiones en torno a la delimitación del área de estudios, así como de la mejor estrategia de muestreo.

### 5. Trabajo de campo y análisis en gabinete

Este protocolo incluye las directrices metodológicas a seguir para realizar los muestreos de macroinvertebrados con la finalidad de cumplir los objetivos enmarcados en el Programa Nacional de Reservas de Agua

#### 5.1. Consideraciones preliminares

La NMX-AA-159-SCFI-2012, contiene cuatro métodos para la determinación del caudal ecológico: dos hidrológicos contenidos en los apéndices C y D, uno hidrobiológico en el apéndice E y otro holístico en el apéndice F, éste último se denomina: Metodología holística para determinar el régimen de caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua nacionales a nivel de cuenca hidrológica con base en King *et al.* (2000). El protocolo que se presenta a continuación se aplica en éste método holístico.

Este protocolo de macroinvertebrados se aplica a nivel de sitio de muestreo (en la NMX se denomina sitio de referencia) que es una fracción del cauce principal de la UECE (unidad de estudio de caudal ecológico) que en general, es una subcuenca. Esta fracción corresponde a cinco veces el ancho de la ribera máxima, la metodología para determinar este valor se encuentra en el punto 5.9.

De acuerdo a la NMX, los objetivos del análisis de macroinvertebrados son:

- Caracterizar la estructura, composición y distribución espacial y temporal de macroinvertebrados acuáticos;
- Vincular e identificar los requerimientos hidrológicos e hidráulicos necesarios para la formación y configuración del hábitat acuático que da soporte a las comunidades de macroinvertebrados;
- Análisis retrospectivo y tendencial a partir de la información histórica de presencia (listado de especies).

8

Y propone los siguientes elementos a analizar:

- Índice de abundancia relativa de las especies de macroinvertebrados;
- Estructura y composición de poblaciones y comunidades de macroinvertebrados, así como del hábitat en los que habitan;
- Impacto de la magnitud, duración y periodos de retorno de los caudales bajos y altos en los macroinvertebrados.

Usando la siguiente información recomendada:

- Listado histórico y actual de especies (o al menos familias) de macroinvertebrados acuáticos y su distribución espacial y temporal en el hábitat acuático epicontinental;
- Listado, tipo de sustrato y distribución espacial y temporal del hábitat;
- Caracterización hidrológica a partir de información hidrométrica y del nivel que alcanzan los caudales altos y bajos en los cauces.

Esta información integrada supone la obtención de los siguientes productos:

- Identificación de la composición, estructura y abundancia de las poblaciones y comunidades de macroinvertebrados acuáticos;
- Listado para las especies sensibles seleccionadas sobre la cuantificación de intervalos de tolerancia del hábitat hidráulico y en cada hábitat acuático identificado.
- Identificación de especies como bioindicadores del estado ecológico del río;
- Hábitat hidráulico y físico (geomorfológico) requerido por los macroinvertebrados en sus diferentes etapas de vida.

## 5.2. Selección e identificación de los sitios de muestreo

En el contexto del Programa Nacional de Reservas de Agua, el sitio de referencia (también llamado sitio de muestreo o para la modelación hidráulica) puede ser un sitio prístino o con poca perturbación antrópica. Sin embargo, en el ámbito de la aplicación de la NMX en el resto de las cuencas del país, también podría presentarse en un sitio con algún nivel de degradación. La selección y el número de sitios de muestreo dependerán de los siguientes criterios:

- Facilidad para el acceso
- Tamaño de la cuenca
- Tipología de la cuenca
- Disponibilidad de hábitats físicos diversificados para especies acuáticas y riparias
- Su representatividad con respecto a las unidades de estudio de caudal ecológico presentes
- Hábitats críticos para especies endémicas o bajo algún estatus de protección
- Hábitats sensibles a la variación de caudales
- Facilidad para desarrollar el modelo hidráulico
- Ausencia de infraestructuras hidráulicas
- Proximidad a estaciones de aforo con información hidrométrica disponible
- Aceptación por la mayoría de los especialistas participantes

Es deseable establecer un sitio de modelación hidráulica por cada 1,000 km<sup>2</sup> si existen estaciones de aforo con información hidrométrica disponible a proximidad. Si la cuenca hidrológica presenta gran nivel de heterogeneidad en términos de sus condiciones ecológicas (dadas por la presión de uso por el agua e importancia ecológica se recomienda incluir más sitios (de muestreo o de referencia). En este caso se buscará un sitio que sirva de punto de referencia para determinar el estado ecológico actual (natural o perturbado) de la cuenca o de la unidad de estudio de caudal ecológico. Si estas condiciones óptimas no existen, se buscará un sitio poco perturbado en una cuenca cercana con características similares.

La selección de los sitios de muestreo se realizará en dos etapas. La primera etapa se realizará en gabinete y consistirá en ubicar los sitios de muestreo en un mapa tomando en cuenta la información cartográfica (topografía, geología, vegetación, red hidrográfica) a 1:50,000 si está disponible o, en caso contrario, a 1:250,000. Se utilizará un servidor de aplicaciones de mapas en la web con fotografías para ubicar los sitios seleccionados y conocer su accesibilidad (figura 2).

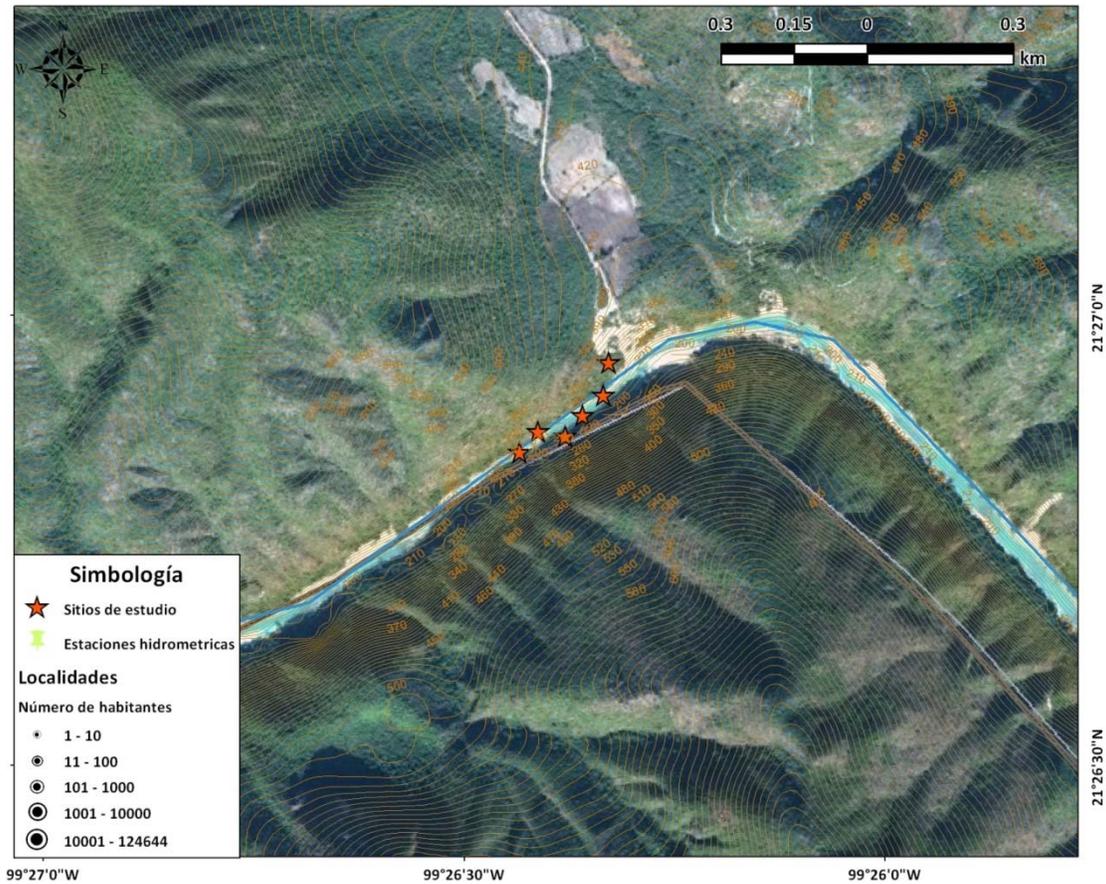


Figura 2. Selección de sitio empleando información geográfica

La segunda etapa, debe considerar una visita prospectiva para la identificación de sitios potenciales de muestreo, aunado a los estudios geomorfométricos (el estado más probable) y calidad visual (Rosgen, 1998, Barbour et al. 1999; Bunte y Abt, 2001 y Maue y Springer, 2008), con la finalidad de ubicar los tramos más representativos y que contengan todos los hábitats de macroinvertebrados de la cuenca en estudio (figura 3).



Figura 3. Prospección en el río Santa María

Esas indicaciones tendrán que considerar las características de los ríos: caudalosos o no, si es tributario o principal, perennes o temporales, además de posibles perturbaciones que pudieran influir en los resultados.

Una vez seleccionado, se identificará el sitio de muestreo mediante un código que contendrá tres letras y un número. La primera letra corresponderá a la primera letra del nombre del río, las dos siguientes letras identifican el nombre del sitio de muestreo. La numeración se realizará de forma ascendente (1,2, 3...) desde aguas arriba hacia aguas abajo.

Adicionalmente, se recomienda que para el muestreo en temporada de estiaje, se haga en el período de máximo estío en el año.

### 5.3. Descripción de los sitios de muestreo

Se debe hacer un croquis de los sitios de muestreo que contenga la orientación del cauce con base en la dirección de la corriente (Norte, Noreste...), pendiente transversal de las riberas, presencia o no de anexos, tipo de vegetación, uso de suelo a lo largo del tramo, tipo de sustrato en el lecho si es visible (ver clasificación del mismo en Bunte y Abt, 2001), presencia de infraestructuras y una estimación del ancho y profundidad promedio. Se indicará la fecha de realización del croquis (figura 4).

Se adjuntará una breve descripción y un croquis de la accesibilidad al sitio y se anexarán cinco fotografías (río aguas arriba, río agua abajo, ribera izquierda, ribera derecha, camino de acceso al sitio). Se recomienda anotar en el croquis el nombre y teléfono de un contacto local que podrá informar de la situación en que se encuentra el sitio antes de salir al campo para subsecuentes visitas.

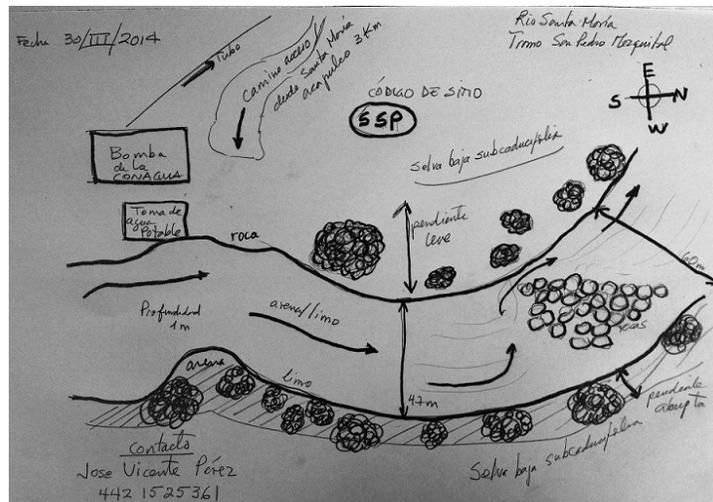


Figura 4. Croquis del sitio de trabajo San Pedro Mezquital en la cuenca del río Santa María.

Para identificar las respectivas riberas, el observador se pondrá de espaldas a dirección de la corriente del río. La ribera que queda a su izquierda se nombrará ribera izquierda, la que queda a su derecha se nombrará ribera derecha.

Se deberá seleccionar un tramo que presente la mayor diversidad de hábitats (figura 5) y el mayor número de patrones de velocidad. La longitud del tramo será de 5 veces el cauce federal. Si el sitio se ubica cerca de un puente se procurará ubicar el tramo aguas arriba.

Adicionalmente se deberá establecer la presencia de 4 patrones de velocidad rápido-somero, rápido-profundo, lento-somero y lento-profundo. Somero corresponde a una profundidad  $<0.5$  m y lento corresponde a una velocidad  $<0.3$  m/s. El cauce federal corresponde al ancho del cauce medio más 5 metros de cada lado de la orilla para ríos  $< 5$  m y de 10 metros de cada lado de la orilla para ríos  $> 5$  m.

**En ríos vadeables** se realizará un recorrido del tramo seleccionado (de preferencia por la orilla para evitar de perturbar los diferentes ambientes) y se estimará visualmente el porcentaje de los siguientes hábitats:

- 1) Briofitos (musgos y hepáticas)
- 2) Hidrofitos sumergidos (plantas acuáticas)
- 3) Hojarasca
- 4) Raíces sumergidas, troncos
- 5) Bloques ( $\varnothing >250$  mm)
- 6) Guijarros y piedras ( $\varnothing$  de 250 a 25 mm)
- 7) Gravas ( $\varnothing$  de 25 a 2 mm)
- 8) Helofitos
- 9) Sedimentos finos ( $\varnothing <0,1$  mm)
- 10) Arenas y limos ( $\varnothing$  de 2 a 0,1 mm)
- 11) Algas
- 12) Superficies uniformes naturales (lajas, arcillas compactadas...)
- 13) Zona higrolítica (área húmeda en las rocas que se encuentran dentro del cauce y emerge del nivel del agua)



Sistema escalón estanque en río Gallinas



Riberas rocosas río Santa María

Figura 5. Ejemplos de tipos de hábitat

Se realizará un croquis del tramo y se ubicará la dirección de la corriente, los sectores de agua corriente (Rápidos, rabiones) y en reposo (pozas) y anexos si están presentes en los sitios. Los hábitats con porcentajes superiores al 5% se considerarán dominantes (D) y los de porcentajes por debajo o igual al 5% se considerarán marginales (M). Las zonas intermedias corresponden a una zona de más de un metro de profundidad ubicada entre la orilla y el centro del cauce.

Un sustrato es una asociación de elementos minerales o/y vegetales que presentan unas características físicas visibles homogéneas en una superficie de más de 0.05 m<sup>2</sup>. Un hábitat es una combinación entre un tipo de sustrato y una velocidad dada.

#### 5.4. Preparación de material y precauciones generales

Es muy importante contar con el material adecuado para llevar a cabo un muestreo que contenga todos los datos posibles. A continuación se presenta en la tabla 1 el material a manera de lista de chequeo:

Tabla 1. Formato de *checklist* con el material necesario y alternativo

Descripción del material/equipo	Material/Equipo Alternativo/Observaciones	Casilla de chequeo
Mapa del área con los sitios de muestreo en escala 1:5,000	Geoposicionador (GPS) con la ubicación de las localidades a muestrear	
Hojas de campo predeterminadas	Libreta de campo para toma de datos	
Analizador de agua multiparamétrico: normalmente incluye sensores para temperatura, pH, conductividad, ORP, Oxígeno disuelto, Salinidad.	Botellas para toma de muestras de agua para trabajar en el laboratorio, deben mantenerse en hielo un	

Descripción del material/equipo	Material/Equipo Alternativo/Observaciones	Casilla de chequeo
CALIBRADO	máximo de 48 h.	
Medidor de flujo. CALIBRADO		
Conductivímetro (como respaldo, si se lleva el multiparamétrico). CALIBRADO		
Potenciómetro (como respaldo, si se lleva el multiparamétrico). CALIBRADO		
Oxímetro (como respaldo, si se lleva el multiparamétrico). CALIBRADO		
Agua destilada para limpiar electrodos y sensores del analizador multiparamétrico		
Cinta métrica de 50 m	Distanciómetro Calibrado	
Red tipo "D" para la colectar macroinvertebrados, como mínimo, 30 cm de diámetro y 1 m de longitud, confeccionada de malla de Nylal de 250 a 300 µm, de abertura de malla.	Red Surber de 30 x 30 cm (900 cm <sup>2</sup> ) de 200 a 500 micra de abertura de malla	
Charolas blanca de 15 x 20 x 5 cm para la observación y separación de los macroinvertebrados recolectados.		
Pinzas y Pinceles, para poder separar los organismos con mayor rapidez.		
Botes de plástico de boca ancha, cerrado hermético con una capacidad de 250 ml y/o 500 ml/1,000 ml, para llevar las muestras al laboratorio.	Bolsas tipo zip lock, con cierre hermético extra y caja para su transporte	
Viales de plástico para recolectar y conservar los invertebrados que no se han identificado en el campo.		
Formol 4% o alcohol 96 <sup>®</sup> para fijar las muestras que nos llevamos al laboratorio. Si se usa el alcohol deberá ajustarse con el agua de la muestra a 80 °		
Lápiz, tijeras, cinta aislante de color claro o blanco para etiquetar o etiquetas de papel albanene, para los botes que se trasladarán al laboratorio. Las etiquetas deberán estar escritas a lápiz y en ellas se anotará: código o nombre de la estación y la fecha de muestreo, nombre del recolector y la identificación tentativa.		
Palo o barra marcada cada centímetro	Metro de madera marcado	
Guantes y cubrebocas, para usarse en ríos con riesgo de contaminación		
Botas de agua por debajo de la rodilla y/o Vadeador (wader) dependiendo de la profundidad		
Recipiente que contenga cloro blanqueador al 4% en agua para la desinfección del material (botas, redes, instrumentos, charolas, etc.), asimismo, se debe llevar un recipiente o tina para el vado del material.		

## 5.5. Muestreo de los macroinvertebrados para definir los requisitos hidrológicos de los taxones sensibles a cambios de caudales

Para la colecta del material biológico tanto para definir los requisitos hidrológicos de los taxones sensibles a la fluctuación de caudales como para la evaluación de la calidad biológica de los recursos acuáticos se utiliza un método multi-hábitats y muestreos cuantitativos y cualitativos. Los muestreos de verán realizarse como sigue:

15

### 5.5.1. Ríos vadeables

Se colectará los macroinvertebrados con una red de cuchara (D-net) de 30 cm de diámetro y de apertura de malla de 250 a 300  $\mu\text{m}$ , se colectarán 12 unidades de 0.1  $\text{m}^2$  cada una. Corresponde al arrastre con la red de cuchara o a la limpieza de una superficie de 25 cm X 40 cm.

Se recolectarán primero 4 unidades en hábitats marginales según el orden de prioridad anotado en la lista de hábitats (ver punto 5.3). Se colectarán 8 unidades en hábitats dominantes según el orden de prioridad de la lista de hábitat.

En sustratos duros (5, 6, 7, 12) se colocará la red a contracorriente y se limpiará la superficie del sustrato. Si el sustrato se puede desplazar se limpiará por debajo asegurándose que el material sea arrastrado hacia la red.

En sustratos vegetales (1 a 4, 8, 11) se colectará la red a contracorriente, se agitará la vegetación o se moverá la red aguas arriba raspando la vegetación o si es posible se cortará y colocará en la red.

En sustratos finos (9, 10) se recuperará a contracorriente los primeros 3 cm de la superficie.

### 5.5.2. Ríos no vadeables

En este tipo de ríos la colecta se dificulta (figura 6) y en consecuencia se debe utilizar una estrategia diferente. La recolecta del material biológico se llevará a cabo mediante un enfoque multihábitat con diversos equipos de recolecta, para la endofauna se emplea un nucleador con un área de 0.0044  $\text{m}^2$  (en ríos y humedales de poca profundidad) y una draga Petite Ponar con un área de 0.025 $\text{m}^2$  en ríos de más de 2.5 m de profundidad.



Figura 6. Ejemplo de río no vadeable

La epifauna se recolecta con diferentes tipos de redes: red de cuchara con una luz de malla de 500 micra y área de  $0.082\text{m}^2$ , red tipo Renfro con una luz de malla de 1 mm y un área de 2 m de boca con arrastres de 25 metros de longitud cubriendo un área de  $50\text{m}^2$ , red chinchorro de 15 m de longitud, con luz de malla a los lados de 1 cm abarcando cuatro metros por cada lado y en el centro de 2 mm de luz de malla en una longitud de 7 m y una caída de 2.20 m abarcando  $6\text{m}^2$ . El uso de cada equipo de muestreo debe estar de acuerdo con la profundidad del cuerpo de agua y

las condiciones presentes en cada localidad, se deben tomar al menos tres réplicas por equipo empleado.

Las muestras se lavan y tamizan *in situ*, se colocan en bolsas de polietileno y se fijan con alcohol al 96% (sistemas dulceacuícolas) y con formol al 4% (sistemas estuarinos), para su traslado en contenedores plásticos. Las muestras se procesan en el laboratorio, donde se separan los especímenes, se cuentan, pesan e identifican al menos a nivel de familia.

**En las orillas** se utilizará una red de cuchara de 25 cm X 25 cm con apertura de malla de 0.5 mm.

**En la zona intermedia**, si la pendiente es menor a 0.03 (3%), se utilizará una red de cuchara, si la profundidad es superior a 1 m y la pendiente es leve se utilizará una draga de arrastre triangular pesada (más de 20 kg) de 40 cm de lado con una red de 1 m de profundidad y malla de apertura de 0.5 mm. Si la pendiente es pronunciada (>45°) se colocarán sustratos artificiales (SA) un mes antes de la salida de campo. Los SA estarán hechos de piedras (tamaño que se encuentra en la zona) y rafia de 20 m de largo y envueltos en una malla de 2 cm.

**En la parte central** del canal se utilizará una draga de arrastre triangular o circular.

Se muestreará un total de 12 unidades, 4 en la orilla, 4 en la zona intermedia y 4 unidades en la zona profunda. En cada unidad se medirá la velocidad y profundidad de los hábitats muestreados.

**En la orilla** con la red de cuchara se muestreará 4 unidades de hábitats marginales que son susceptibles de albergar una fauna más diversa (ver lista de hábitats).

Se podrán muestrear en la misma orilla si los hábitats son similares. Si hay menos de 4 hábitats se repetirá los mismos hábitats por orden de prioridad.

Si el sustrato corresponde a hidrófitas se desprenderá el material vegetal y se pondrá en la malla de la red.

**En la zona intermedia** se muestreará 4 unidades. Con la red de cuchara se. Con la draga de arrastre se realizará colectas a contracorriente en una lancha en 4 diferentes sitios (2 en cada zona intermedia o 4 del mismo lado si la zona intermedia no es presente en un lado). Si las condiciones no permiten la utilización de la draga ni de la red de cuchara se colocaran sustratos artificiales (2 en cada lado del cauce). Al momento de recuperarlos se colocan en una red de apertura de malla de 300 micra.

**En la zona central** del cauce se deben muestrear 4 unidades a lo largo del tramo. Se arrastrará el sedimento sobre unos metros para obtener un volumen de 5L para sedimentos gruesos (>2 mm) y

un volumen de 1L para sedimentos finos (<2 mm). Se anotará en la hoja de campo el tipo de sustrato encontrado.

Se colectará desde aguas abajo hasta aguas arriba para evitar de alterar hábitats a muestrear y capturar organismos en deriva producto de nuestra intervención.

**IMPORTANTE:** para evitar propagación de especies alóctonas y su dispersión entre cuencas, es imprescindible que se aplique hipoclorito al 4% con un pulverizador a todo el material que ha entrado en contacto con el agua del río (red, botas, recipientes) antes de cambiar de estación de muestreo.

#### 5.6. Cálculo del índice biológico BMWP (según MINAE con algunas adaptaciones): Separación, identificación y conteo

**En el campo**, el material colectado se pasará en una charola blanca. Se eliminará el material orgánico y mineral grueso después de verificar que no haya material biológico adherido. Se sacará el material biológico más frágil como los efemerópteros, sanguijuelas, planarias y se guardarán en frasco con alcohol a 90% y se colocarán con la muestra en un recipiente con alcohol a 80%. Para evitar llevar material inorgánico (arena, grava) que podrían dañar el material biológico se agitará la charola y recuperará solamente el sobrenadante verificando de no dejar especímenes en el material inorgánico. Las unidades de muestreo se guardarán de forma individual. Los recipientes estarán etiquetados con el nombre del río, estación de muestreo, fecha, sustrato colectado y nombre del colector.

**En el laboratorio** (figura 7), se limpiará el material del fijador. Se pasará el material en una columna de tamiz de 2 mm a 0.5 mm. Se separará todo el material. Si hay mucho material en el tamiz de 0.5 mm se sub-muestreará.

El material biológico se identificará con un esteromicroscopio (X 40) a nivel mínimo de familia con la ayuda de las claves de Merritt & Cummins (1996), Merritt et al. (2008), Bueno-Soria (2010), Novelo-Gutiérrez (1997<sup>a</sup>, 1997<sup>b</sup>), Thorp & Covich (2001), y Burns (1982).

El índice BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) se obtiene sumando la puntuación correspondiente por cada familia indicadora, tantas veces como familias diferentes hallamos en la muestra. Las letras se refieren al nombre del orden de animales al que pertenecen (tabla 2).

Los rangos de calidad según el BMWP se presentan en la tabla 3.



Figura 7. Identificación y conteo de macroinvertebrados en laboratorio.

Tabla 2. Calificación de las familias de macroinvertebrados

Familias	Puntuación
O: Polythoridae D: Blephariceridae; Athericidae E: Heptageniidae P: Perlidae	9
T: Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae E: Leptophlebiidae O: Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae T: Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae	8
C: Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae O: Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae T: Philopotamidae Cr: Gammaridae	7
O: Libellulidae M: Corydalidae T: Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae E: Isonychidae	6
L: Pyralidae T: Hydropsychidae; Helicopsychidae; Dryopidae C: Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae E: Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae Cr: Crustacea Tr: Turbellaria	5
C: Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae D: Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae	4

Familias	Puntuación
H: Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae O: Calopterygidae; Coenagrionidae E: Caenidae Hidracarina Hi: Hidracarina	
C: Hydrophilidae D: Psychodidae Mo: Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae A: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae Cr: Asellidae	3
D: Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae	2
D: Syrphidae A: Oligochatea	1

*La tabla está sujeta a modificaciones locales*

Tabla. 3. Rangos de calidad según el BMWP (MINAE 2007)

NIVEL DE CALIDAD	BMWP	Color Representativo
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas.	<15	Rojo

**ATENCIÓN:** Para México se tendrán que ajustar estos rangos de calidad en función del tipo de río muestreado y con base en la información de calidad obtenida en los sitios de muestreo.

#### 5.7. Cálculo del Índice de Integridad Biótica basado en familias de macroinvertebrados

Como estrategia para monitorear las alteraciones que han impactado física, química y biológicamente a los sistemas lóticos, se ha diseñado el índice de Integridad Biótica basado en las Comunidades de Macroinvertebrados Acuáticos (IIBAMA) (Pérez y Pineda, 2005), el cual emplea el nivel taxonómico de familia y se utilizará como una herramienta para determinar los aspectos de la integridad ecológica al valorar la importancia ecológica de la cuenca.

La selección de estos organismos como modelo biológico se hace porque ofrecen respuestas en el corto plazo y los estados más sensibles pueden responder rápidamente al estrés, por lo mismo, debido a su sensibilidad tienen la capacidad para reflejar condiciones crípticas de los sistemas acuáticos; además:

- a) La estructura de la comunidad de macroinvertebrados refleja las condiciones ambientales, puesto que tienen diferentes grados de tolerancia a los contaminantes.
- b) Son buenas indicadoras de condiciones localizadas.
- c) Son aparentes, abundantes y relativamente sedentarios
- d) Son relativamente simples de identificar hasta el nivel de familia.
- e) Son fáciles de coleccionar y se requiere de poco equipo.
- f) El muestreo tiene poco impacto en el detrimento de la biota residente.
- g) Son una fuente primaria de recursos alimenticios para muchas especies de peces, incluyendo las importantes comercialmente y las de uso recreativo.

Los objetivos de ésta sección son conocer la metodología, para extraer muestras de los macroinvertebrados acuáticos y el de informar sobre los procedimientos que permiten calcular el IIBAMA.

#### 5.7.1. Selección de sitios de muestreo

El índice puede ser calculado para distintos tramos de un mismo río, puesto que por la dinámica de las corrientes, que promueven sistemas de depuración del agua y de re-establecimiento del estado más probable (tipo de corriente), además de los efectos de alteraciones puntuales y no puntuales; un mismo sistema puede tener condiciones distintas en tramos diferentes. Por lo mismo, en estudios que involucren objetivos en escala de redes de escurrimiento superficial o de cuenca, se debe tener muy claro cuáles son los tramos que se desean medir. Debido a que el muestreo es multihábitat, en los sitios seleccionados, se deberá estimar la proporción de secciones de la corriente. Considerando como secciones a los estanques y los rabiones:

**Estanque:** Zona en la que el agua pierde velocidad, debido a que aumenta la profundidad, están generalmente asociados a las zonas de recurvamiento de los cauces. Se caracterizan por condiciones lóxicas/lénticas. Aunque frecuentemente se encuentran como resultado de acciones humanas, tales como el reacomodo de las rocas con fines de represamiento del agua.

**Rabión:** Zona en la que de manera natural se encuentran acomodadas las rocas de tal forma que se tiene poca profundidad, la velocidad de la corriente aumenta y se aprecia que el agua está cambiando a colores blancos por efecto del rebote del agua con las rocas.

Una vez estimada la proporción de las secciones, deberá hacerse el muestreo en forma proporcional, por ejemplo, si en el tramo en estudio los estanques ocupan el 75 % y los rabiones el

25%, se tomará la muestra de forma que esa proporción se conserve en la cantidad de áreas que se van a muestrear. Así, el muestreo deberá hacerse por ocho extracciones en espacios de 50 cm de longitud o bien cuatro de un metro de longitud cada una con el uso de una red acuática "D" de 30 cm de ancho y 250-300  $\mu\text{m}$  de abertura de malla, se extraerán los organismos cuidando que en cada sección se tengan representadas las diferentes condiciones presentes en el tramo bajo estudio.

Esto implica que antes de tomar la muestra, se haga un reconocimiento del área en la que se pretende medir la integridad biótica para estimar la proporción rabiones-estanques.

#### 5.7.2. Muestreo de las comunidades de macroinvertebrados

Los muestreos son de carácter semi-cuantitativo y se realizan principalmente en corrientes perennes, puesto que en este tipo de sistemas ocurren las condiciones para el establecimiento de comunidades acuáticas.

Las condiciones a considerar, tanto para estanques como para rápidos, son:

**Vegetación.** Se consideran las áreas cubiertas por vegetación riparia con alguna estructura en contacto con el agua, tales como raíces y tallos. También se incluyen todas aquellas formas de vegetación acuática y subacuática.

**Rocas.** En ellas se consideran los sustratos rocosos tanto sumergidos, como aquellas áreas de fuerte influencia por la humedad.

**Otros.** Cualquier otro sustrato que halla en el ambiente, ya sea sumergido o que se encuentre afectado por la humedad, tales como tallos de árboles caídos.

En campo (figura 8), todo el contenido de la red se fija en alcohol al 80% y se transporta al laboratorio con los datos de colecta ambientales tomados. Para ser separado, identificado y cuantificado.



Figura 8. Trabajo de separación, fijación y etiquetado de muestras en campo.

La identificación taxonómica de los organismos se hace hasta el nivel de familia, para lo que se emplean las guías y claves especializadas por grupos. Se elabora la tabla de datos con algún procesador de cálculo p.e. Excel (tabla 4), en la que se enlistan las familias identificadas, agregando: El número de organismos encontrados para cada familia en la muestra (Abundancia), este dato es el resultado de promediar el número de organismos de cada familia encontrada en las repeticiones de la muestra, la tolerancia, el valor de tolerancia, el gremio trófico y los hábitos de vida para cada familia, estas cuatro últimas variables se toman del anexo "A".

Tabla 4. Ejemplo de cómo se elaboran las hojas de cálculo para cada sitio de muestreo.

Nombre del sitio: El Arroyo Hondo				Fecha: 12/04/2014	
Microcuenca: Ahuacatlán		Localización: Querétaro		Orden de la corriente: 3	
FAMILIA	ABUNDANCIA	TOLERANCIA	VALOR DE TOLERANCIA	GREMIO	HÁBITOS
Naididae	10	MUY TOLERANTE	9	RECOL/DEP	EXCAV
Hydracarinae	9	TOLERANTE	6	DEP	
Ephemerellidae	27	SENSIBLE	3	RECOL/RAS	FIJO
Baetidae	6	TOLERANTE	5	RECOL/RAS	FIJO
Cordulidae	1	MUY SENSIBLE	2	DEP	EXCAV
Notonectidae	1	TOLERANTE	4		NAD
Veliidae	51	TOLERANTE	6	DEP	PAT
Gerridae	3	TOLERANTE	5	DEP	PAT
Corixidae	30	TOLERANTE	5	DEP	NAD
Hydroptilidae	4	SENSIBLE	4	COR	FIJO
Chironomidae	21	MUY TOLERANTE	9	RECOL	EXCAV
Ceratopogonidae	1	TOLERANTE	6	DEP	EXCAV

Abreviaturas: DEP=depredador, RECOL=recolector, RAS=raspador, COR= cortador , EXCAV=excavador, EXTE= ,NAD= nadador, PAT=patinador.

### 5.7.3. Índice de Integridad Biótica

Para la construcción del Índice de Integridad, se utilizan los datos biológicos y de campo obtenidos durante el muestreo de la época de sequía, por considerar que es esta la época en la que las corrientes son más estables y porque se pueden obtener muestras de los taxa que son residentes en los sitios de muestreo, minimizando el efecto de deriva provocado por las variaciones en el flujo durante la época de precipitaciones o por ingreso accidental de fauna terrestre que ocurren en estas condiciones.

Para la construcción del índice de integridad biótica, se asume que es posible obtener información sobre la integridad de las asociaciones biológicas, con base en las características de estas, las cuales pueden variar de una forma predecible, cuando se incrementa la influencia humana sobre los ecosistemas. A este grupo de características se les define como las variables de respuesta al ambiente (VRA).

El tratamiento de los valores de las variables en categorías, al igual que en el índice de calidad ambiental, permite eliminar unidades propias para cada medición. De lo que se deriva una fórmula, cuya expresión matemática es una suma no ponderada:

$$IBI = \Sigma VRA$$

En la que el efecto aditivo de las variables tiende a indicar la integridad del sistema en estudio. Las variables de respuesta al ambiente (VRA) que se emplean para calcular el Índice de Integridad Biótica, son:

**Riqueza de taxa (RT).** Se refiere al número de familias de macroinvertebrados encontradas en el sitio de referencia, en el ejemplo puesto en el cuadro 1, es de 12.

**Número de familias de Efemerópteros, Plecópteros Tricópteros (REPT).** Se calcula con el número de familias de Efemerópteros (excepto la familia Baetidae), Plecópteros y Tricópteros; encontradas en la muestra. En el ejemplo únicamente hay dos familias de Efemerópteros (Ephemerellidae y Baetidae) y una de tricópteros (Hydroptilidae); por lo que el valor de esta variable es 2.

**El número de taxa de insectos intolerantes (RII).** Se refiere al número de familias de insectos acuáticos que son intolerantes (sensibles) o muy intolerantes (muy sensibles). En el ejemplo, las familias Ephemerellidae, Corduliidae e Hydroptilidae, tienen estas categorías, por lo que el valor de la variable es 3.

**Número de taxa intolerantes (#TI).** A la variable anterior hay que sumarle el número de otras familias de macroinvertebrados que no son tolerantes. Para el ejemplo esta variable vale cero (0).

**Valor de la Tolerancia media.** Corresponde al promedio de los valores de tolerancia presentes en la muestra. En el ejemplo, equivale a 5.33.

**El # de Taxa fijos (#TF).** Corresponde al número de taxa que tienen hábitos de vida fijos al substrato. En el ejemplo, sólo dos familias tienen estos hábitos, la variable vale 2.

Ahora hay que recurrir al cuadro de calificación de las variables de acuerdo al valor que tuvieron (tabla 5), para conocer la categoría a la que pertenece la variable. En esta tabla la letra "Y" indica el valor de la variable.

Tabla 5. Valores de las categorías de las variables para calcular el Índice de Integridad Biótica

VARIABLE	CAT1	CAT2	CAT3	CAT4	RESPUESTA AL IMPACTO
RT	$Y < 23$	$23 \leq Y < 27$	$27 \leq Y < 30$	$Y \geq 30$	DESCIENDE
REPT	$Y < 9$	$Y = 9$	$Y = 10$	$Y \geq 11$	DESCIENDE
RII	$Y < 9$	$9 \leq Y < 12$	$12 \leq Y < 14$	$Y \geq 14$	DESCIENDE
#TI	$Y < 10$	$10 \leq Y < 12$	$12 \leq Y < 14$	$Y \geq 14$	DESCIENDE
TM	$Y \geq 5.33$	$5.13 \leq Y < 5.33$	$4.65 \leq Y < 5.13$	$Y < 4.65$	AUMENTA
#TF	$Y < 9$	$9 \leq Y < 11$	$Y = 11$	$Y \geq 12$	DESCIENDE

Con esto se determina que el sitio de ejemplo pertenece a las siguientes categorías enlistadas en la tabla 6.

Tabla 6. Valores de las categorías de las variables para el sitio de referencia.

VARIABLE	VALOR DE LA VARIABLE	CATEGORIA	PUNTOS OBTENIDOS
RT	12	CAT 1	1
REPT	2	CAT 1	1
RII	3	CAT 1	1
#TI	0	CAT 1	1
TM	5.33	CAT 1	1
#TF	2	CAT 1	1

Aplicando la fórmula del índice para calcular el IBI, se suman los puntos que aporta cada variable

$$IBI = RT(1) + REPT(1) + RII(1) + \#TI(1) + TM(1) + \#TF(1)$$

$$IBI = 6$$

De lo que resulta que en el ejemplo en el sitio de referencia el IBI tiene seis puntos. Empleando el cuadro de estimación del índice (tabla 7), se busca la categoría a la que corresponden estos puntos.

De manera que el sitio de referencia en el ejemplo corresponde a la categoría **Pobre**. Lo que indica que este sitio se encuentra muy degradado.

Tabla 7. Categorías del Índice de Integridad Biótica (IBI).

Valor del IBI	Categoría	INTERPRETACIÓN	ASOCIACIÓN A LAS ALTERACIONES ECOHIDROÓGICAS DE LA NMX-AA-159-SCFI-2012
IBI ≥ 22	Excelente	Las comunidades de macroinvertebrados tienen una composición y organización funcional comparable con la condición natural. No se requieren acciones de intervención para rehabilitar a los ecosistemas. Se trata de sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. Se relaciona estrechamente con la condición óptima de la Valoración de la Calidad Ambiental Visual; aunque valores en el intervalo de 21 a 23 se pueden asociar a la condición subóptima de Calidad Ambiental, en especial cuando la degradación del cauce es de origen físico pero no afecta a los procesos de transporte y no recibe descargas de aguas residuales.	Hábitat único por su diversidad y funcionamiento, que mantienen su estructura natural e integridad ecológica asociada a los servicios ecosistémicos aportados y que están intactos. La zona de captación se conserva.
16 < IBI < 21	Bueno	Las comunidades de Macroinvertebrados Acuáticos tienen una composición que ha sido afectada, puesto que se han perdido los taxa más intolerantes y en especial los de hábitos fijos. Aún es sostenible y aunque se han perdido algunos taxa, se conservan los que mantienen los mecanismos de flujo energético, dado que la organización funcional se conserva. Se asocia a la condición subóptima de Calidad Ambiental, cuando los impactos no han modificado la capacidad de transporte del flujo, se puede asociar a la condición ambiental óptima, en especial si la degradación ambiental no ha embebido a los sustratos.	Hábitat único por su diversidad y funcionamiento, en los que predomina su estructura natural y que básicamente conservan su integridad ecológica, y en consecuencia, los servicios ecosistémicos que aportan. La zona de captación se conserva.
13 < IBI < 16	Regular	Las comunidades de macroinvertebrados Acuáticos se encuentran impactadas y se han perdido los taxa muy intolerantes y la mayoría de los intolerantes. Debido a la pérdida de los taxa de hábitos fijos y que funcionalmente pertenecen a los gremios de organismos cortadores, desmenuzadores y raspadores, las cadenas tróficas se ven disminuidas y se	La zona de captación y el hábitat se encuentra moderadamente alterada. Conservan en alguna medida su funcionamiento, estructura y servicios básicos, a pesar de haber presentado cambios físicos.

		encuentran afectados los mecanismos de transferencia de energía del ambiente terrestre al acuático. Se asocia a la condición marginal de la Calidad Ambiental y en casos donde además exista ingreso de aguas residuales se asocia a la condición pobre de la Calidad del Ambiente.	
IBI <13	Pobre	La comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos no es sostenible, se han perdido la mayoría o todos los procesos necesarios para el mantenimiento de los flujos energéticos en el sistema. La composición está dominada por organismos muy tolerantes y algunos tolerantes, pero la totalidad de los taxa muy intolerantes e intolerantes se ha perdido. La organización trófica se encuentra reducida a organismos depredadores, recolectores y colectores. Estos sitios no son aptos para la conservación de la diversidad biológica; aunque con acciones de transformación de hábitat es posible recuperar parcialmente la estructura y organización funcional de las comunidades. Se asocia a la condición pobre de la Calidad Ambiental, pero se ha observado que existen sitios con condición subóptima y marginal que pueden tener integridad pobre, pero esto ocurre cuando existen descargas de aguas residuales que modifican la calidad del agua a las categorías de agua contaminada a inaceptable valorado con el índice de Calidad del Agua con base en las Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas aplicables.	Zona de captación sometida a fuerte presión por el agua y cambio de uso del suelo. Cauces invadidos, obstruidos, abandonados, modificados, canalizados o destruidos por actividades de extracción, cuyos cambios en casos extremos son irreversibles. Integridad ecológica completamente perdida y en ocasiones solo se conservan los servicios ambientales más básicos.

### 5.8. Valoración de la calidad visual

El método está tomado de Barbour *et al.* (1998), para consultas posteriores el documento está disponible en la dirección <http://www.epa.gov/OWOW/monitoring/techmon.html>, el protocolo de calidad ambiental visual se encuentra en la sección 5.2 del capítulo 5 entre las páginas 5-11 y 5-31.

Es recomendable que para estudios puntuales se considere conforme a la **NMX-AA-159-SCFI-2012**, que el tramo corresponde con cinco veces el ancho del canal, considerado como la zona federal.

Para estudios dentro de un mismo cauce, es preferible utilizar como tramo 40 veces el ancho del canal considerado como la ribera máxima.

Una vez determinado el sitio de análisis se deberá recorrer todo el tramo y definir si se trata de un río de gradiente alto cuando la pendiente del cauce es mayor al 3% o de gradiente bajo si esta es menor o igual a 3% (0.03). Esta anotación es importante ya que las variables que serán empleadas en la valoración dependen del gradiente. Así las que se miden en ambos gradientes serán indicadas como AG, las de gradiente alto son GA y las de bajo se denotan como GB. Cada variable se califica de manera independiente y se asigna el número puntos que se considere con base en la categoría que corresponda.

La condición de la vegetación ribereña y riparia, en ambas riberas, se obtiene de estimar el porcentaje del área en cada ribera que está protegido por la vegetación ribereña y el ancho promedio de la vegetación riparia. Para efecto de este protocolo considerar que la vegetación ribereña es la que se encuentra entre el cauce activo y la ribera máxima y vegetación riparia es la que se encuentra hacia las tierras transicionales o en la planicie de inundación a partir de la ribera máxima. A continuación se muestran las variables a calificar

**1. Substrato disponible para la Macrofauna (AG).** Se refiere a la cantidad y variabilidad de sustratos disponibles para el asentamiento de macroinvertebrados. Es importante que se considere que los sustratos deben ser los esperados para el sitio, en la cabecera se trata de roca madre, rocas grandes y pequeñas, guijarros grandes, medianos y pequeños, gravas y arenas. En tanto que para la zona de depósitos (parte baja de la cuenca), es más probable encontrar partículas pequeñas y no se espera roca madre o rocas grandes. Además, de encontrar sustratos propios de la vegetación riparia y ribereña, como hojarasca, ramas y troncos.

Condición –Categoría de la Variable			
Óptima	Subóptima	Marginal	Pobre
Más del 70% del tramo (50% en corrientes de gradiente bajo), contiene la combinación de sustratos estables que se esperan encontrar en el sitio, son susceptibles de ser colonizados o para el establecimiento de la macrofauna.	Entre el 40-70% (30-50% en corrientes de gradiente bajo), contiene la combinación de sustratos estables que se esperan encontrar en el sitio, son susceptibles de ser colonizados o para el establecimiento de la macrofauna. Es posible encontrar nuevos sustratos que constituyen hábitats adecuados para el mantenimiento de poblaciones de macroinvertebrados, aunque todavía no se encuentren colonizados.	Entre el 20-40% (10-30% en corrientes de gradiente bajo), contiene la combinación de sustratos estables que se esperan encontrar en el sitio, son susceptibles de ser colonizados o para el establecimiento de la macrofauna. Con frecuencia los sustratos han sido removidos por actividad antrópica.	Menos que 20% (10% en corrientes de gradiente bajo), contiene la combinación de sustratos estables que se esperan encontrar en el sitio, son susceptibles de ser colonizados o para el establecimiento de la macrofauna. La ausencia de sustratos es obvia por actividad antrópica. Existen sustratos inestables o recientemente removidos.
20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0

**2a. Embebimiento (GA).** Se refiere a la cantidad de los sustratos para la colonización de la macrofauna que se encuentran cubiertos de sedimentos finos, tales como cieno o arcilla, o bien por algas filamentosas.

Condición –Categoría de la Variable			
Óptima	Subóptima	Marginal	Pobre
Menos que el 25% de las partículas gruesas como Rocas, guijarros y gravas, se encuentran cubiertas por partículas finas o algas filamentosas, disminuyendo la diversidad de espacios para la colonización o establecimiento de la macrofauna.	Entre el 25-50% % de las partículas gruesas como Rocas, guijarros y gravas, se encuentran cubiertas por partículas finas o algas filamentosas.	Entre el 50-75% % de las partículas gruesas como Rocas, guijarros y gravas, se encuentran cubiertas por partículas finas o algas filamentosas.	Más del 75 % de las partículas gruesas como Rocas, guijarros y gravas, se encuentran cubiertas por partículas finas o algas filamentosas.
<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1 0</b>

**2b. Caracterización del sustrato de los estanques (GB).** Se refiere a la variedad de sustratos que conforman el fondo de los estanques. Califica la heterogeneidad del fondo de los estanques.

Condición –Categoría de la Variable			
Óptima	Subóptima	Marginal	Pobre
El fondo presenta mezclas de sustratos prevalentes y firmes, principalmente gravas y arenas. La vegetación sumergida y enraizada es común.	El fondo presenta mezclas de arenas suaves, lodo y arcilla. El lodo suele ser dominante. Algunas plantas sumergidas y enraizadas están presentes.	Todo el fondo está constituido por lodo o cieno o arena y con poca o sin vegetación sumergida y enraizada.	El fondo está constituido por lodo o cieno endurecido, en casos externos por roca madre y sin vegetación sumergida o enraizada.
<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1 0</b>

**3a. Patrones de velocidad/profundidad (GA).** Esta variable califica la forma como la corriente se encuentra en el cauce, toma en cuenta la presencia de cuatro patrones: Rápido/profundo, Lento/profundo, Rápido/somero y lento/somero; debido a que se califica para el gradiente alto, se considera profundo si la columna tiene una altura mayor a 0.5 m y rápido si la velocidad es mayor a 0.3 m/s. No se requieren instrumentos de medición de velocidad, ya que con este valor una partícula flotante se desplaza muy suavemente.

Condición –Categoría de la Variable			
Óptima	Subóptima	Marginal	Pobre
Todos los patrones de velocidad y profundidad están presentes.	Solo se encuentran tres de los cuatro patrones. Si falta rápido/somero, se debe calificar con menos puntos.	Únicamente dos de los cuatro patrones están presentes. Si falta rápido/somero o suave/somero, se debe calificar con menos puntos.	Se presenta un solo patrón o es muy dominante, usualmente es suave y profundo.
<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1 0</b>

**3b. Variabilidad de los estanques (GB).** Considera la variabilidad en el tamaño y profundidad de los estanques. Con cuatro tipos: estanques pequeños y someros, estanques pequeños y profundos, estanques grandes y someros y estanques grandes y profundos. Se consideran

estanques grandes aquellos que cualquiera de las secciones (largo, ancho u oblicua), sea mayor que la sección transversal y es profundo si la profundidad promedio es mayor a un metro.

Condición –Categoría de la Variable			
Óptima	Subóptima	Marginal	Pobre
Todos los tipos de estanque están presentes en el tramo.	La mayoría de los estanques son grandes y profundos. Hay muy pocos estanques someros.	Los estanques someros son más comunes que los profundos.	La mayoría de los estanques son pequeños y someros o no hay estanques.
20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0

**4. Gradiente de sedimentación (AG).** Califica la acumulación anómala de sedimentos en forma de “islas”. En corrientes de gradiente alto, la sedimentación ocurre principalmente en las orillas y en los de gradiente bajo, no se deben formar “islas”. Esta variable es un indicador de los mecanismos de transporte del cauce, por lo mismo se debe calificar estrictamente.

Condición –Categoría de la Variable			
Óptima	Subóptima	Marginal	Pobre
Menos del 5% del tramo en estudio presenta acumulación de sedimentos en las áreas centrales del cauce, en gradiente bajo se considera menos del 20%.	Se observa que la acumulación de sedimentos (gravas, arenas o partículas finas) en el interior del cauce ocupan entre el 5-30% del tramo en estudio, en el gradiente bajo se acepta que en los estanques está afectado entre el 20-30%.	Existe moderada sedimentación anómala, entre el 30-50% del tramo en estudio presenta estas acumulaciones de materiales finos, arenas y gravas. Es evidente que materiales nuevos están depositados sobre materiales viejos. En gradiente bajo se acepta que el 50_80% de los estanques muestren esta afectación.	La sedimentación de materiales finos, arenas o gravas es intensa, el desarrollo de estas acumulaciones cubre más del 50%. En el gradiente bajo es mayor al 80%, lo que hace que casi sean inexistentes los estanques.
20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0

**5. Status del flujo (AG).** Considera la forma como la corriente toca las riberas. Califica el hecho de que el agua esté en contacto con ambas riberas.

Condición –Categoría de la Variable			
Óptima	Subóptima	Marginal	Pobre
El agua toca la base de ambas riberas y una mínima cantidad de sustratos se encuentra expuesta.	El agua toca más del 75% de la base de las riberas o bien menos del 25% de los sustratos de las riberas se encuentra expuesto.	El agua toca entre el 75-25% de la base de las riberas y/o la mayor parte de los sustratos de los rabiones se encuentra expuesta.	Hay muy poca agua en el cauce lo que hace que los materiales de ribera estén expuestos y el agua únicamente se mantiene en interior de pequeños estanques.
20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0

**6. Alteraciones del canal (AG).** Se consideran aquellas evidencias de modificaciones y/o alteraciones en el canal, como resultado de obras construidas por el hombre.

Condición –Categoría de la Variable			
Óptima	Subóptima	Marginal	Pobre
La evidencia de canalización o dragado es ausente en el tramo en estudio, tampoco existen vados, puentes o cualquier otra obra antrópica que modifique el cauce. Todos los patrones de la corriente son naturales.	Existe evidencia de canalización, usualmente en áreas aledañas a puentes. Es posible encontrar evidencia de dragado o canalización ocurrida hace más de 20 años, pero no se tiene evidencia de estos impactos recientemente.	La canalización es extensiva, puede ocurrir la presencia de obras que modifiquen las riberas, como caminos, recolectores u otras estructuras sobre las riberas, entre el 40-80% del cauce está canalizado o afectado. Se califican con mayor rigor aquellas obras que afecten directamente el caudal, como estructuras de control de la corriente.	Con cualquiera de las siguientes condiciones: Las riberas y el fondo del cauce están recubiertos por gaviones o cemento. Más del 80% del cauce está canalizado o dragado. El interior del cauce ha sido completamente removido.
20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0

**7a. Frecuencia de Rabiones (GA).** Toma en cuenta la frecuencia de los rabiones considerando el ancho del cauce y la distancia promedio que separa a los rabiones. Se estima dividiendo la distancia promedio que separa los rabiones entre el ancho del canal.

Condición –Categoría de la Variable			
Óptima	Subóptima	Marginal	Pobre
Los rabiones son frecuentes, el cociente de la distancia que separa los rabiones entre el ancho del cauce es menor a 7, generalmente de 5 a 7. La variedad de hábitas es clave en cauces donde la presencia de rabiones es continua.	Los rabiones son poco frecuentes, el cociente de la distancia que separa los rabiones entre el ancho del cauce es entre 7 a 15.	Los rabiones son ocasionales, el cociente de la distancia que separa los rabiones entre el ancho del cauce es entre 15 a 25.	No hay rabiones o son escasos, el cociente de la distancia que separa los rabiones entre el ancho del cauce es mayor a 25. La variedad de hábitat es muy pobre.
20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0

**7b. Sinuosidad del canal (GB).** Califica la relación entre la longitud del cauce (LC) y la longitud del valle (LV). LC se considera la longitud del Thalweg o bien de la línea de máxima profundidad, en tanto que LV es la longitud del cauce en línea recta.

Condición –Categoría de la Variable			
Óptima	Subóptima	Marginal	Pobre
Las curvaturas del cauce incrementan su longitud de 3 a 4 veces más que la longitud en línea recta. En planicies costeras, especialmente en zonas de delta, este parámetro es difícil de estimar.	Las curvaturas del cauce incrementan su longitud de 2 a 3 veces más que la longitud en línea recta.	Las curvaturas del cauce incrementan su longitud de 1 a 2 veces más que la longitud en línea recta.	El cauce es recto en el tramo en estudio.
20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0

**8. Estabilidad de las riberas (AG).** Se refiere a la proporción que ocupan en el tramo las evidencias de erosión y/o fallas de las riberas.

**NOTA.** A partir de esta variable, la calificación se asigna de manera independiente a cada ribera, por lo que en adelante cambia el área de calificación y sus intervalos de variación.

RIBERA	Condición –Categoría de la Variable										
	Óptima		Subóptima			Marginal			Pobre		
	La ribera es estable, la evidencia de erosión o de falla de ribera es mínima o no existe, menos del 5% de la ribera se encuentra afectada.		La ribera es moderadamente estable, la evidencia de erosión o de falla de ribera ocupa entre el 5-30% de la ribera afectada.			La ribera es moderadamente inestable, la evidencia de erosión o de falla de ribera ocupa entre el 30-60% de la ribera afectada.			La ribera es inestable, la evidencia de erosión o de falla de ribera ocupa más del 60% de la ribera afectada.		
IZQ	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DER	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

**9. Protección vegetal de las riberas (AG).** Estima la proporción de las riberas del cauce que se encuentran protegidas por vegetación ribereña nativa. En gradiente alto, esta vegetación se compone de elementos herbáceos, arbustivos y arbóreos, pero siempre asociados a rocas grandes; en este caso, la protección de las riberas está dada por la estructura rocosa de las mismas. En gradiente bajo, esta vegetación esta fundamentalmente compuesta por herbáceas, de manera que la presencia de árboles y arbustos no es una condición deseada y generalmente son el resultado de intervención humana. Se muestran ejemplos en la figura 9.

RIBERA	Condición –Categoría de la Variable										
	Óptima		Subóptima			Marginal			Pobre		
	Más del 90% de la ribera se encuentra cubierta de vegetación nativa. La evidencia de pastoría es mínima o no existe, de modo que la mayoría de las plantas tienen un crecimiento natural.		Entre el 70-90% de la ribera se encuentra cubierta de vegetación nativa. Algunas clases de plantas no están bien representadas. La evidencia de pastoría no ha afectado el crecimiento natural de la mayoría de las plantas.			Entre el 50-70% de la ribera conserva vegetación ribereña, con frecuencia se trata de parches de vegetación nativa separados por áreas desnudas.			Menos del 50% de la ribera conserva vegetación ribereña,		
IZQ	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DER	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0



Figura 9. Ejemplos de protección de riberas en condición óptima (izquierda) y pobre (derecha).

**10. Ancho de la zona de vegetación riparia (AG).** Estima el ancho de la zona de amortiguamiento proporcionado por la vegetación nativa de la zona riparia en ambas riberas. Se debe considerar que hay formas de vegetación que ocupan áreas de máxima ribera o de planicie de inundación, por ejemplo, la vegetación de Páramo puede ser tocada por el agua del cauce, en estos casos y si la vegetación del lugar está bien conservada, se considera una condición óptima. La vegetación propia de cultivos no es una condición deseable.

RIBERA	Condición –Categoría de la Variable										
	Óptima		Subóptima			Marginal			Pobre		
	El ancho de la vegetación riparia es mayor a 18 metros. Las actividades antrópicas no han impactado esta zona.		El ancho de la vegetación riparia es entre 18-12 metros. Las actividades antrópicas han impactado mínimamente a esta zona.			El ancho de la vegetación riparia es entre 12 y 6 metros. Las actividades antrópicas han impactado considerablemente a esta zona.			El ancho de la zona riparia es menor a 6 metros y hay poca o no hay vegetación riparia por efecto de actividades antrópicas.		
IZQ	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DER	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Las calificaciones se asientan en el formato 1 y se suman los puntos de cada variable para obtener la categoría de la Valoración de la Calidad Ambiental Visual que tiene el sitio (cuadro 1). Debido a que cada variable se calificó de manera independiente, se puede reconocer cuales son los efectos de las afectaciones humanas sobre el cauce y con ello, orientar acciones de rehabilitación de los cauces.

**Formato 1 para el registro de datos para calidad del ambiente**

ID: \_\_\_\_\_ Localidad: \_\_\_\_\_

Estado: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Coordenadas: \_\_\_\_\_

Altitud: \_\_\_\_\_ Cuenca: \_\_\_\_\_ Microcuenca: \_\_\_\_\_

Nombre del cuerpo de agua: \_\_\_\_\_ Tipo de Cuerpo de agua \_\_\_\_\_

Orden: \_\_\_\_\_ Gradiente: \_\_\_\_\_ Clima: \_\_\_\_\_

Material Litológico: \_\_\_\_\_ Tipo de Vegetación: \_\_\_\_\_

1. Sustrato disponible para la macrofauna (AG).	2ª. Embebimiento (GA).	2b. Caracterización del sustrato de los estanques (GB).	3a. Patrones de Velocidad/profundidad (GA).	3b. Variabilidad de estanques (GB).	4. Gradiente de Sedimentación (AG).	5. Status del flujo (AG).
6. Alteraciones del canal (AG).	7a. Frecuencia de Riffles (GA).	7b. Sinuosidad del canal (GB).	8. Estabilidad de las riberas (AG).	9. Protección vegetal de las riberas (AG).	10. Ancho de la zona de vegetación riparia (AG).	
			(Izq)	(Izq)	(Izq)	
			(Der)	(Der)	(Der)	

**Cuadro 1 de calificación de la calidad visual**

CATEGORÍA	INTERVALO	CALIFICACIÓN	INTERPRETACIÓN	ASOCIACIÓN A LAS ALTERACIONES ECOHIDROÓGICAS DE LA NMX-AA-159-SCFI-2012
ÓPTIMA	16 - 20	200 - 165	Es comparable con el ambiente natural y en consecuencia se trata de zonas prioritarias para la conservación de los procesos ecosistémicos que mantienen la diversidad biológica de la zona de estudio.	Nula o mínima. Se conserva el régimen natural.
SUBÓPTIMA	11 - 15	164 - 143	Es sostenible y aunque se han perdido algunos procesos ecosistémicos, se conservan los que mantienen los mecanismos de transporte y disipación de la energía dentro del cauce, por lo que la rehabilitación de estos cauces podría hacerse únicamente con programas de intervención pasiva, como aislar a los cauces de las actividades humanas que les han impactado y muy pocas acciones activas donde ocurren programas de revegetación o de reconstrucción de riberas.	Presencia mínima de infraestructura antropogénica (caminos, granjas, descargas domésticas de aguas residuales). Alteraciones moderadas al régimen natural.
MARGINAL	6 - 10	142 - 109	Se trata de sitios con impactos de fuertes a moderados en los que los programas de rehabilitación son principalmente con programas de acciones activas, tales como, modificación de las riberas para la revegetación de las mismas.	Presencia evidente infraestructura antropogénica. Alteraciones evidentes y significativas, pero se mantienen ciertos componentes del régimen hidrológico.
POBRE	0 - 5	109 - 0	No es un sitio sostenible, se han perdido la mayoría o todos los procesos ecosistémicos necesarios para la conservación de la diversidad biológica de zona de estudio.	Alta presencia de infraestructura antropogénica. Régimen Completamente alterado.

### 5.9. Determinación del estado más probable (Tipo de cauce)

Para estipular el tipo de cauce con base en las características del cauce y los procesos de disipación de la energía, se emplea el protocolo de Rosgen (1996), el cual se complementa con la metodología de Bunte y Abt (2001), para determinar el tipo de sustrato, empleando el criterio  $D_{50}$ , el cual se basa en la frecuencia acumulada del muestreo de los sustratos, considerando que en la clase donde se acumula el 50 % de la frecuencia de los diámetros medidos en las partículas del fondo, es el sustrato dominante en los sustratos del cauce. Se emplearon las siguientes variables geomorfológicas:

- **Ancho de la Máxima Ribera (AMR).** Corresponde con la longitud total entre los puntos del estado de máxima ribera encontrados en los márgenes del cauce.
- **Profundidad Media** ( $\bar{P} = \frac{\sum P_i}{P_n}$ ). Es el valor promedio de la profundidad, referida a partir del estado de máxima ribera al fondo del sustrato.
- **Tasa ancho/profundidad** ( $TA / \bar{P} = \frac{AMR}{\bar{P}}$ ). Refleja la relación que existe entre el ancho de la máxima ribera y la profundidad media del cauce.
- **Profundidad máxima: Máxima** distancia entre el nivel de la máxima ribera y el fondo del cauce.
- **Altura del Área de Inundación.** Corresponde al doble de la máxima profundidad.
- **Ancho del área de inundación (AAI).** Distancia máxima de los márgenes en el nivel de la altura del área de inundación.
- **Tasa de confinamiento** ( $TC = \frac{AAI}{AMR}$ ). Es la relación entre el ancho del área de inundación y el ancho de la máxima ribera, es una forma de conocer la pendiente de los taludes, en su parte más próxima al cauce activo.
- **Pendiente** ( $GP = \frac{h}{d}$ ). Se refiere a la diferencia de altura del agua con respecto al talud en un tramo del cauce.
- **Sinuosidad** ( $S = \frac{l_c}{l_v}$ ). Es la relación entre la longitud del cauce y la del valle, en un tramo de la corriente. Refleja el recurvamiento del sistema.

- **Tipo de corriente.** Corresponde al estado más probable del cauce, con base en la posición topográfica y las fuerzas constructoras del sistema.

Se emplea un nivel Lasermark CST/ Berger, para determinar las variaciones de profundidad a cada 40 cm y obtener el perfil del cauce (figura 10). La primera sección transversal determinada, se consideró como la sección central para establecer el tramo en estudio, conforme a la NMX-AA-159-SCFI-2012 fue de cinco veces el ancho del cauce, tomando como referencia la zona federal.



Figura 10. Trabajo en campo para el análisis de la ribera máxima y medición de la profundidad (izquierda), así como la determinación del área de inundación.

#### 5.10. Análisis de estructura y composición de los ensamblajes encontrados: Grupos funcionales, valores de tolerancia y gremios tróficos

La identificación mínima de los macroinvertebrados recolectados es a nivel de familia, ya que este nivel es buen estimador según Williams y Gaston (1994), los niveles taxonómicos altos pueden predecir la diversidad a nivel específico y además los costos se reducen (Greffard et al 2011 y Mitchell et al. 1995).

El reconocimiento taxonómico se hará utilizando los criterios de Merrit et al. (2008), Thorp y Covich (2001), Wiggins (1994) y Stehr (1987); excepto los oligoquetos, que se determinarán a nivel de clase puesto que todas las familias de la misma tienen hábitos colectores y excavadores.

Para determinar la pertenencia a los gremios tróficos y los hábitos de los taxa encontrados, se utilizan los criterios de Ramírez y Gutiérrez-Fonseca, 2014 para los primeros, y de manera complementaria, Merrit et al. (2008), complementados con Barbour et al. (1999) para los segundos.

Finalmente, en el **ANEXO 1** se muestra un formato para la determinación de sustratos, mientras que en el **ANEXO 2** se presenta la información preliminar para la fauna mexicana de

macroinvertebrados, y en el **ANEXO 3** los Datos de tolerancia y hábitos conocidos para las subfamilias y tribus de la familia Chironomidae.

Los sitios serán previamente clasificados utilizando sus valores de integridad biótica Pérez-Munguía y Pineda- López (2005) y la Calidad Ambiental Visual (VCAV), Barbour et al. (1999) y, los análisis de la estructura de la comunidad por temporadas utilizando los paquetes estadísticos MVSP v.3.01 (Kovach Computing Services 1998) y PAST v.1.74 (Hammer *et al* 2001), determinando de acuerdo con Magurran (1988) y Moreno (2001). Así mismo, se estimará la diversidad gamma conforme a Schluter y Ricklefs (1993 en Moreno 2001), quienes proponen la medición de la diversidad gamma con base en los componentes alfa, beta y la dimensión espacial. Al final para determinar si hay diferencia entre el uso de los distintos índices utilizados, se realizarán pruebas de ANOVA y regresiones utilizando el paquete estadístico JMP v.8 (SAS institute, 2008).

Con base en la información obtenida de manera paralela sobre calidad del agua, sustratos y caudal, con valores referidos a las comunidades biológicas, se reconocerán las posibles relaciones entre las condiciones ambientales y la organización de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el área de estudio, utilizando análisis de ANOVA no paramétrica, de correspondencia canónica, de discriminantes y de ordenamiento (ACP y DECORANA) con los paquetes estadísticos JMP v.8 (SAS Institute, 2008) y MVSP v.3.01 (Kovach Computing Services 1998).

## 6. Comentarios finales

El presente protocolo para macroinvertebrados, resultó de la aplicación de la NMX-AA-159-SCFI-2012 en cuatro sistemas acuáticos de México: en la Costa Pacífica (dos cuencas) y el Golfo de México (dos cuencas), es decir, no representa la generalidad de los ecosistemas lóticos de nuestro país. Por ello, se considera como una primera aproximación para su constitución y deberá ser revisado continuamente, considerando la acumulación de experiencias.

El protocolo, se plantea de manera conjunta con dos determinaciones que pueden ser abordadas por otros grupos de trabajo disciplinares de trabajo con la NMX-AA-159-SCFI-2012 (calidad visual y estado más probable), pero que tienen implicaciones importantes para el análisis de la importancia ecológica y sensibilidad de los macroinvertebrados.

Se espera que con estas indicaciones, se homogenicen la selección de sitios de muestreo y las metodologías para determinar el estado ecológico, de manera que se cuente con elementos suficientes para determinar la importancia ecológica del grupo y su sensibilidad a los cambios de caudales como lo solicita la NMX-AA-159-SCFI-2012.

## 7. Referencias

- Barbour, M. T.;** J. Gerritsen; B. D. Zinder and J. B. Stribling. 1999. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. Second Edition. EPA 841 –B41-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C.
- Bunte, K & S.R. Abt.** 2001. *Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadeable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-74. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 428 p.
- Greffard, M. H.,** É. Saulnier-Talbot e I.Gregory-Eaves. 2011. A comparative analysis of fine versus coarse taxonomic resolution in benthic chironomid community analyses. *Ecol. Indic.* 11: 1541–1551
- Maue, T. y M. Springer.** 2008 Effect of methodology and sampling time on the taxa richness of aquatic macroinvertebrates and subsequent changes in the water quality index from three tropical rivers, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 65:257-271.
- MINAE,** 2007. Reglamento para el vertido y reuso de aguas residuales, La Gaceta 55. Costa Rica
- Merrit, R. W.,** K.W. Cummins y M. B. Berg. 2008. *An Introduction to the aquatic insect of North America*. fourth edition. Kendall/Hunt publishing company. USA. 1158pp.
- Mitchell, L. F.,** T. L. Coan, A. M. S. McFarland y J. L.Lasswell. 1995. *Sampling Statistics for Higher Aquatic Taxa*. Texas Institute for Applied Environmental Research. USA.
- Pérez-Munguía, R.M.** y R. Pineda-López. 2005. Diseño de un Índice de Integridad Biótica, para ríos y arroyos del Centro de México, usando las asociaciones de Macroinvertebrados. *Entomología Mexicana* 2005. 4: 241-245.
- Rosgen, D.** 1996. *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology. USA.
- Springer, M.,** A. Ramírez y P. Hanson. 2010. Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 58 (Supl. 4). Costa Rica. 240 pp
- Williams, P.H.** y K. J. Gaston. 1994. Measuring more of Biodiversity: Can higher taxon Richness predict whosale species richness? *Biol. Conser.* 67: 211-217.

**ANEXO 1. Formato para la determinación de los sustratos del sitio**

<b>CONTEO DE PARTÍCULAS DEL SUBSTRATO</b>														
<b>LOCALIDAD:</b>						<b>TOTAL DE SECCIONES:</b>			<b>ESTANQUE</b>			<b>RÁPIDOS</b>		
<b>CUERPO DE AGUA:</b>						<b>FECHA:</b>			<b>FECHA</b>			<b>FECHA</b>		
<b>PARTÍCULAS</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>TOT #</b>	<b>% ITEM</b>	<b>% ACUM</b>	<b>TOT #</b>	<b>% ITEM</b>	<b>% ACUM</b>	<b>TOT #</b>	<b>% ITEM</b>	<b>% ACUM</b>
CIENO/ARCILLA	< 0.062	S/C												
MUY FINA	0.062 - 0.125	ARENA												
FINA	0.125 - 0.25													
MEDIANA	0.25 - 0.50													
GRUESA	0.50 - 1.0													
MUY GRUESA	1.0 - 2.0													
MUY FINA	2.0 - 4.0	GRAVA												
FINA	4.0 - 7.8													
MEDIANA	7.8 - 16													
GRUESA	16 - 32													
MUY GRUESA	32 - 64													
PEQUEÑOS	64 - 128	GUIJARROS												
GRANDES	128 - 256													
PEQUEÑAS	256 - 512	ROCAS												
MEDIANAS	512 - 1024													
MUY GRANDES	1024 - 2048													
ROCA MADRE	> 2048	ROCA MADRE												

**ANEXO 2. Fam. de macroinvertebrados acuáticos comunes en México, incluye valencia de tolerancia, gremios tróficos y hábitos**

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	VALENCIA DE TOLERANCIA	TOLERANCIA	GREMIO TROFICO	HABITOS DE VIDA
Cnidaria	Hydrozoa	Hydroida	Hydridae	4	Intolerante	Depredador	Fijo
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	1	Muy Intolerante	Omnívoro	Fijo
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	9	Muy Tolerante	Recolector/Depredador	Excavador
		Haplotaxida	Haplotaxidae	5	Intolerante	Colector/Filtrador	Excavador
		Tubificida	Naididae	9	Muy Tolerante	Recolector/Depredador	Excavador
	Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphonidae	8	Tolerante	Depredador	No Determinado
		Arhynchobdellida	Erpobdellidae	8	Tolerante	Depredador	No Determinado
Ectoprocta	Phylactolaemata		Fredericellidae	No Determinado	Muy Intolerante	No Determinado	No Determinado
Arthropoda	Crustacea	Isopoda	Asellidae	8	Tolerante	Recolector	Nadador
			Amphipoda	Hyalellidae	8	Tolerante	Recolector
		Talitridae		9	Muy Tolerante	Recolector	Nadador
		Gammaridae		5	Intolerante	Colector/Recolector	Nadador
		Decapoda		Cambaridae	6	Tolerante	Recolector
			Palaemonidae	6	Tolerante	Omnívoro/Colector/Recolector	Caminador
	Hydrachnida			5	Intolerante	Depredador	Fijo
	Collembola	Entomobryomorpha	Isotomidae	5	Intolerante	Recolector	Excavador
			Mackenziellidae	10	Muy Tolerante	Recolector	Excavador
			Entomobryiidae	8	Tolerante	Recolector	Excavador
	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	5	Intolerante	Recolector/Raspador	Fijo
			Caenidae	6	Tolerante	Colector/Recolector	Fijo
			Ephemerellidae	3	Intolerante	Recolector/Raspador	Fijo
			Ephemeridae	3	Intolerante	Recolector/Raspador	Excavador
			Ameletidae	0	Muy Intolerante	Colector/Recolector	Fijo
Heptageniidae			3	Intolerante	Recolector/Raspador	Fijo	

**ANEXO 2. Continuación**

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	VALENCIA DE TOLERANCIA	TOLERANCIA	GREMIO TROFICO	HABITOS DE VIDA
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	3	Intolerante	Recolector	Nadador
			Isonychidae	2	Muy Intolerante	Colector/Filtrador	Nadador
			Leptohiphidae	6	Tolerante	Recolector	Fijo
			Neophemeridae	2	Muy Intolerante	Colector	Fijo
			Potamanthidae	4	Intolerante	Recolector	Excavador
			Siphonuridae	7	Tolerante	Colector	Nadador
		Odonata	Aeshnidae	3	Intolerante	Depredador	Fijo
			Calopterygidae	6	Tolerante	Depredador	Trepador
			Coenagrionidae	8	Tolerante	Depredador	Trepador
			Cordulegastridae	3	Intolerante	Depredador	Excavador
			Cordulidae	2	Muy Intolerante	Depredador	Excavador
			Gomphidae	3	Intolerante	Depredador	Excavador
			Lestidae	9	Muy Tolerante	Depredador	Trepador
			Libellulidae	9	Muy Tolerante	Depredador	Nadador
			Platystictidae	No Determinado	No Determinado	Depredador	Nadador
			Petaluridae	No Determinado	No Determinado	Depredador	Nadador
		Plecoptera	Perlidae	1	Muy Intolerante	Depredador	Fijo
			Capniidae	2	Muy Intolerante	Desgarrador	Fijo
			Perlodidae	2	Muy Intolerante	Depredador	Fijo
			Leuctridae	0	Muy Intolerante	Desgarrador	Fijo
			Taeniopterygidae	2	Muy Intolerante	Desgarrador	Fijo
			Nemouridae	2	Muy Intolerante	Desgarrador	Fijo
		Hemiptera	Belostomatidae	10	Muy Tolerante	Depredador	Trepador
			Corixidae	9	Muy Tolerante	Depredador	Nadador
			Gerridae	5	Intolerante	Depredador	Patinador

**ANEXO 2. Continuación**

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	VALENCIA DE TOLERANCIA	TOLERANCIA	GREMIO TROFICO	HABITOS DE VIDA
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Hebridae	No Determinado	No Determinado	Depredador	Fijo
			Hydrometridae	No Determinado	No Determinado	Depredador	Nadador
			Macrovellidae	No Determinado	No Determinado	Depredador	Patinador
			Mesovellidae	No Determinado	No Determinado	Depredador	Patinador
			Naucoridae	5	Intolerante	Depredador	Nadador
			Notonectidae	4	Intolerante	Depredador	Nadador
			Pleidae	No Determinado	No Determinado	Depredador	Nadador
			Vellidae	6	Tolerante	Depredador	Patinador
			Saldidae	10	Muy Tolerante	Depredador	Trepador
		Megaloptera	Corydallidae	0	Muy Intolerante	Depredador	Fijo
			Sialidae	4	Intolerante	Depredador	No Determinado
		Lepidoptera	Crambidae	5	Intolerante	Desgarrador/Raspador	Trepador
			Noctuidae	5	Intolerante	Desgarrador	Fijo
		Trichoptera	APatinadoraniidae	1	Muy Intolerante	Raspador	Excavador
			Brachycentridae	1	Muy Intolerante	Cortador	Fijo
			Calamoceratidae	3	Intolerante	Desgarrador	Fijo
			Ecnomidae	3	Intolerante	Colector/Filtrador	Fijo
			Glossosomatidae	1	Muy Intolerante	Cortador	Fijo
			Helicopsychidae	3	Intolerante	Raspador	Fijo
			Hydrobiosidae	No Determinado	Muy Intolerante	Depredador	Fijo
			Hydropsichidae	4	Intolerante	Colector/Filtrador	Fijo
			Hydroptilidae	4	Intolerante	Cortador	Fijo
			Lepidostomatidae	1	Muy Intolerante	Cortador	Fijo
Leptoceridae	4		Intolerante	Depredador	Fijo		

**ANEXO 2. Continuación**

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	VALENCIA DE TOLERANCIA	TOLERANCIA	GREMIO TROFICO	HABITOS DE VIDA
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Limnephylidae	3	Intolerante	Cortador	Fijo
			Philopotamidae	3	Intolerante	Colector/Filtrador	Fijo
			Polycentropodidae	5	Intolerante	Cortador	Fijo
			Odontoceridae	0	Muy Intolerante	Depredador	Trepador
			Uenoidae	0	Muy Intolerante	Raspador	Fijo
			Rhyacophilidae	0	Muy Intolerante	Depredador	Fijo
			Phryganeidae	4	Intolerante	Desgarrador	Trepador
			Beraeidae	3	Intolerante	Recolector	Excavador
			Goreidae	3	Intolerante	Raspador	Fijo
			Xyphocentridae	No Determinado	Muy Intolerante	Colector	
		Coleoptera	Staphylinidae	8	Tolerante	Recolector	Fijo
			Hydroscaphidae	7	Tolerante	Raspador	No Determinado
			Chrysomelidae	No Determinado	No Determinado	Desgarrador	Fijo
			Carabidae	4	Intolerante	Depredador	Trepador
			Heteroceridae	No Determinado	No Determinado	No Determinado	No Determinado
			Noteridae	7	Tolerante	Colector	Fijo
			Limnichidae	3	Intolerante	Colector	Fijo
			Helophoridae	5	Intolerante	Colector/Depredador	Excavador
			Curculionidae	5	Intolerante	Desgarrador	Fijo
			Dryopidae	5	Intolerante	Depredador	Excavador
			Dytiscidae	6	Tolerante	Depredador	Nadador
			Psephenidae	4	Intolerante	Raspador	Fijo
			Elmidae	4	Intolerante	Recolector/Raspador	Fijo
Lutrochidae	3	Intolerante	Colector	Fijo			
Ptilodactylidae	3	Intolerante	Raspador	Fijo			

**ANEXO 2. Continuación**

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	VALENCIA DE TOLERANCIA	TOLERANCIA	GREMIO TROFICO	HABITOS DE VIDA
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Scirtidae	7	Tolerante	Raspador	Trepador
			Gyrinidae	4	Intolerante	Depredador	Patinador
			Haliplidae	7	Tolerante	Desgarrador	Trepador
			Hydraenidae	5	Intolerante	Raspador/Colector	Fijo
			Hydrophilidae	5	Intolerante	Depredador	Fijo
			Sphaeriidae	8	Tolerante	Colector/Filtrador	Excavador
		Diptera	Athericidae	4	Intolerante	Depredador	Excavador
			Blephariceridae	0	Muy Intolerante	Raspador	Fijo
			Ceratopogonidae	6	Tolerante	Depredador	Excavador
			Chironomidae	6	Tolerante	Recolector	Excavador
			Chaoboridae	7	Tolerante	Depredador	Excavador
			Culicidae	8	Tolerante	Recolector	Deslizador
			Dixidae	1	Muy Intolerante	Depredador	Nadador
			Dolichopodidae	4	Intolerante	Depredador	Excavador
			Empididae	8	Tolerante	Depredador	Excavador
			Ephydriidae	6	Tolerante	Recolector	Excavador
			Sciomyzidae	6	Tolerante	Depredador	Excavador
			Simuliidae	6	Tolerante	Recolector	Fijo
			Stratiomyiidae	7	Tolerante	Recolector	Excavador
			Tipulidae	3	Intolerante	Desgarrador	No Determinado
			Phoridae	No Determinado	No Determinado	Colector	Excavador
			Syrphidae	10	Muy Tolerante	Colector/Recolector	No Determinado
			Deuterophlebidae	0	Muy Intolerante	Raspador	No Determinado
			Tabanidae	6	Tolerante	Depredador	No Determinado

**NOTA:** En el caso de la Familia Chironomidae, se agrega un cuadro en el que se indican los datos conocidos a nivel de subfamilia y tribu

**ANEXO 2. Continuación**

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	VALENCIA DE TOLERANCIA	TOLERANCIA	GREMIO TROFICO	HABITOS DE VIDA
Arthropoda	Insecta	Diptera	Muscidae	6	Tolerante	Depredador	No Determinado
			Psychodidae	8	Tolerante	Recolector	Excavador
Mollusca	Gastropoda	Heterostropha	Valvatidae	8	Tolerante	Raspador	Deslizador
		Basommatophora	Ancyllidae	6	Tolerante	Raspador	Fijo
			Planorbidae	7	Tolerante	Raspador	Fijo
			Lymnaeidae	6	Tolerante	Raspador	Trepador
			Physidae	8	Tolerante	Recolector	Trepador
		Neotaenioglossa	Thiaridae	No Determinado	No Determinado	Raspador	No Determinado
		Sorbeoconcha	Pleuroceridae	6	Tolerante	Raspador	Fijo
		Hypsogastropoda	Pomatiopsidae	No Determinado	No Determinado	Raspador	No Determinado
	Hydrobiidae		7	Tolerante	Raspador	Fijo	
	Bivalvia	Unionoida	Unionidae	6	Tolerante	Colector/Filtrador	Excavador
Veneroida		Corbiculidae	6	Tolerante	Colector/Filtrador	Excavador	

**ANEXO 3. Datos de tolerancia y hábitos conocidos para las subfamilias y tribus de la familia Chironomidae**

FAMILIA	SUBFAMILIA	TRIBU	VALENCIA DE TOLERANCIA	TOLERANCIA	GREMIO TROFICO	HABITOS DE VIDA	
Chironomidae	Chironominae		5	Intolerante	Principalmente Colector/recolector	Principalmente Excavador	
		Chironomini	6	Tolerante	Colector/recolector	Excavador	
		Pseudochironomini	5	Intolerante	Colector/recolector	Excavador	
		Tanytarsini	6	Tolerante	Colector/Filtrador	Excavador	
		Boreoheptagyini	6	Tolerante	Colector/recolector	No Determinado	
		Diamesini	3	Intolerante	Colector/recolector	No Determinado	
		Orthoclaadiinae		5	Intolerante	Colector/recolector; Desgarrador; Omnívoro; Depredador; Parásito	Excavador
			Orthoclaadiini	5	Intolerante	Colector/recolector; Desgarrador; Omnívoro; Depredador; Parásito	Excavador
		Podonominae		6	Tolerante	Colector/recolector	No Determinado
			Boreochlini	6	Tolerante	Colector/recolector	No Determinado
			Podonomini	5	Intolerante	Colector/recolector	Fijo
		Prodiamesinae		5	Intolerante	Colector/recolector	No Determinado
		Tanypodinae	8	8	Tolerante	Colector/recolector; Depredador	No Determinado
			Coelotanypodini	8	Tolerante	Depredador	Excavador
			Macropelopiini	7	Tolerante	Recolector	Excavador
			Natarsiini	8	Tolerante	Depredador	Excavador
			Pentaneuriini	6	Tolerante	Colector/recolector; Depredador	Excavador
			Procladiini	9	Muy Tolerante	Recolector	Deslizador
			Tanypodini	10	Muy Tolerante	Depredador	Nadador
		Telmatogetoninae		No Determinado	No Determinado	No Determinado	No Determinado