



Autoridad Nacional
de Licencias Ambientales



2026

GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE **MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES**

Elaboró:

Wilfredo Marimon Bolivar
Contratista

Revisó:

Yuli Carolina Velandia Roncancio
Líder Técnica grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo


Aprobó:

Oscar Alexander Varila Quiroga
Coordinador grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo

Jorge Alberto Sanabria Morales

Subdirector Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales



	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

1. Introducción

La Guía Nacional de Modelación del Recurso hídrico Para aguas Superficiales Continentales publicada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible presentó en el año 2018 lineamientos mínimos para la aplicación de modelos matemáticos de simulación de la calidad de las aguas superficiales continentales a partir del análisis de literatura técnica y normativa relacionada con la modelación de la calidad del agua en cuerpos superficiales continentales.

Es así como, el objetivo de la guía fue orientar a los diferentes actores relacionados con la gestión integral del recurso hídrico, en el uso y aplicación de modelos matemáticos de calidad del agua que respondan a las necesidades citadas en el Decreto 1076 del 2015, por lo que su aplicación no se dedica exclusivamente a las tareas de modelación en el marco del licenciamiento ambiental. Es así como en el numeral 1.2. se establece 1:

“Las metodologías presentadas deben ser aplicadas a las particularidades de cada cuerpo de agua y el criterio y conocimiento del profesional a cargo del proceso son fundamentales para el desarrollo de herramientas de modelación robustas.”

Adicional a esto, la información revisada y analizada por los autores fue la disponible hasta la fecha de creación de la guía, por lo que, las características técnicas de los modelos de calidad del agua estudiados pueden tener cambios o actualizaciones que permitan ampliar su campo de acción.

En este sentido, los lineamientos a presentar en este documento son un complemento a la guía nacional de modelación desde la perspectiva del licenciamiento ambiental y teniendo en cuenta la información disponible en la documentación de los softwares a corte de julio del 2023. Por lo tanto, con el presente documento se suministran recomendaciones tales como los procesos a incluir en la modelación teniendo en cuenta las particularidades de los cuerpos de agua a evaluar, elementos o compuestos químicos que deben ser incluidos dada la relación con la actividad económica en la que se encuentra el proyecto, puntos de análisis de resultados o la forma de presentación de la información, entre otros. Es pertinente resaltar que, todo lo establecido aquí no limita ni deroga ninguno de los lineamientos dados en la guía nacional de modelación.

2. Objetivo

2.1 OBJETIVO GENERAL

Orientar a los actores externos en la implementación de buenas prácticas de modelación de calidad del recurso hídrico superficial, proporcionando lineamientos técnicos que fortalezcan la elaboración, presentación y revisión de modelos para la toma de decisiones en procesos de licenciamiento y seguimiento ambiental.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer recomendaciones complementarias a la Guía Nacional de Modelación para asegurar la adecuada estructuración conceptual, selección y ejecución de modelos de calidad del agua superficial, considerando las particularidades de los cuerpos de agua y los proyectos evaluados.
2. Definir criterios técnicos para la organización, entrega y presentación de la información generada en los ejercicios de modelación, facilitando su revisión y uso en el Centro de Monitoreo del Estado de los Recursos Naturales de la ANLA.
3. Promover la integración de la modelación de calidad del agua con otros instrumentos de gestión ambiental mediante la estandarización y estructuración de resultados en formatos compatibles con el Modelo de Almacenamiento Geográfico (MAG).

3. Alcance

La modelación de calidad del agua constituye una herramienta de gran utilidad para la gestión y toma de decisiones por parte de la autoridad ambiental, toda vez que permite el manejo de decisiones de forma más robusta y puede proveer escenarios predictivos derivados de las transformaciones que ocurren en los ecosistemas a partir de los usos de los recursos naturales. En este sentido, analizar dichas transformaciones no solo permite realizar una apropiada evaluación de escenarios prospectivos, si también, una vez realizada la ejecución de actividades de los diferentes proyectos, permite realizar un apropiado seguimiento identificando los cambios generados en el tiempo, ajuste de estrategias de monitoreo y generación de alertas frente a diferentes condiciones que puedan tener lugar.

Es así como, esta guía contiene lineamientos de lo que se consideran buenas prácticas de modelación de calidad del agua superficial para el Centro de Monitoreo del Estado de los Recursos Naturales de la ANLA (CM). Dichas recomendaciones aplican para la elaboración y revisión de información presentada por parte de usuarios externos que allegan o radican modelos de calidad del agua como herramienta para la toma de decisiones en el impacto ambiental generado o potenciales derivado de los permisos.

Esta guía no pretende imponer un instrumento ni pretende ser ni reemplazar la Guía Nacional de Modelación de Calidad del Agua sino estandarizar la forma en que se revisarán los modelos de calidad del agua en esta Autoridad y qué se considera o no una buena práctica en el desarrollo de este.

4. Definiciones

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

Análisis de sensibilidad: Evaluación de la influencia que tienen las variaciones de ciertos parámetros del modelo sobre los resultados de la simulación, con el fin de identificar los factores de mayor impacto o incertidumbre.

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

Calibración de modelos: Proceso de ajuste de los parámetros de un modelo para que sus resultados reproduzcan de manera aceptable los datos observados en el sistema real.

CM: Centro de Monitoreo del Estado de los Recursos Naturales

Condiciones de frontera: Parámetros o valores que definen las entradas, salidas o límites espacial y temporales de un modelo, y que condicionan su comportamiento y resultados.

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

EIA: Estudio de Impacto Ambiental

ENSO: El Niño - Southern Oscillation (Oscilación del Sur)

Escenarios de modelación: Representaciones de condiciones ambientales futuras o hipotéticas que se simulan mediante el modelo para evaluar los posibles cambios o impactos sobre la calidad del agua.

ICA: Informe de Cumplimiento Ambiental

MAG: Modelo de Almacenamiento Geográfico

MAG (Modelo de Almacenamiento Geográfico): Sistema estandarizado para la entrega de información georreferenciada a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), que permite integrar la información ambiental, incluyendo resultados de modelación, en un ambiente geográfico digital.

Modelación de calidad del agua: Proceso mediante el cual se simulan, mediante herramientas matemáticas y computacionales, los procesos físicos, químicos y biológicos que afectan la calidad del recurso hídrico en cuerpos de agua superficiales.

Modelo conceptual: Representación esquemática y simplificada de los principales componentes, procesos y relaciones que caracterizan un sistema acuático, utilizada como base para la estructuración del modelo matemático.

PMA: Plan de Manejo Ambiental

RMSCV: Root Mean Square Coefficient of Variation


RMSE: Root Mean Square Error (Error Cuadrático Medio)

R²: Coeficiente de determinación

Validación de modelos: Proceso mediante el cual se verifica la capacidad del modelo calibrado para reproducir condiciones diferentes a aquellas utilizadas en la calibración, asegurando su confiabilidad para escenarios prospectivos.

5. Normativa

Tipo	Número	Fecha	Epígrafe	Artículos
Constitución	91	04-07-1991	Establece el derecho a gozar de un ambiente sano y el deber estatal de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su conservación, restauración y desarrollo sostenible.	Artículo 79 y 80
Ley	99	22-12-1993	"Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente ... se organiza el SINA ..." y se establecen principios generales para la protección del medio ambiente y la gestión del recurso hídrico.	Artículo 1-5 (principios y creación del SINA); Artículo 49-50 (licencias y funciones).
Decreto	1575	09-05-2007	"Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano."	Sistema de control y vigilancia; obligaciones del prestador; requisitos de calidad (Artículos 1 - 12).

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

Tipo	Número	Fecha	Epígrafe	Artículos
Resolución	2115	22-06-2007	“Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.”	Límites de potabilidad; frecuencias de muestreo; parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Artículos. 3-12).
Decreto	1076	26-05-2015	Compila la normativa ambiental del país, incluyendo disposiciones sobre el manejo, protección y ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos.	Libro 2, Parte 2, Título 3 (Recurso hídrico).
Resolución	959	31-05-2018	“Por la cual se adopta la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico para Aguas Superficiales Continentales.”	Artículo 1 (adopción de la Guía); vigencia.

6. Documentos Asociados

Nombre
Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico para Aguas Superficiales Continentales (2018)

7. Desarrollo

7.1 OBJETIVOS DE MODELACIÓN

Una de las primeras consideraciones que se debe abordar como buena práctica de la modelación es establecer el objetivo de un ejercicio de modelación. Lo anterior derivado que, el fin general del uso de este tipo de herramientas en el licenciamiento ambiental está enfocado en identificar o valorar objetiva y conservadoramente la magnitud, intensidad, frecuencia, duración y extensión de los impactos en diferentes escenarios del proceso de licenciamiento ambiental.

Dentro este contexto, se espera las empresas, usuarios, etc., dentro de los documentos resultados de la modelación que se alleguen a esta Autoridad definan claramente sus objetivos de tal forma que sean claros y/o medibles.

Teniendo claro el objeto y alcance del estudio de modelación, es posible proyectar las actividades a realizar en términos de optimizar recursos, a partir de una planeación detallada y un diseño de muestreo adecuado que permita reducir la incertidumbre. Así mismo, la autoridad podrá evaluar si el ejercicio realizado cumple a satisfacción la identificación o valoración del o los impactos estudiados.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de los muchos objetivos a alcanzar con la implementación de un modelo de calidad del agua tanto en evaluación como en el seguimiento de licencias o permisos ambientales:

- Evaluación
 - o Establecer el caudal máximo de vertimiento que puede ser concedido para descarga en el cuerpo de agua de tal forma que se cumpla con los objetivos de calidad del agua establecidos y se conserven los servicios ecosistémicos
 - o Determinar las concentraciones máximas que puede presentar un cuerpo de agua antes diferentes forzantes de modelación.
- Seguimiento
 - o Evaluar el impacto sobre las condiciones de la calidad del agua y los usos del recurso hídrico aguas abajo de la presa por la descarga de sedimentos de fondos del embalse
 - o Determinar cambios en los regímenes de caudales, condiciones hidráulicas y demás afectaciones que pueden presentarse sobre los cuerpos de agua

7.2 INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

Si bien la Guía Nacional de Modelación del Recurso hídrico en su apartado 4.3 establece consideraciones respecto a la investigación preliminar para la posterior estructuración y ejecución de modelos de calidad del agua, se ha notado que los usuarios o solicitantes de licencias ambientales dejan de lado aspectos importantes al momento de la estructuración de modelos de calidad del agua presentados a esta Autoridad.

En este sentido, se establecen recomendaciones asociadas a la investigación preliminar como son:

7.2.1 INVENTARIO DE FUENTES, VERTIMIENTOS, USOS, ETC.

- Se deben contemplar en el modelo los usos y aprovechamiento de recursos naturales como los vertimientos y captaciones que se encuentren en el área de influencia o área de estudio que sean tanto del usuario del proyecto que realiza la modelación como de los demás existentes en la zona.

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

- Se requiere tener en cuenta fuentes difusas y/o puntuales de contaminación asociadas a aguas residuales de cascos urbanos, áreas de cultivo u otro que se encuentre en el área de influencia del proyecto. En caso de no tener acceso a la información detallada de dichas fuentes describirlo en las consideraciones o análisis del modelo.

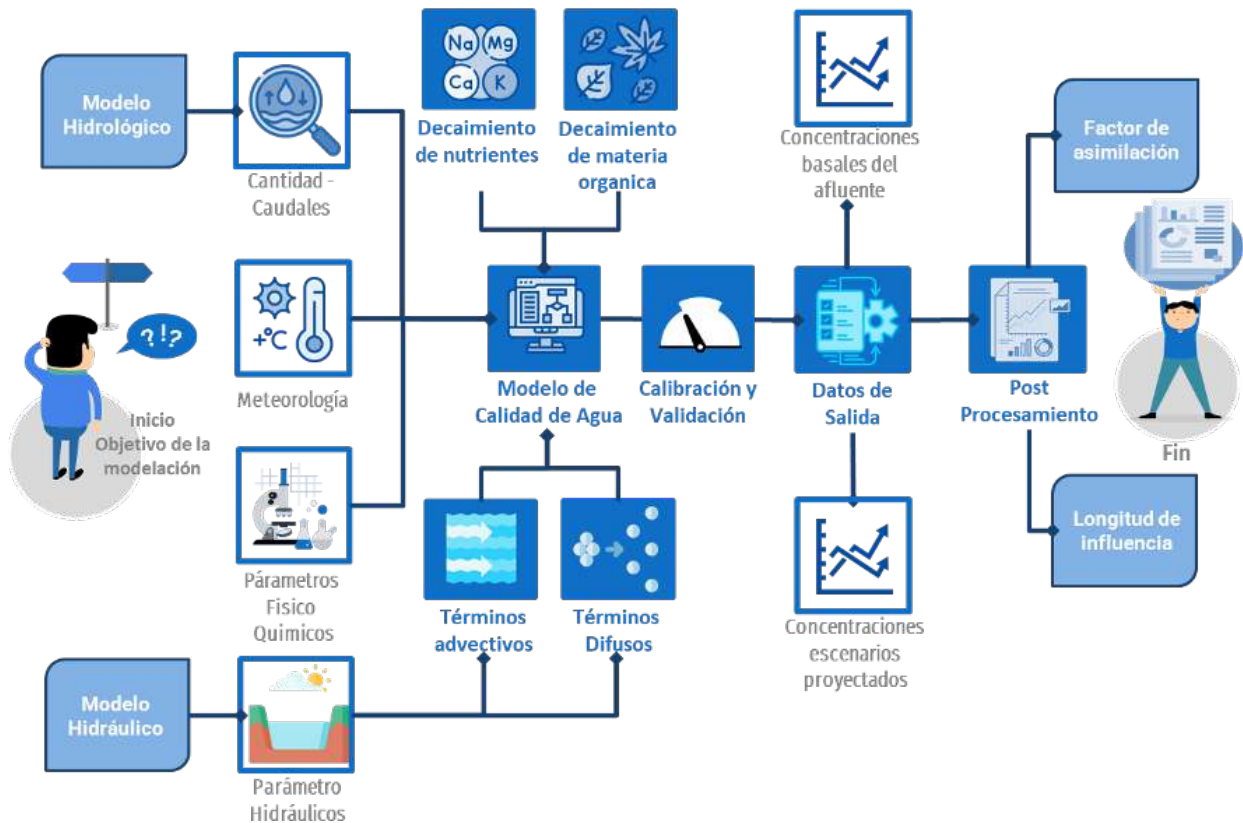
7.2.2 MODELACIONES EXISTENTES

- Es aconsejable tener en cuenta ejercicios de modelación o análisis de calidad del agua existentes en la zona como referente toda vez que permite una mejor interpretación de los resultados de la modelación como también obtener mejores resultados en los ejercicios de calibración y validación del modelo a desarrollar.

7.3 MODELO CONCEPTUAL

Uno de los principales criterios para la evaluación de un modelo es la calidad de su modelo conceptual. Allí es donde se puede verificar si la representación matemática de la realidad del área de estudio utilizada es correcta y por tanto seguir analizando el modelo y los resultados derivados del mismo. En este sentido, es necesario incluir dentro de la información anexa al modelo de calidad del agua entregado a esta Autoridad, el modelo conceptual que describa entradas, salidas y las característica o consideraciones contempladas en la estructuración de dicho modelo. A continuación, se muestra un ejemplo de una estructuración de modelo conceptual:

Figura 7-1. Ejemplificación de modelo conceptual




Fuente: ANLA, 2025

Se sugiere que, dentro del modelo conceptual, se incluya una representación espacial general que permita identificar de forma clara la localización de los elementos fundamentales del modelo. Esta debe contener la ubicación de estaciones de monitoreo, tramos a modelar, puntos de vertimiento, captaciones, entre otros componentes relevantes. La ausencia de esta información espacial integrada ha sido una constante en los modelos allegados a la Autoridad, dificultando su revisión y comprensión. Incluir este elemento desde la fase conceptual contribuye a una mayor trazabilidad del ejercicio y fortalece la interpretación técnica del modelo.

7.3.1 DEFINICIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA, PROCESOS Y VARIABLES A SIMULAR

Derivado del objetivo de la modelación y a partir del análisis de la información secundaria, levantada en campo y de los resultados del monitoreo realizado si es el caso, se deben establecer los cuerpos de agua a incluir en la modelación teniendo en cuenta el inventario de fuentes, vertimientos, usos, etc. (Numeral 7.2.1) y que tengan influencia o se presuma una potencial afectación con el permiso o permisos a evaluar.

Adicionalmente y teniendo en cuenta lo establecido en las Tablas 2 “Variables físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas sugeridas para el monitoreo de cuerpos de agua lóticos, lénticos y vertimientos” y Tabla 3 “Variables sugeridas para el monitoreo de sedimentos de fondo en cuerpos de agua lénticos”, de la Guía Nacional de Modelación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018), existen parámetros de interés para cada tipo de actividad ya que dicha actividad tiene mayor contacto con estos elementos o

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

compuestos químicos por lo cual se inclusión es fundamental para el análisis ambiental. En este sentido la siguiente

Tabla 7-1. Parámetros mínimos sugeridos para incluir en la modelación por sector económico

Sector	Parámetros mínimos por incluir en la modelación
Hidrocarburos	Hidrocarburos totales del petróleo, Metales (Arsénico, Bario, Cadmio, Cinc, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Vanadio), Cloruros, DQO, Conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, caudal
Minería	Metales (Arsénico, Bario, Cadmio, Cinc, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Vanadio), cianuro, sulfatos, sólidos, pH, DQO, Conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, Solidos suspendidos totales, caudal
Energía	Hidroeléctricas: clorofila, Nitrógeno amoniacal, Nitritos, Nitratos, Fósforo total, Ortofosfatos, Fosfatos, Metales (Arsénico, Bario, Cadmio, Cinc, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Vanadio), DBO, Conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, Solidos suspendidos totales, niveles.
Infraestructura	Metales (Arsénico, Bario, Cadmio, Cinc, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Vanadio), cianuro, sulfatos, sólidos, pH, DBO, DQO, Conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, Solidos suspendidos totales
Agroindustria	Compuestos organoclorados, Compuestos organofosforados, Nitrógeno amoniacal, Nitritos, Nitratos, Fósforo total, Ortofosfatos, Fosfatos, Metales (Cadmio, Cinc, Cobre, Manganeso, sodio), DBO, Conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, Solidos suspendidos totales

Fuente: ANLA, 2025

El listado anterior se deberá complementar con los parámetros exigidos por la normativa vigente tanto fisicoquímicos como hidrobiológicos de calidad del agua.

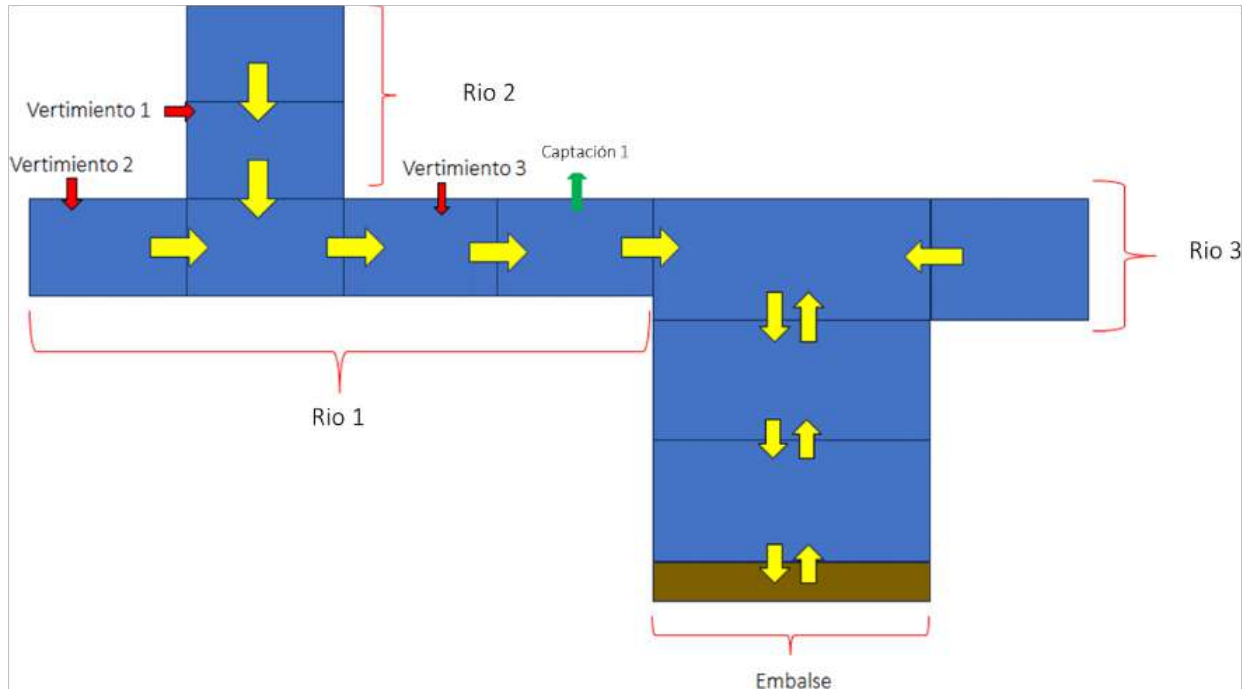
Así mismo, se deben dejar claros los supuestos de la modelación y su justificación respectiva acerca de simplificaciones, abstracciones y/o modificaciones realizadas sobre procesos, variables o cuerpos de agua de tal forma que sea entendible y evaluable dentro de un contexto aclaratorio.

7.3.1.1 Esquematización del sistema

Se debe generar una imagen que represente la información considerada en la modelación (cuerpos de agua, vertimientos, captaciones, segmentos, puntos de interés, etc.). A continuación, se presenta un ejemplo de una esquematización del sistema a modelar:

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

Figura 7-2. Ejemplo de esquematización del sistema



Fuente: ANLA, 2023

Es importante resaltar que la esquematización debe incluir una descripción general del funcionamiento del sistema, con base en la información recopilada tanto de fuentes secundarias como del muestreo o monitoreo realizado, de forma que se identifiquen los sitios en los que ocurren los principales cambios, posibles conflictos, procesos dominantes, entre otros aspectos (MADS, 2018).

7.4 SELECCIÓN Y DESARROLLO DEL MODELO

7.4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

En el contexto de la evaluación y seguimiento de los impactos sobre la calidad del recurso hídrico superficial que pueda tener un proyecto, es importante tener en cuenta algunas consideraciones adicionales a las dadas en la Guía Nacional de Modelación (MADS, 2018) para la selección de la herramienta de modelación. En ese sentido, a continuación, se presentan lineamientos técnicos complementarios propuestos por esta guía, los cuales se han construido a partir de la experiencia en la revisión de estudios presentados ante la Autoridad, y buscan fortalecer la pertinencia y aplicabilidad de los modelos empleados en el licenciamiento y seguimiento ambiental.

7.4.1.1 Tipo de cuerpo de agua

- Cuando en un cuerpo de agua se presentan velocidades bajas (<0.1 m/s) de tal forma que se tienen tiempos de residencia altos y por ende estratificación térmica, zonas con diferentes grados de penetración de luz y/o marcada diferencia en los niveles de oxígeno sobre la columna de agua; es necesario seleccionar un modelo que mínimo contemple dos dimensiones en el espacio (vertical y longitudinal) y los procesos asociados a consumo de nutrientes, condiciones anaerobias y crecimiento de algas.
- La Tabla 5 “Características de algunos modelos comerciales de uso común disponibles” de la guía nacional de modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018) presenta las condiciones de dimensionalidad de los modelos y tipos de cuerpos de agua que pueden ser aplicados. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta tabla fue basada en un análisis de información a corte de 2018, lo cual, a la fecha del presente documento pueden existir actualizaciones de los modelos analizados como también que existen otros modelos de calidad ampliamente utilizados que pueden ser considerados para su aplicación según el caso.


 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15


Tabla 7-2. Comparativa de los modelos de calidad existentes

MODELO DE SIMULACIÓN		DELFT 3D	QUAL2E	WASP	CEQUAL RIV	CEQUALW2	HEC RAS WQ	MIKE 11
Tipo de cuerpo de agua	Corriente, río,	X	X	X	X	X	X	X
	Lago, reservorio,	X		X		X	X	X
	Estuario	X	X		X	X		X
Dimensión	1D		X	X	X	X	X	X
	2D X/Y	X		X				X
	2D X/Z	X		X		X		X
	3D	X		X				X
Estado	Estable		X					
	Cuasi-dinámico		X	X				
	Dinámico	X		X	X	X	X	X
Hidrodinámica	Entrada	X	X	X				
	Simulación	X		X		X	X	
	Control de estructura	X	X		X	X		
Transporte	Advectivo	X	X	X	X	X	X	X
	Dispersivo	X	X	X	X	X	X	X
	Intercambio béntico	X	X	X	X	X	X	X
Cargas	Entradas constantes	X	X	X	X	X	X	X
	Entradas variables			X	X	X	X	X
	Simuladas			X				X

FUENTE: Modificado de (Lozano, M.A., & L.E.)

7.4.2 Dimensionalidad

- Modelo Simplificado, es la representación más sencilla, ya que no considera dentro de los procesos de transporte la dispersión, solo la advección e incluye procesos de transformación o reacción de los determinantes de calidad de agua. Así mismo, supone condiciones de flujo estable y las características geométricas e hidrológicas de las corrientes de agua constantes. (Chapra, 1997 en Rojas Aguirre, 2011).
- Dado que los ríos pequeños tienen una relación mucho mayor entre el área de superficie mojada y el volumen de agua, la contribución de las bacterias adheridas a la transformación total en los ríos pequeños puede ser particularmente significativa. Si las tasas del proceso de conversión están dominadas por la actividad de las bacterias adheridas, un modelo de calidad del agua del río debe poder describir la dinámica de la población de estas bacterias para poder predecir los cambios en las tasas de conversión que se derivan de los cambios en las cargas de contaminación. Los procesos que rigen dicha dinámica de población son la unión y separación de bacterias y las limitaciones de sustrato en la profundidad de las biopelículas en desarrollo o en zonas intersticiales más profundas.}
 - Para cuerpos de agua grandes con variaciones laterales relevantes en la calidad del agua, se debe evitar utilizar modelos cuyas ecuaciones de hidrodinámica y transporte promedian lateralmente los fenómenos, ya que esto puede llevar a subestimar las variaciones reales en velocidad, temperatura, concentración de contaminantes y otras variables críticas que definen el comportamiento espacial del sistema y se consideran son insignificantes.
 - Las características del agua del río suelen sufrir cambios significativos a medida que el agua entra en el lago o embalse, principalmente porque su velocidad se reduce. Partes del sedimento y otros materiales transportados en el agua que fluye más rápido se asientan en la cuenca.
 - Los modelos de calidad del agua que tratan al río como un sistema unidimensional llevan implícitos la suposición de que cualquier emisión al río se mezcla instantáneamente en toda la sección transversal del río. En este sentido, es importante tener en cuenta que la experiencia real lleva a que los efluentes descargados pueden distinguirse dentro del flujo del río a distancias considerables aguas abajo y que la mezcla transversal es a menudo un proceso lento. Las distancias transversales de mezcla son aproximadamente proporcionales al cuadrado del ancho y se vuelven muy grandes en ríos más grandes. Además, la ecuación unidimensional del transporte por advección - difusión, sugiere que esté integrada numéricamente sobre el espacio y el tiempo para cada componente de la calidad del agua.
 - Los modelos de calidad del agua que tratan al río como un sistema bidimensional, se utilizan para ríos de gran ancho, en los cuales las concentraciones de contaminantes varían de un lado de la ribera al otro. En estos casos se usa un sistema cartesiano de coordenadas, en el cual una de ellas corresponde al sentido del flujo y la otra a la dimensión lateral.
 - Los modelos de calidad del agua tridimensionales encuentran aplicación en sistemas más complejos de aguas

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

superficiales. Requieren de mayor información que los modelos uni y bidimensionales y también mayor tiempo computacional, por lo que, su uso se restringe a problemas de gran magnitud cuando se dispone de recursos suficientes para su aplicación. Este tipo de modelos simulan el transporte, depositación y re-suspensión de sedimentos cohesivos y no cohesivos, así como el transporte y trazabilidad de contaminantes tóxicos en el agua, en las varias capas del cuerpo hídrico.

- La resolución espacial estará definida por el tamaño de las celdas computacionales dentro de la cuadrícula teniendo en cuenta que celdas muy gruesas pueden ser una preocupación para la evaluación de la calidad del agua, porque el modelo promediará los impactos en la calidad del agua a través de grandes distancias de las celdas y potencialmente subestimarán los impactos locales. Por ejemplo, el diseño de la celda puede verse influido por la necesidad de proporcionar predicciones en ubicaciones específicas, como descargas de fuentes cercanas, confluencias de tributarios o profundidades variadas en reservorios estratificados.
- La refinación de la malla computacional dependerá de los segmentos y procesos de interés, entre otros.


7.4.3 Definición de los procesos y variables a simular

- Es importante identificar qué tipo de procesos y variables contempla el modelo a seleccionar dado que no todos los modelos permiten evaluar las transformaciones fisicoquímicas o microbiológicas establecidas en el modelo conceptual. Es así como, los modelos que no incluyen los mecanismos de los contaminantes y no son claros acerca de la migración de los contaminantes en el proceso de transformación en el medio, llevan a que podría haber una gran desviación entre los procesos fisicoquímicos y la simulación dependiendo de las suposiciones y simplificaciones. Ejemplo: si dentro de la modelación se requiere valorar la metilación del mercurio que se encuentra en el medio acuático, debo utilizar un modelo que incluya las transformaciones del mercurio más allá de una reacción de decaimiento de primer orden.
- En caso de estuarios o cuerpos de agua lénticos es necesario usar modelos que permitan valorar efectos del exceso de nutrientes, crecimiento de algas y el agotamiento del oxígeno disuelto. Debido a que el crecimiento del fitoplancton no puede ocurrir sin nutrientes, el modelado de eutrofización debe combinarse con el de los nutrientes. El modelado de nutrientes debe incluir todas las diferentes formas bioquímicas de los nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, así como todas las interacciones entre las diferentes formas. La suma de todas estas interacciones se refiere a un "ciclo de nutrientes".
- Para evaluar el transporte y el destino de elementos o sustancias que tienen un grado de afinidad con las áreas superficiales de los sedimentos suspendidos o de fondo dado que se absorben preferentemente sobre las partículas en lugar de permanecer disueltos en agua (como puede ser modelos de metales pesados en columna de agua con presencia de sólidos suspendidos), se requiere que el modelo contemple procesos de adsorción-desorción, estimaciones de la concentración de sedimentos suspendidos, re-suspensión desde el fondo y sedimentación.
- Dado que los embalses actúan como trampas de sedimentos y nutrientes, el agua en el extremo de la presa aguas abajo de un embalse suele ser de mayor calidad que el agua que ingresa al embalse, lo que lleva a que a la salida del embalse el agua descargada puede generar arrastre de sólidos y erosionar el lecho del arroyo y los bancos, recogiendo nuevos sedimentos a medida que continúa río abajo. En este sentido, los modelos de calidad del agua para proyectos hidroeléctricos deben considerar esta situación.
- Para estuarios y cuerpos de agua similares es necesario contemplar un modelo integrado por un modelo hidrodinámico, un modelo de sedimentos y un modelo biogeoquímico, para proporcionar un resultado adecuado.
- Los modelos que sean incapaces de convertir la muerte de algas en Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea (CBOD) son inadecuados para sistemas acuáticos donde los macrófitos (plantas acuáticas enraizadas) tienen importancia.
- Para Pit mineros se deben proporcionar una aproximación razonable de la geometría esperada del pozo, en particular el área superficial, la profundidad y el volumen. Se requerirá una geometría más exacta en los modelos 2-D y 3-D, si se requiere un modelado más refinado en las primeras etapas del proyecto y más adelante, una vez que se establezca la geometría final del tajo.
- Si bien existe la posibilidad de realizar modelos probabilísticos o estocásticos de calidad del agua, es recomendable utilizar los modelos físicamente basados de tal forma que puedan analizar los procesos o fenómenos que tienen lugar en la evaluación de impactos y la interacción del proyecto en cuestión con todo el contexto de la región donde se desarrolla.

7.4.4 Otras consideraciones

A parte de lo mostrado anteriormente, es importante considerar otros puntos (cuando aplique) como son:

- ¿Cómo resuelve la hidrodinámica el modelo seleccionado?
- ¿Cuál es el esquema numérico implementado?
- ¿Cómo resuelve la ecuación de transporte?
- ¿Cómo aborda el esquema numérico calidad del agua en términos de la difusión-advención?
- ¿Cómo es discretización del tiempo y el espacio?
- Discretización del espacio
- ¿Qué tan fácilmente disponible es el modelo?
- Está el modelo totalmente documentado (manual científico del usuario, tutorial y ejemplo)
- Existe soporte y ayuda técnica (Directo, internet, foro)
- ¿Cuándo fue la última actualización del modelo?

 <p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

- Tipo de grilla computacional
- ¿Qué ecuaciones de flujos de calor utiliza?
- Incluye modelo de mezcla vertical o módulo de transporte de sedimentos
- ¿Qué tipos de sedimentos o carga de sedimentos permite?

7.4.5 Condiciones espaciales

- Justificar el dominio computacional del modelo
- Una vez definidos mapa conceptual, procesos y variables a simular, mostrar claramente donde se imponen las condiciones de borde en el modelo
- Incluir como puntos de control del modelo puntos de calidad del agua antes y después de los focos de cargas contaminantes de interés en la zona.
- Si existen cuerpos de agua lénticos que son de interés socioeconómico y ambiental, mostrar los resultados de la modelación en puntos de agua cercanos que tengan conectividad con dicho cuerpo.
- Si se realiza la modelación en un cuerpo léntico, generar resultados en cada uno de los microclimas que el cuerpo de agua posea
- Incluir dentro de la modelación de cuerpos loticos, tributarios importantes, de acuerdo con lo definido en el dominio computacional.



 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

Tabla 7-3. Condiciones a tener en cuenta respecto a la resolución espacial de los procesos.

Resolución Espacial	(<1 m ²) píxel 1x1	(1 a 100 m ²) píxel 10x10	(100 m ² a 50 ha) píxel	(50 ha a 50 km ²) píxel	(>50 km ²) píxel
<i>Procesos Hidrológicos</i>					
Precipitación	-	ü	Ü	ü	ü
Infiltración		ü	Ü	ü	ü
Evapotranspiración	-	ü	Ü	ü	ü
Escorrentía base (<i>Base Flow</i>)	-	ü	Ü	ü	ü
Redistribución de humedad del suelo	-	ü	Ü	ü	ü
Escorrentía superficial	-	ü	Ü	ü	-
Drenaje superficial de campo	-	-	Ü	ü	ü
Recarga de acuíferos/percolación profunda	-	-	Ü	ü	ü
Descarga o agotamiento de aguas subterráneas	-	-	-	ü	ü
Caudal en ríos (cuencas >50 km ²)	ü	ü	Ü	ü	ü
<i>Procesos Biológicos</i>					
Crecimiento de plantas (cultivos, pastos, árboles)	-	-	Ü	ü	ü
<i>Ciclo del Carbono</i>					
Descomposición de materia orgánica fresca	-	-	-	-	-
Acumulación y descomposición de materia orgánica del suelo	-	-	-	-	-
Crecimiento y muerte de bacterias	-	-	-	-	-
<i>Nutrientes y Plaguicidas</i>					
Nitrificación, desnitrificación, hidrólisis de urea	-	-	Ü	ü	ü
Mineralización de N y P	-	-	Ü	ü	ü
Degradación	-	-	-	-	-
Crecimiento de algas/eutrofización	-	-	-	-	-
Oxígeno disuelto (DO)	-	-	-	-	-
<i>Procesos de Erosión y Sedimentación / Geomorfología</i>					
Desprendimiento (surcos y entre surcos)	ü	ü	Ü	-	-
Erosión en cárcavas	-	ü	Ü	ü	-

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

Resolución Espacial	(<1 m ²) píxel 1x1	(1 a 100 m ²) píxel 10x10	(100 m ² a 50 ha) píxel	(50 ha a 50 km ²) píxel	(>50 km ²) píxel
Erosión de fondo y márgenes de cauces	-	-	Ü	ü	-
Transporte de sedimentos	-	ü	Ü	ü	ü
Deposición en paisaje o cauces	-	ü	Ü	ü	ü
Sedimentación en lagos	-	-	-	ü	ü
Ajustes geomorfológicos	-	-	-	-	-
<i>Procesos Físicoquímicos</i>					
Adsorción/desorción	-	-	Ü	ü	ü
Transporte de solutos	-	-	Ü	ü	-
Depleción de oxígeno	-	-	-	-	-
Química de aguas subterráneas (disolución de minerales y precipitación química)	-	-	Ü	ü	ü
<i>Procesos Humanos</i>					
Descomposición de materia orgánica fresca (antrópica)	-	ü	Ü	ü	ü
Acumulación y descomposición de MO del suelo	-	-	-	-	-

Fuente: ANLA, 2023

7.4.6 Condiciones temporales

- Los tiempos de modelación deberán tener en cuenta el fenómeno a analizar y las tasas de reacción de dicho fenómeno. Es así como para análisis de procesos de larga respuesta como puede ser la deposición de metales pesados en lechos de río es necesario ventanas temporales de escalas de años, mientras que para procesos de dilución/reacción de vertimientos pueden ser suficiente análisis de semanas o meses.
- Modelos permanentes, condiciones de estado permanente: Se considera que todos los parámetros del sistema y fuentes son constantes en el tiempo. Donde los parámetros del sistema espacial, esto es, el flujo neto, los coeficientes de reacción, la geometría del sistema, y los coeficientes de dispersión son constantes en relación con la distancia a lo largo del cuerpo de agua. En este tipo de sistemas sólo se incluyen descargas de aguas residuales puntuales.
- Se debe considerar la pertinencia de utilizar modelos de estado estable o no en los casos donde se presentes perturbaciones en el sistema o condiciones hidrológicas variables en el tiempo.

7.5 CALIBRACIÓN, VALIDACIÓN Y/O ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD


Para garantizar resultados representativos en los modelos de calidad del agua, los procesos de calibración, validación y análisis de sensibilidad deben seguir ciertos lineamientos que aseguren su rigor técnico y la reproducibilidad de los resultados.

7.5.1 Calibración

- Es recomendable que el periodo de calibración corresponda al año o época con mayor cantidad y calidad de datos disponibles, o que se asemeje a los escenarios a evaluar. Esto puede incluir años con caudal mínimo o épocas del año con la menor calidad del agua.
- En cuerpos de agua sujetos a condiciones cambiantes —como eventos de lluvia intensa, caudales extremadamente bajos, desbordamientos de sistemas combinados o aportes difusos por escorrentía—, se sugiere ajustar los parámetros sensibles a cada condición. Por ejemplo, el coeficiente de aireación debe calibrarse diferenciadamente para condiciones normales y condiciones críticas, ya que un único valor difícilmente representa ambos escenarios con precisión.
- Se debe contar con al menos un punto de monitoreo aguas abajo de la condición de frontera y, preferiblemente, con dos o más campañas de medición.

7.5.2 Validación

- El modelo debe ser validado con un conjunto de datos independiente al usado en la calibración.
- Se debe garantizar que el modelo hidráulico usado para alimentar el modelo de calidad esté también calibrado adecuadamente para los diferentes forzantes o escenarios que se pretendan simular.
- La validación debe considerar tanto la dimensión temporal como espacial, asegurando que el modelo represente adecuadamente la evolución de los parámetros de calidad en el tiempo y a lo largo del dominio computacional.

 <p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA</p> <p>EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

7.5.2.1 Métricas de desempeño

Se recomienda incluir métricas estadísticas para evaluar la calidad del ajuste entre datos medidos y simulados, tales como:

- Error cuadrático medio (RMSE)
- Coeficiente de variación del RMSE (RMSCV)
- Coeficiente de determinación (R^2)
- Análisis gráfico medido vs. simulado

Además, debe incluirse una tabla resumen con los valores por defecto y los calibrados de los parámetros principales, lo cual permite mayor transparencia en el proceso de ajuste y facilita futuras actualizaciones del modelo.

7.5.3 Análisis de sensibilidad e incertidumbre

Antes de realizar el análisis de sensibilidad, se deben revisar las ecuaciones del modelo para identificar los parámetros que pueden generar mayor variabilidad en los resultados.

Existen múltiples métodos de análisis de sensibilidad e incertidumbre, entre ellos: selección de parámetros, superficies de respuesta, simulaciones Monte Carlo, métodos basados en varianza, enfoques locales y globales. Es fundamental justificar el método escogido, detallando sus ventajas, limitaciones y pertinencia frente al objetivo del estudio.

Este análisis debe enfocarse en determinar cómo afectan las variaciones en los parámetros del modelo a las principales variables de salida, especialmente oxígeno disuelto, nutrientes y otros parámetros fisicoquímicos relevantes según el tipo de actividad económica evaluada.

7.6 SELECCIÓN DE ESCENARIOS

- Contemplar dentro de los resultados de modelación, los escenarios críticos más probables a presentarse en el desarrollo del proyecto o actividad a evaluar y no solamente limitarse a considerar caudal máximo, mínimo, medio y ambiental sin tener en cuenta las condiciones en que se presentan estos regímenes hidrológicos.
- Considerar los potenciales cambios que puede tener el área de influencia donde se encuentra el proyecto o actividad respecto a los cambios de los usos del suelo como son las prospectivas económicas (como la entrada de proyectos minero-energéticos, etc.), de tal forma que se tengan en cuenta presiones futuras a los ecosistemas, siempre y cuando se cuente con esta información.
- Es importante considerar los escenarios de cambio climático (aumento en temperaturas, disminución de caudales por debajo de los mínimos, aumentos de caudales por encima de los máximos históricos, etc.)
- Se deben contemplar el escenario de máximas cargas contaminantes que pueden ser vertidas al cuerpo receptor. Lo anterior quiere decir que, si bien las concentraciones de los tratamientos de las aguas residuales puedan alcanzar concentraciones menores a las establecidas por la normatividad vigente, esta situación puede cambiar en el tiempo sin perjuicio de violar la normatividad por parte del usuario que realiza el vertimiento. En este sentido, debe quedar evaluado si al alcanzar el límite de concentración máximo permitido para los parámetros fisicoquímicos que contengan el vertimiento llegarán a causar alguna afectación al cuerpo receptor.
- Para situaciones en las cuales se presuma problemas de concentraciones de oxígeno disuelto bajo, se recomienda contemplar como escenario crítico la modelación en horas de la noche debido a que como la fotosíntesis ocurre durante las horas del día las concentraciones disminuyen en la noche debido a la respiración y otros procesos que consumen oxígeno.
- Si dentro del plan de gestión de riesgo para el manejo de vertimientos existe un escenario probable que pueda exceder los potenciales impactos descritos por los escenarios anteriores, se debería adicionar como escenario para la evaluación del proyecto en cuestión.

7.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y VIABILIDAD AMBIENTAL

Se recomienda que para el análisis de los resultados de modelación se tenga principalmente en cuenta el objetivo establecido. En este sentido, se debe tener como foco espacial los puntos de interés establecidos en el esquema conceptual como lo es:

- Analizar la variación de la calidad del agua antes y después de los usos y/o permisos a evaluar
- Incluir en el análisis y salidas gráficas la calidad del agua en puntos clave como pueden ser bocatomas para acueductos, captaciones para sistemas de riego, etc., como también la calidad del agua en los puntos de interacción con cuerpos de agua estratégicos (ciénagas, lagunas, etc.)

Importante tener en cuenta que los resultados de estos modelos posiblemente serán insumos para otros modelos en el enfoque de la modelación integrada. En este sentido, los resultados de calidad del agua deben ser claros para analizar los modelos bióticos que utilicen la modelación de calidad del agua como insumo posterior.


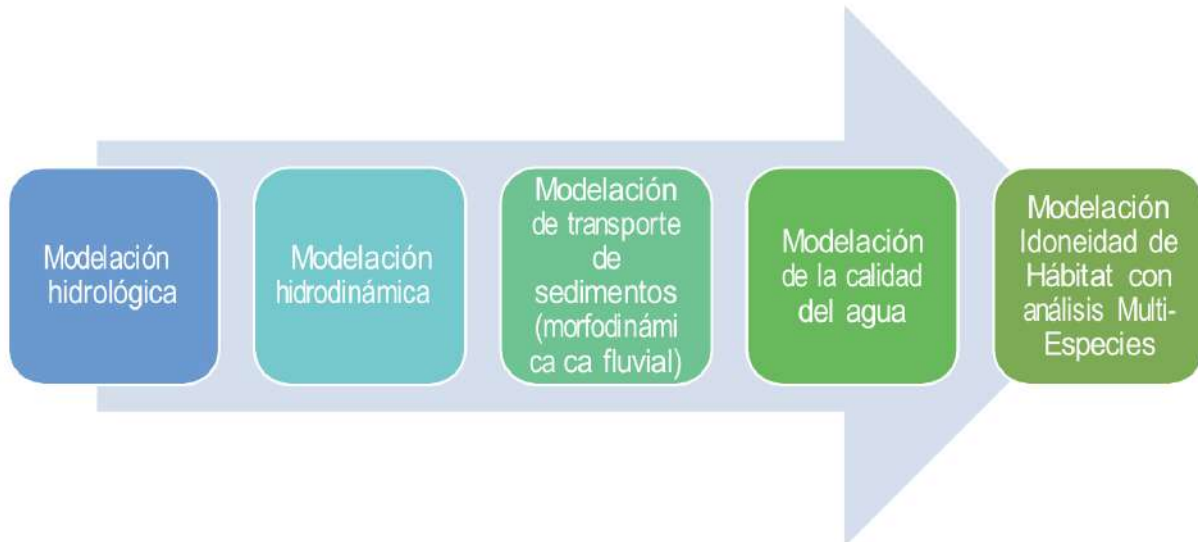
 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

Figura 7-3. Enfoque de modelación integrada



Fuente: ANLA, 2020

7.8 PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para poder llevar un mejor control de los resultados de modelación y optimización de los tiempos en la revisión, es necesario organizar el ejercicio de modelación, en donde contenga las características, bases de operación, supuestos, software, motores de cálculo, métodos de calibración y validación, limitaciones, resultados y conclusiones junto con las recomendaciones del ejercicio de modelación.

Por esta razón importante unificar la ruta en la cual se sitúe el ejercicio de modelación. En este sentido, la ruta donde se debe alojar esta información deberá ser en los anexos del capítulo de uso y aprovechamiento de los recursos naturales (Capítulo usos y aprovechamiento Recurso Hídrico Modelación calidad del agua)

7.8.1 Carpeta Anexos

Dentro de la ruta descrita anteriormente se debe situar el documento que compile el ejercicio de la modelación y adicionalmente una carpeta de anexos que contenga lo siguiente:

7.8.1.1 Datos de entrada

Debe existir un consolidado de los datos utilizados en la modelación como son: datos de calidad del agua para calibración y validación, características ambientales (por ejemplo, batimetría, pendiente, enlaces de redes de arroyos, dimensiones de cuerpos de agua), datos hidrológicos y/o hidrodinámicos (por ejemplo, flujo, velocidad, elevación del agua, capitaciones), datos meteorológicos (por ejemplo, temperatura del aire, punto de rocío, precipitación, viento) y otros (por ejemplo, operaciones de represas, datos de drenaje agrícola).

Se recomienda que las tablas de resumen de los datos disponibles incluyan el parámetro, el tipo de muestra (p. ej., al azar, continua), la frecuencia (p. ej., por hora, mensual), la estación de monitoreo, la organización de recolección de datos y el período de registro.

7.8.1.2 Ejecutables del modelo (Modelo calibración, validación, escenarios)

Se deben suministrar los archivos ejecutables de calibración, ejecutable de validación y escenarios evaluados.

7.8.1.3 Datos de salida (subcarpetas por escenarios)

Se debe crear una carpeta donde se alojen los resultados de cada uno de los escenarios incluyendo calibración y validación.

7.8.2 Documento o reporte de modelación

Es necesario generar y suministrar un documento compilatorio del análisis de la modelación de la calidad del agua donde se citen los soportes requeridos en los ítems anteriores. Dentro de este documento se debe incluir la justificación de la selección del modelo teniendo en cuenta su idoneidad en términos de aplicabilidad a la dimensionalidad espacial, tipos de cuerpos de agua analizados, procesos incluidos y variables fisicoquímicas e hidrobiológicas. Así mismo, debe especificar todas las condiciones de contorno que se representarán en el modelo, como límites aguas arriba/aguas abajo, afluentes, entradas de aguas subterráneas, descargas de fuentes puntuales, represas, extracciones/retornos de agua, influencias de sedimentos en el lecho, deposición de aire y clima. Adicionalmente, se deberá incluir un numeral donde se establezcan todos los supuestos de modelación con su respectiva consideración técnica.

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

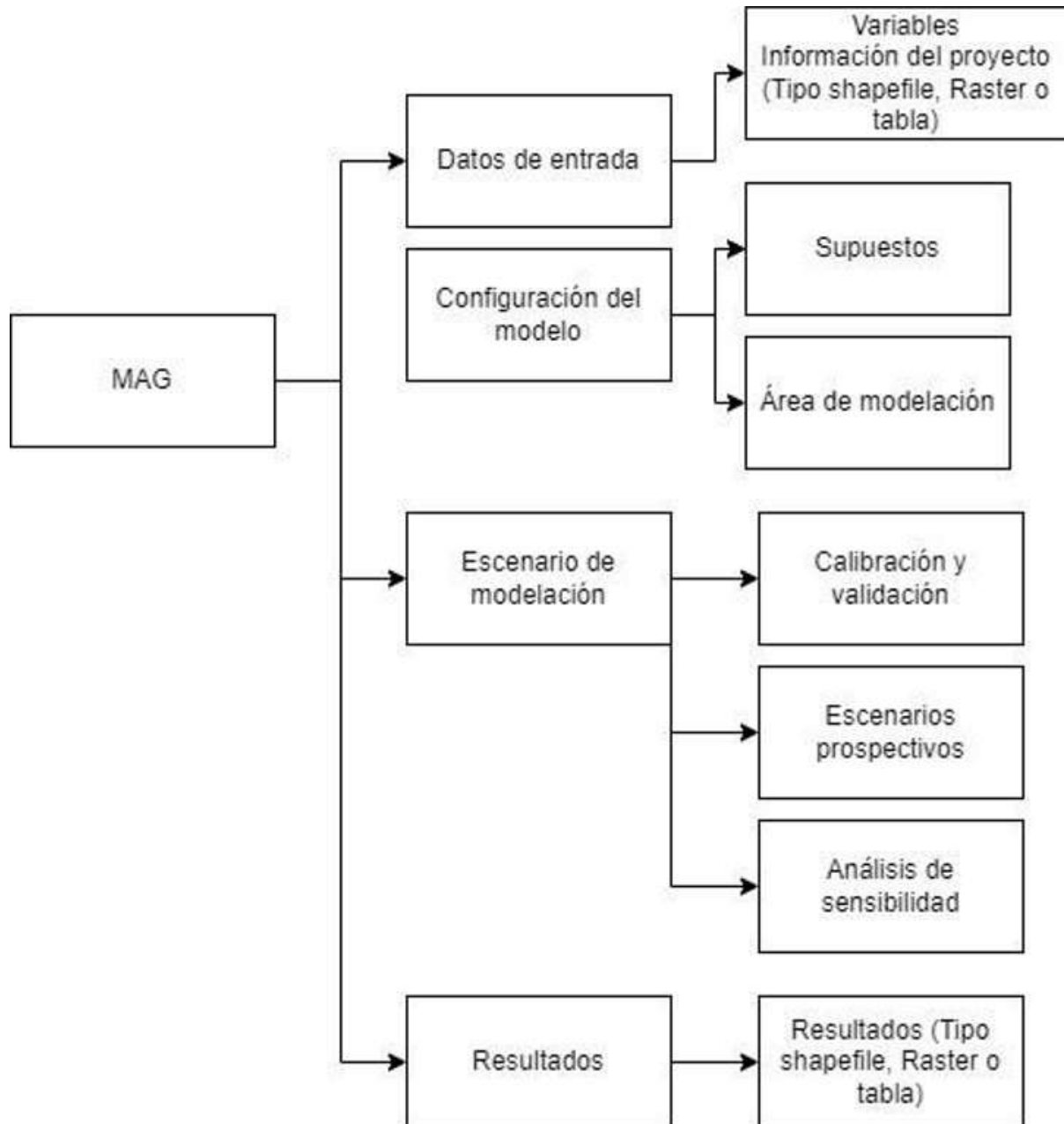
7.8.2.1 Modelo de Almacenamiento Geográfico (MAG)

El Modelo de Almacenamiento Geográfico (MAG), tiene como propósito la estandarización de información cartográfica según estipulado en la Resolución 2182 de 2016, para la entrega de Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental (EIA), Planes de Manejo Ambiental (PMA) e Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA), entre otros.

Este sistema permite la entrega de los procesos de modelación a partir de información georreferenciada, lo cual alimenta las bases de datos del sistema de información geográfico del ANLA y mejora los procesos de seguimiento y evaluación de las obligaciones, mejorando la eficiencia en la toma de decisiones por parte de la entidad.

En la Figura 7-4 se muestra la integración de los procesos de modelación con el MAG, adicionalmente en la Tabla 7-4 y Tabla 7-5 se presenta en manera de ejemplo la estructuración de los ejercicios de modelación de calidad de agua.

Figura 7-4. Esquemización de información Modelo Almacenamiento Geográfico (MAG)



Fuente: ANLA, 2020


 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

Tabla 7-4. Ejemplo acople modelo-MAG (Shapefile).

Nombre capa geográfica	Descripción	Ejemplo
AreaModelacion	Espacio modelado, corresponde al dominio computacional del modelo	<p>Esta área es limitada por el tipo de cuerpo de agua analizar por ejemplo ríos y embalses, Estuario y áreas marítimas.</p> <p>En esta área de modelación deben incluirse los sistemas lenticos y loticos importantes, junto con áreas donde identificar las condiciones naturales del sistema y las posibles áreas donde se puede tener una dispersión de los contaminantes.</p>
VariablesParametro	Variables de entrada, parámetros y condiciones de frontera.	<p>Se cuenta con variables en capa tipo punto, línea y polígono.</p> <p>PT: Vertimiento, Uso y usuario del recurso hídrico, Punto de Muestreo de Agua, estaciones hidroclimáticas, etc. PL: Batimetría. PG: Cuerpo de agua.</p> <p>Es importante mencionar que dentro de las variables de entrada es necesario relacionar el modelo hidrodinámico del cuerpo de agua a analizar en el caso de ser usados para la modelación de calidad de agua.</p>
Resultados	Resultados cualitativos y cuantitativos de las salidas de un modelo distribuidos puntualmente.	<p>Se cuenta con resultados en capa tipo punto, línea y polígono.</p> <p>PT: Concentraciones de parámetros fisicoquímicos. PG: Concentraciones de parámetros fisicoquímicos (obtenida por medio de mallas estructuradas o no estructuradas para modelos 2D)</p> <p>En el caso de modelar los cambios de concentración de acuerdo con los cambios de profundidad estos deben estar relacionados con un punto o polígono de referencia</p>

Fuente: ANLA, 2025




 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

Tabla 7-5. Ejemplo acople modelo-MAG (Tabla).

Nombre de la tabla	Descripción	Ejemplo
Modelo	Características generales y tipología del modelo ambiental.	<p>Se deberá diligenciar el nombre del modelo, propósito del ejercicio, tipo de modelo (Agregado, semi-distribuido o distribuido), versión del software usado y limitaciones que pueda tener el mismo.</p> <p>Por ejemplo: Modelo agregado 1D aplicado en cuerpo de agua superficial lotico, HEC-RAS versión 6.3.1, para simular el comportamiento del proyecto de extracción de hidrocarburos para los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto, DBO, pH, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales, hidrocarburos, metales pesados, etc. Como limitación este modelo no cuenta con sistema de auto calibración.</p>
ConfiguraModel	Detalla las diferentes configuraciones que se pueden dar para parametrizar la corrida de un Modelo ambiental.	<p>Se busca identificar el tipo de estacionalidad del modelo (Transitorio o estacionario)), motor de cálculo, ecuaciones de gobierno, características de malla (estructurada, no estructurada o nodos) y criterio de estabilidad numérica.</p> <p>Ejemplo: Estacionalidad transitoria, con motor de cálculo basado es Ecuación de transporte advectivo difusivo, método de solución de elementos finitos, con tipo de mallado de nodos y criterio de estabilidad numérico de pecllet y courant tipo dinámico.</p>
Escenario	Indica las diferentes representaciones de una situación abstracta de la realidad que se pretende modelar.	Dentro de la de modelación se deben identificar los escenarios como: escenarios de calibración y validación, con proyecto o sin proyecto, temporadas climáticas (verano,

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

Nombre de la tabla	Descripción	Ejemplo
		<p>invierno, intermedios) y fenómenos macro climáticos (ENSO), condiciones de caudales, escenarios de operación, etapas del proyecto o escenarios cambio climático.</p> <p>Ejemplo 1: Escenario de condiciones con proyecto y con operación de sistema de tratamiento de aguas residuales, para un caudal mínimo del cuerpo receptor, El periodo de análisis del modelo inicia el 01.01.2022 a las 00:00 y finaliza en 31.12.2022 a las 23:00, con pasos de tiempo constantes de un día, que permite la visualización de los resultados en días.</p> <p>Ejemplo 2: Escenario de condiciones con proyecto en un periodo de operación de 10 años y con sistema de tratamiento de aguas residuales, para un periodo de calentamiento iniciando el 01.01.2034 a las 00:00 y finaliza el 31.12.2034 a las 23:00, El periodo de análisis del modelo inicia el 01.01.2035 a las 00:00 y finaliza el 31.12.2035 a las 23:00, con pasos de tiempo constantes de un día, que permite la visualización de los resultados en días.</p>
Supuestos	Detalla las certezas asumidas asociadas a una configuración de un ejercicio de modelación.	<p>Pretende identificar las simplificaciones, abstracciones y/o modificaciones realizadas sobre procesos, variables o cuerpos de agua.</p> <p>Ejemplo: tipo de constituyente Amonio y su valor es no modelado.</p>
VariablesParametros	Listado detallado de las variables de entrada, parámetros y condiciones de frontera empleados en un modelo.	<p>Variables climáticas (viento, Temperatura, precipitación, etc.)</p> <p>Variables hidrodinámicas (Caudal, profundidades, modelo hidrodinámico)</p> <p>Parámetros fisicoquímicos (Temperatura del agua, oxígeno Disuelto, DBO, DQO, Metales, Iones, etc.)</p> <p>Caudal de vertimiento y aportantes.</p> <p>Tasa de reacción (oxidación, hidrólisis, reareación, etc.)</p> <p>Tasa de sedimentación</p> <p>Factores de asimilación</p>

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15


Nombre de la tabla	Descripción	Ejemplo
RegVariabParam	Descripción y relación de las variables de entrada, parámetros y condiciones de frontera.	Se describirá las características de cada variable ingresada como el tipo (Vectorial o Ráster), el tipo de caracterización (si este hace parte de la línea base del del proyecto), relación con otras entidades dentro del MAG (Capa, tabla o feature class), temporalidad en la que se encurta el dato y valor de la variable (alfanumérico o numérica) Ejemplo: Concentración DBO, este pertenece a la caracterización de la línea, se encuentra asociada a la tabla relación Parámetros Físicoquímicos Aguas Superficiales, Dato tomado 01.01.2022, con un valor de 76 mg/L.
Resultados	Listado detallado de los resultados cualitativos y cuantitativos de la salida del modelo.	Se describe el nombre del resultado, unidades de concentración del parámetro físicoquímico y observaciones. Ejemplo: Concentración de DBO en mg/L en el kilómetro 30.
RegistroResultados	Registros de los resultados cualitativos y cuantitativos de las salidas de un modelo.	Concentraciones del parámetro físicoquímico analizado.

Fuente: ANLA, 2025

Vale la pena mencionar que el cargue de los ejercicios de modelación en el MAG no es obligatorio, dado que la resolución 2182 de 2016 no acoge el cargue de modelos, por consiguiente, cargar los ejercicios de modelación en el MAG será de manera opcional.

8. Referencias

- **Waveren, R. v., Groot, S., Scholten, H., Geer, F. v., Wösten, J., Koeze, R., & Noort, J.**, Good Modelling Practice Handbook. Dutch Dept. of Public Works, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment. (1999)
- **Middlemis, H.**, Groundwater Flow Modelling Guideline. Aquaterra Consulting Pty Ltd. (2000)
- **Lozano, G., M.A., Z., & L.E., P. (s.f.)**, Selección del modelo de calidad del agua - Proyecto Quindío (U. del Valle, Instituto Cinara) (2002)
- **Reilly, T. E., & Harbaugh, A. W.**, Guidelines for evaluating ground-water flow models. US Department of the Interior, US Geological Survey (2004)
- **Crout, N., Kokkonen, T., Jakeman, A., Norton, J., Newham, L., Anderson, R., Croke, B.** ,Modelling Practice Good (2008)
- **Barnett, B., Townley, L., Post, V., Evans, R., Hunt, R., Peeters, L., Werner.** ,Australian groundwater modelling guidelines. Camberra: Waterlines Report Series. (2012)
- **Servicio de Evaluacion Ambiental.**, Guía para el Uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA. Servicio de Evaluación Ambiental, SEA. (2012)
- **MADS, S. M.**, Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de Acuíferos. Bogotá. (2014)
- **Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.**, GUÍA NACIONAL DE MODELACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO PARA AGUAS SUPERFICIALES CONTINENTALES (2018)
- **Nevada Division of Environmental Protection.**, Guidance for Hydrogeologic Groundwater Flow Modeling at Mine Sites. Bureau of Mining Regulation and Reclamation (2018)
- **DPE**, Minimum groundwater modelling requirements for Major Projects in NSW (2022)
- **Instituto de Hidrologia, M. y. I. IDEAM**, Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrogeologica> (2023)

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-15

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre	Nombre	Nombre
Wilfredo Marimon Bolivar Didier Felipe Barragan Rojas	Oscar Alexander Varila Quiroga	Jorge Alberto Sanabria Morales
Cargo	Cargo	Cargo
Profesional Técnico Profesional de Calidad	Profesional Especializado	Coordinador
Fecha	Fecha	Fecha
05-05-2026	08-05-2026	12-05-2026