



Análisis de Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) para reducir la contaminación en la cuenca del río Vergara

Habilitación presentada para optar al título de
Ingeniero Ambiental

ROBERTO NICANOR GUERRERO ROZAS

Profesora Guía: Dra. Alejandra Stehr Gesche

Concepción, Chile, 2023

Análisis de mejores prácticas de manejo (BMPS) para reducir la contaminación en la cuenca del Río Vergara.

Profesor Guía: Dra. Alejandra Sther Gesche



Profesor Comisión: Dr. Mauricio Aguayo Arias



Profesor Comisión: Dr. Ricardo Figueroa Jara



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, septiembre 2023



TESIS FINANCIADA MEDIANTE PROYECTO ANID NSFC190002

“IMPROVING WATER QUALITY TO SUSTAIN WATERSHED ECOSYSTEMS AND
SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT UNDER CLIMATE CHANGE: A CHINA-CHILE
COMPARATIVE STUDY”

INVESTIGADOR PRINCIPAL: DRA. ALEJANDRA STEHR GESCHE

Índice

Agradecimientos	vi
Resumen	vii
1 Antecedentes y marco teórico.....	1
1.1 El problema de la contaminación agrícola difusa	1
1.1.1 Erosión y exportación de sedimentos	2
1.1.2 La contaminación por nutrientes	3
1.2 Las Mejores Prácticas de Manejo	4
1.2.1 ¿Qué son las Mejores Prácticas de Manejo?	4
1.2.2 Clasificación de las Mejores Prácticas de Manejo	6
1.2.3 Experiencias internacionales con el uso de Mejores Prácticas de Manejo	7
1.2.4 Experiencias nacionales con el uso de Mejores Prácticas de Manejo	8
1.3 Herramientas para evaluar las potenciales Mejores Prácticas de Manejo	9
1.3.1 Uso de modelos hidrológicos para evaluar Mejores Prácticas de Manejo	10
1.3.2 Uso de SWAT en la modelación de Mejores Prácticas de Manejo	11
2 Pregunta de investigación:	13
3 Objetivos:	13
3.1 Objetivo general:	13
3.2 Objetivos específicos:	13
4 Metodología.....	14
4.1 Área de estudio: La cuenca del río Vergara	14
4.1.1 Clima	15
4.1.2 Hidrología	15
4.1.3 Suelos	18
4.1.4 Uso de suelo	18
4.1.5 Uso de agua	19
4.1.6 Calidad del agua	21
4.2 Selección de BMPs a modelar	25
4.2.1 Revisión bibliográfica	25
4.2.2 Filtrado y evaluación	26
4.2.3 Análisis y selección de las Mejores Prácticas de Manejo a implementar	27
4.3 Modelo SWAT	27
4.3.1 Simulación del ciclo hidrológico	28
4.3.2 Escala espacial del modelo SWAT	35
4.3.3 Construcción del modelo SWAT	37
4.3.4 Calibración y validación del modelo	40

4.4	Evaluación de la efectividad de las Mejores Prácticas de Manejo	42
4.4.1	Diseño de escenarios individuales.....	43
4.4.2	Diseño de escenarios de combinación	44
5	Resultados	45
5.1	Selección de BMPs a modelar	45
5.1.1	Análisis de la naturaleza geográfica de los estudios	45
5.1.2	Normalización de BMPs.....	46
5.1.3	Elaboración de fichas bibliográficas.....	47
5.1.4	Elección de las BMPs a modelar	48
5.2	Generación del modelo SWAT para la cuenca del río Vergara.....	50
5.2.1	Caudales	50
5.2.2	Sedimentos	56
5.2.3	Nitrógeno total.....	58
5.2.4	Fósforo total	60
5.3	Evaluación de la efectividad de las BMPs	62
5.3.1	Desempeño en la reducción de Sedimentos (SS).....	64
5.3.2	Desempeño en la reducción de Nitrógeno total (NT).....	65
5.3.3	Desempeño en la reducción de Fósforo total (PT)	66
6	Discusión.....	67
7	Referencias	71
8	Anexos	82
8.1	Anexo A.....	82
8.2	Anexo B.....	83
8.3	Anexo C.....	84
8.4	Anexo D.....	85
8.5	Anexo E.....	86
8.6	Anexo F.....	88
8.7	Anexo G	92
8.8	Anexo H.....	94
8.9	Anexo I	165
8.10	Anexo J	168
8.11	Anexo K.....	170

Índice de tablas

Tabla N° 1: Ejemplos de estudios internacionales sobre el uso de BMPs para mejorar la calidad del agua en cuencas	7
Tabla N° 2: Estaciones red hidrométrica DGA para la cuenca del Río Vergara	17
Tabla N° 3: Temperatura y precipitación promedio en cuenca del río Vergara	15
Tabla N° 4: Caudal medio anual para estaciones fluviométricas del río Vergara	16
Tabla N° 5: Demanda de agua según naturaleza para cada subcuenca	20
Tabla N° 6: Distribución mensual de caudales superficiales (m ³ /s) otorgados por derechos de agua consuntivos	21
Tabla N° 7: Áreas de vigilancia y estaciones Red de Control NSCA para la protección de las aguas continentales superficiales del Biobío	22
Tabla N° 8: Parámetros fisicoquímicos NSCA para la protección de las aguas continentales superficiales del Biobío	22
Tabla N° 9: Verificación NSCA de la cuenca del Río Biobío en área de vigilancia VE-10	24
Tabla N° 10: Verificación NSCA de la cuenca del Río Biobío en área de vigilancia RE-10	24
Tabla N° 11: Criterios empleados en la búsqueda bibliográfica	25
Tabla N° 12: Datos de entrada del modelo	37
Tabla N° 13: Procedimientos y métodos utilizados para representar procesos de cuenca en SWAT	40
Tabla N° 14: Periodos de calibración y validación por variable de estudio	41
Tabla N° 15: Escenarios individuales de BMPs	43
Tabla N° 16: Escenarios de combinación de BMPs	44
Tabla N° 17: Distribución geográfica de las publicaciones seleccionadas	45
Tabla N° 18: Términos y acrónimos normalizados para representar las BMPs	Error! Marcador no definido.
Tabla N° 19: BMPs categorizadas según frecuencia de implementación y efectividad media	48
Tabla N° 20: Valor de indicadores estadísticos calibración y validación de caudales	55
Tabla N° 21: Valor ajustado de parámetros para calibración de caudal	56
Tabla N° 22: Valor ajustado de parámetros para calibración de sedimentos	57
Tabla N° 23: Valor de indicadores estadísticos calibración y validación de sedimentos	57
Tabla N° 24: Valor de indicadores estadísticos calibración y validación para nitrógeno total	60
Tabla N° 25: Valor ajustado de parámetros para calibración de nitrógeno total	60
Tabla N° 26: Valor de indicadores estadísticos calibración y validación para fósforo total	61
Tabla N° 27: Valor ajustado de parámetros para calibración de fósforo total	62
Tabla N° 28: Valores medios anuales de las cargas de SS, PT y NT por escenario modelado	63

Índice de figuras

Figura N° 1: Capacidad distintos softwares de modelación para modelar BMPs.	11
Figura N° 2: Cuenca del río Vergara.....	14
Figura N° 3: Red hidrométrica cuenca del río Vergara.....	17
Figura N° 4: Series de suelo cuenca del río Vergara	18
Figura N° 5: Usos de suelo cuenca del Río Vergara.....	19
Figura N° 6: Derechos de aprovechamiento de agua superficiales de tipo consuntivos cuenca del Río Vergara. 20	
Figura N° 7: Fuentes puntuales cuenca del río Vergara.....	23
Figura N° 8: Representación de fase terrestre del ciclo hidrológico en SWAT	28
Figura N° 9: Ciclo del Nitrógeno en SWAT.....	32
Figura N° 10: Ciclo del fósforo en SWAT.....	33
Figura N° 11: Fase de enrutamiento de SWAT	35
Figura N° 12: Esquema de una Subcuenca en SWAT mostrando las diferentes escalas en las que se Pueden Extraer Resultados.	36
Figura N° 13: Subcuencas generadas por el modelo para la cuenca del río Vergara	50
Figura N° 14: Caudales diarios observados y simulados río Vergara en Tijeral, para a) calibración y b) validación. 51	
Figura N° 15: Caudales diarios observados y simulados Río Renaico en Longitudinal, para a) calibración y b) validación. 52	
Figura N° 16: Caudales diarios observados y simulados Río Malleco en Collipulli, para a) calibración y b) validación. 53	
Figura N° 17: Caudales diarios observados y simulados Río Rehue en quebrada Culén, para a) calibración y b) validación.	54
Figura N° 18: Caudales diarios observados y simulados Río Mininco en Longitudinal, para a) calibración y b) validación. 55	
Figura N° 19: Sedimentos diarios observados y simulados río Vergara en Tijeral, para a) calibración y b) validación. 58	
Figura N° 20: NT observado y simulado a la salida de la cuenca, para a) calibración y b) validación.	59
Figura N° 21: PT observado y simulado a la salida de la cuenca, para a) calibración y b) validación.	61
Figura N° 22: Desempeño en la reducción de SS de cada escenario respecto al escenario Base.....	64
Figura N° 23: Desempeño en la reducción de NT de cada escenario respecto al escenario Base.....	65
Figura N° 24: Desempeño en la reducción de PT de cada escenario respecto al escenario Base.....	66

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mi familia, en especial a mis padres, Andrés e Hilda, quienes siempre han creído en mí y me han brindado su apoyo desde el inicio hasta el final de este proceso. También quiero agradecer a mi tía Sandra y a mi primo Oscar por brindarme contención emocional y un ambiente ameno mientras estaba lejos de casa, lo cual fue fundamental para llevar a cabo las tareas que este proyecto demandaba.

Agradezco a mis queridos amigos y amigas, Javiera, Evelyn, Juan Pablo, Jimmy, Ángela, Andrés, Leo y Paula, quienes estuvieron presentes a lo largo de las distintas etapas de este proyecto, para brindarme su apoyo, consejo y amistad en los momentos en que más lo necesitaba.

Me gustaría también agradecer a mi profesora, Alejandra, quien confió en mí y me brindó la valiosa oportunidad de llevar a cabo este proyecto bajo su guía y tutela, así como a mi comisión, los profesores Ricardo y Mauricio, quienes se mostraron siempre disponibles para ayudar ante las dificultades que fueron surgiendo.

Por último, aprovecho la instancia para agradecer a quienes, de manera desinteresada, colaboraron al poner a mi disposición conocimientos y materiales esenciales para la realización de este proyecto, especialmente a Alejandra, Diego, Efraín, Javiera, Javier y María José.

Gracias.

Resumen

La exportación de nutrientes y la erosión del suelo en los predios agrícolas constituyen un problema mundial que influye en la calidad del agua, así como en la fertilidad del suelo. Las Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) proporcionan una solución factible para los problemas de contaminación de fuentes agrícolas no puntuales (ANPS), ayudando a abordar los impactos asociados a altos niveles de sedimentos y nutrientes que, de no ser controlados, resultan en el deterioro ambiental de las áreas circundantes. En el presente estudio se evaluó la reducción de la contaminación proveniente de ANPS para fósforo total, nitrógeno total y sedimentos en la cuenca del río Vergara (4265 km²) en el sur de Chile, mediante la aplicación de las BMPs reducción de fertilizantes (FC), zonas de amortiguación ribereña (VFS) y “Grassed waterways” (GW), utilizando un modelo hidrológico elaborado con Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Se generaron 13 diferentes escenarios de aplicación para evaluar de manera individual y conjunta la efectividad de las BMPs en el control de exportaciones de sedimentos y nutrientes a la cuenca. Una vez calibrado y validado el modelo se obtuvieron los siguientes resultados:

De manera individual, las VFS registraron la mayor efectividad en la reducción de las exportaciones medias anuales de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) a la salida de la cuenca, siendo de 25.48% para NT y de 51.38% para PT al implementarse con un ancho de franja de 10 metros, mientras que, ampliando el ancho a 20 metros, se logró reducir en 43.51% el NT y en 63.08% el PT. Las GW mostraron mayor efectividad en la reducción de sedimentos (SS), siendo de 74.70% en el escenario que contempla una calidad de pasto de condiciones pobres y 86.77% para el escenario de condiciones óptimas. En tanto, la FC mostró una reducción de las cargas de NT y PT de un 3.59% y 2.75% a la salida de la cuenca, respectivamente para una reducción del 10% del fertilizante, y de hasta un 10.47% y 7.65% para una reducción del 30% del fertilizante.

Dentro de los escenarios combinados, se destaca el E13, que combinó el mejor escenario individual de cada BMP con el propósito de analizar el rendimiento conjunto de la implementación simultánea de VFS, FC y GW. La combinación VFS (20m) + FC (30%) + GW (con pastos de óptima calidad) logró reducciones promedio de SS, PT y NT de 97.99%, 70.05% y 49.90% a la salida de la cuenca, respectivamente.

1 Antecedentes y marco teórico

El suelo es un recurso natural, dinámico y no renovable, que influye directa o indirectamente en nuestras actividades cotidianas y desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la vida en nuestro planeta (Briak et al., 2019). Tanto la calidad del agua, como el uso de la tierra y la productividad de la vegetación se encuentran estrechamente relacionados con el suelo (Briak, 2017).

Los extensos cambios en el uso de suelo han desencadenado el cambio más significativo en la estructura de los ecosistemas, alterando la capacidad de estos para proveer servicios ecosistémicos a la sociedad (MEA, 2005). Debido a la magnitud de estos cambios, son considerados un cambio ambiental de carácter global que ha afectado procesos clave, tales como el balance energético en la superficie terrestre, los ciclos biogeoquímicos y el clima (Song et al. 2018).

Las actividades agrícolas, incluidos los cultivos anuales y la ganadería se encuentran ampliamente extendidas y son necesarias para apoyar el desarrollo socioeconómico en varios países (Liu et al., 2019). Sin embargo, en el caso chileno, la mayoría de los antecedentes concuerdan en señalar que las principales causas de transformación del paisaje en el centro y sur del país fueron en un inicio la habilitación de terrenos para la agricultura, y, posteriormente, la expansión de las plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento (EULA, 2020).

Muchas de las cuencas que dan origen a los principales cuerpos de agua han sido sometidas a intensos cambios en el uso del suelo incluyendo la pérdida de bosque nativo, el desarrollo de actividades agropecuarias y, en las últimas décadas, la forestación masiva fuertemente subsidiada por el estado a partir de la entrada en vigor del DL N° 701/1974 (EULA, 2020).

Con una presencia tan diversa de intereses para el uso del suelo, y la estrecha relación de su manejo con la calidad del agua de las cuencas, surge la necesidad de enfoques para prevenir o reducir la contaminación del medio ambiente. Es en este sentido donde Himanshu et al. (2019) señala que, mediante la adopción de prácticas de gestión agrícola sostenible, se puede controlar la degradación de la tierra debida a la erosión y al exceso de nutrientes en cuencas que presenten actividad agrícola.

1.1 El problema de la contaminación agrícola difusa

Las fuentes de contaminación se clasifican en dos categorías principales: fuentes puntuales y no puntuales. Las fuentes puntuales se originan a partir de una única fuente identificable de contaminación, como la descarga de riles por el ducto de una industria. Por otro lado, las fuentes no puntuales de contaminación (NPS) se refieren a aquellos contaminantes que no tienen una fuente específica claramente identificable. Un ejemplo de NPS son las actividades agrícolas, donde se generan diversas fuentes de contaminación en la cuenca, las cuales son difíciles de rastrear e identificar debido a que

no provienen de un único punto de emisión. Estas fuentes tienen su origen en actividades como la aplicación excesiva de fertilizantes, herbicidas e insecticidas, las cuales generan contaminantes que, con frecuencia, son arrastrados por la escorrentía y transferidos a ríos u otros cuerpos de agua receptores (Babaei et al., 2019), provocando lixiviación de nutrientes y erosión del suelo (Wang et al., 2019).

La contaminación agrícola proveniente de estas fuentes no puntuales, conocida como ANPS, ha generado una creciente preocupación y atención debido a la necesidad de controlarla de manera efectiva (Lam et al., 2012). En zonas rurales, la contaminación difusa es causada principalmente por la aplicación de fertilizantes, pesticidas e insecticidas, el flujo de retorno del riego, riego con aguas residuales/lodos y la contaminación difusa desde los patios de granjas (Özcan et al., 2017).

La contaminación difusa se ve afectada por las interacciones entre los procesos hidrológicos, los patrones de uso del suelo, el terreno y las actividades humanas (Wei et al., 2017). A nivel global, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos informó de un deterioro del 44% de la calidad del agua en los Estados Unidos en el siglo XXI, siendo la razón principal la cantidad excesiva de nutrientes en los ríos, causante de distintos grados de eutrofización (Miller, 1992). En los países europeos, la contaminación de fuentes no puntuales se ha convertido en el factor principal de contaminación del agua (Wang et al., 2019). En China, más del 50% de la carga de contaminación de los cuerpos de agua proviene de la contaminación por nitrógeno y fósforo, siendo la ANPS la principal causa de problemas ambientales del agua en las cuencas (Wang et al., 2018), en tanto en Chile, la agricultura es la fuente de contaminación difusa más importante considerando plaguicidas y fertilizantes (EULA, 2014).

En el marco de esta investigación, resulta pertinente destacar un aspecto clave en relación con las NPS: la problemática específica de la contaminación por nutrientes y sedimentos. Este fenómeno, caracterizado por la liberación excesiva de nutrientes y la erosión de sedimentos, plantea desafíos significativos en términos de la calidad del agua y la preservación de los ecosistemas acuáticos. Los siguientes apartados de esta investigación se dedicarán a explorar en detalle las implicaciones de este fenómeno y a proponer medidas y enfoques adecuados para su control.

1.1.1 Erosión y exportación de sedimentos

La erosión del suelo es una de las principales amenazas identificadas en el informe de 2015 sobre el Estado de los recursos del suelo en el mundo y se define como la remoción acelerada de la capa superior del suelo de la superficie terrestre a través del agua, el viento y la labranza (FAO, 2021).

El suelo desempeña funciones de captura, almacenamiento y filtración del agua. Con un suelo erosionado, la calidad del agua en el territorio aguas abajo puede resultar comprometida (FAO, 2019), puesto que no se lleva a cabo un adecuado proceso de filtración. En eventos de precipitación intensa, donde se excede la capacidad de infiltración del suelo, se produce retención y detención superficial del agua, dando origen

a un flujo superficial de agua no absorbida denominado escorrentía superficial, el cual constituye el principal agente de transporte de sedimentos (Meyer, 1976, como se cita en Prado & da Veiga, 2006). La pérdida de sedimentos causada por erosión del suelo no sólo deteriora la calidad de las aguas superficiales, cuerpos de agua cercanos y humedales, sino que también reduce la productividad de las tierras agrícolas (Uniyal et al., 2020). La erosión acelerada del suelo, agravada por las perturbaciones antropogénicas, es un proceso destructivo que agota la fertilidad y degrada la estructura del suelo, reduciendo entre otras cosas la profundidad efectiva de enraizamiento (Lal, 2003). En términos cuantitativos, la baja de productividad por erosión del suelo puede llegar a reducir hasta en un 50% del rendimiento en los cultivos (FAO, 2021), afectando la dimensión socioeconómica de quienes llevan a cabo esta actividad productiva.

Pimentel & Burgess (2013) evidenciaron que las prácticas agrícolas inapropiadas en combinación con otros factores como precipitaciones intensas, topografía escarpada, baja cobertura vegetal, deforestación y el sobrepastoreo son algunas de las principales causas de la erosión del suelo.

La identificación de las zonas críticas de la cuenca propensas a la erosión y la aplicación de las Mejores Prácticas de Manejo es necesaria para controlar la degradación de la cuenca reduciendo las pérdidas de sedimentos y nutrientes (Himanshu et al., 2019).

1.1.2 La contaminación por nutrientes

La actividad agropecuaria figura dentro de las principales fuentes de exceso de fósforo y nitrógeno en el ambiente (EPA, 2021a), ya que estos nutrientes provenientes del estiércol animal y fertilizantes químicos son necesarios para el crecimiento de los cultivos. Sin embargo, cuando estos nutrientes no son totalmente aprovechados por las plantas, pueden terminar exportándose desde los campos de cultivo y afectan negativamente la calidad del agua (EPA, 2021a). Esta sobre fertilización provoca el deterioro de los recursos de agua dulce, debido a los elevados niveles de lixiviación de nitrógeno y fósforo, además de que parte de estos nutrientes disueltos también son exportados por escorrentía. Se ha señalado que alrededor del 45% del fertilizante de fósforo y sólo el 30-50% del fertilizante nitrogenado aplicado es absorbido por los cultivos (Tilman et al., 2002).

El nitrógeno (N) se introduce en los ecosistemas acuáticos en forma inorgánica; nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+), así como nitrógeno orgánico (N_{org}). El nitrato es la forma que predomina en aguas superficiales y subterráneas, debido a su alta solubilidad en agua. Los factores que controlan la entrada de compuestos de nitrógeno en los cuerpos de agua incluyen el tipo de suelo, el drenaje, el clima, así como las prácticas de uso de fertilizantes, como la cantidad, el momento y la forma de aplicación en el campo (EULA, 2014).

Los altos niveles de nitrógeno pueden provocar problemas de calidad del agua, como la proliferación de algas y la formación de zonas muertas con bajo contenido de oxígeno. El exceso de nitrógeno en la atmósfera puede generar contaminantes como el amoníaco

y el ozono, que pueden afectar nuestra capacidad para respirar, reducir la visibilidad y alterar el crecimiento de las plantas (EPA, 2021b). Además, el nitrógeno puede ser transformado por procesos biológicos en gases de óxido nitroso, que contribuyen al calentamiento global en una magnitud 300 veces superior a la del CO₂, añadiendo que la actividad agrícola es responsable del 73.9% del total de emisiones de N₂O en los EE. UU. (EPA, 2023). Cuando el exceso de nitrógeno regresa a la tierra desde la atmósfera, puede deteriorar el estado de los bosques, los suelos y las vías fluviales (EPA, 2021b).

El fósforo es un nutriente limitante en muchos ecosistemas acuáticos lo que significa que su disponibilidad controla la tasa de crecimiento de las plantas acuáticas y algas. A diferencia del nitrógeno, el fósforo (P) se transporta principalmente a las aguas superficiales a través de su asociación con la materia orgánica, por lo tanto, los flujos de P en la superficie están influenciados principalmente por procesos erosivos, lo que resulta en una mayor pérdida de fósforo durante los meses de invierno (EULA, 2014). Las características del suelo, como la baja permeabilidad o una estructura poco permeable, pueden favorecer la movilización rápida del fósforo hacia el agua a través de la escorrentía superficial o el flujo preferencial a través de grietas en el suelo. La vulnerabilidad del suelo a la erosión, las prácticas agrícolas como el cultivo en surcos y la degradación del suelo son factores que contribuyen a una mayor exportación de fósforo hacia las aguas superficiales, incluso en condiciones de baja intensidad de precipitaciones (EULA, 2014).

Cuando hay un exceso de fósforo disponible, las algas y plantas acuáticas pueden proliferar de manera descontrolada, creando floraciones de algas tóxicas y afectando negativamente la calidad del agua (EPA, 2021b). Las proliferaciones de alga, también llamados “blooms” pueden reducir en gran medida o incluso eliminar el oxígeno presente en el agua. Como consecuencia, la fauna íctica enferma y se producen eventos de mortandad. Algunos florecimientos algales resultan perjudiciales para las personas, ya que producen cantidades elevadas de toxinas y crecimiento bacteriano. Una persona podría enfermar si entra en contacto con agua contaminada, tanto si la bebe, como si consume pescado o moluscos contaminados, además el agua subterránea extraída por medio de pozos puede resultar nociva si se encuentra contaminada por nutrientes, incluso si la contaminación es leve (EPA, 2021b).

1.2 Las Mejores Prácticas de Manejo

1.2.1 ¿Qué son las Mejores Prácticas de Manejo?

El término proviene del inglés “Best Management Practices”, abreviado “BMPs”, fue acuñado hace alrededor de 35 años y es ampliamente utilizado en los Estados Unidos y Canadá, como una forma de describir prácticas aceptables que podrían ser implementadas para proteger la calidad del agua y promover la conservación del suelo (NC Forest Service, 2017).

Sharpley et al. (2006) define las BMPs como prácticas de conservación del suelo y el agua, incluyendo acciones sociales y culturales que han sido reconocidas como formas

efectivas y prácticas para la protección del medio ambiente. Más adelante, el NC Forest Service (2017) entrega una definición desde una mirada más auditable, definiendo a las BMPs como un conjunto de prácticas que, según consideraciones tecnológicas, económicas e institucionales, se han determinado como un medio eficaz y viable para prevenir o reducir la cantidad de contaminación generada por fuentes no puntuales a un nivel compatible con los objetivos de calidad del agua.

Durante el transcurso de esta investigación, se ha identificado que existen dos traducciones comunes del término al español. Estas traducciones son "Mejores Prácticas de Manejo" y "Buenas Prácticas de Gestión". Ambas expresiones son utilizadas en la literatura académica y técnica en español (p. ej., FAO, 2018; PEBSJ, 2014) y se emplean para referirse a un conjunto de enfoques, técnicas o medidas recomendadas que buscan mitigar la contaminación y minimizar los impactos ambientales negativos en diversos campos de aplicación. En el presente estudio, se ha utilizado la traducción de "Mejores Prácticas de Manejo" en lugar de "Buenas Prácticas de Gestión". Esta elección se realiza con el propósito de evitar posibles confusiones, considerando que en el idioma español existen diversas "buenas prácticas de gestión" que abarcan áreas del conocimiento van más allá de la agricultura y el manejo del suelo. La utilización de la terminología "Mejores Prácticas de Manejo" se considera más precisa y específica para el contexto de este estudio, donde se busca enfocar en las prácticas agronómicas que promueven la eficiencia productiva y reducen el impacto ambiental.

En este sentido, las BMPs destacan por ser implementadas para contrarrestar los problemas asociados al aumento de contaminantes provenientes de fuentes no puntuales (Motsinger et al., 2016). En la literatura científica se establece que uno de los métodos más comunes para reducir los nutrientes en las zonas agrícolas es la aplicación de BMPs en las tierras de cultivo (Zammali et al., 2021). Estas prácticas poseen diferentes funcionalidades que van desde la reducción de los nutrientes que ingresan a la tierra y la minimización de la erosión del suelo, hasta la disminución de la exportación de sedimentos y/o nutrientes disueltos a los cuerpos de agua (USDA, 2006).

Algunos ejemplos de prácticas que son consideradas BMPs incluyen zonas de amortiguación ribereñas, labranza de conservación, labranza cero, gestión de nutrientes, cultivo en terrazas, cultivo en franjas, humedales construidos, agricultura de contorno, cultivos de cobertura, "grassed waterways" y reforestación, las cuales han sido ampliamente implementadas y cuentan con respaldo científico en su desempeño para la reducción exportaciones de sedimentos y/o nutrientes. El enfoque de las BMPs puede ofrecer opciones de gestión alternativas para lograr mejores condiciones ecológicas manteniendo las actividades agrícolas. Por lo tanto, son medidas capaces de conciliar el desarrollo económico y la protección del medio ambiente (Haas et al., 2017).

Es relevante tener cuenta que los impactos de las BMPs son específicos de cada lugar ya que son influidos en gran medida por las condiciones geomorfológicas, las condiciones climáticas y las características del paisaje, como el suelo, el uso de la tierra y las prácticas de gestión agrícola (Mtibaa et al., 2018).

1.2.2 Clasificación de las Mejores Prácticas de Manejo.

Existen diferentes clasificaciones para agrupar a las BMPs, las que varían según la fuente que se consulte; una misma BMP puede ser conocida bajo diferentes nombres, así como también existe la posibilidad de desglosarse y ser subdividida en más de una. El Chesapeake Bay Program (CBP, 2018) ilustra esta situación en su Guía de Referencia para las BMPs, identificando en tablas comparativas los nombres propuestos por su panel de expertos para cada BMP particular, junto a las denominaciones utilizadas por la National Environmental Information Exchange Network, para referirse a las mismas, o a prácticas que de estas se desglosan. Explicación de esto, según señala el CBP (2018), es que las BMPs en la NEIEN se subclasifican según los distintos tipos de animales, fuentes de tierra o regiones hidrogeomórficas a las que vayan a ser aplicadas; situación que también ocurre de forma análoga con otras entidades (p. ej. USDA, 2012; Utah State University, 2020).

A pesar de esto, en la literatura científica consultada, se identifica una adopción generalizada de la clasificación de BMPs en dos categorías principales; Estructurales y Agrícolas o “no estructurales” (Babaei et al., 2019; Briack et al., 2019; Haas et al., 2017; Himanshu et al., 2019; Jang et al., 2017; Liu et al., 2019; Mtibaa et al., 2018; Ricci et al., 2020; Uniyal et al., 2020; Zammali et al., 2021).

Las BMPs estructurales consisten en la implementación de estructuras terrestres, naturales o artificiales, que generalmente se construyen en los bordes del terreno o predio para reducir los contaminantes mediante procesos de filtración, infiltración y evaporación (Liu et al., 2019), siendo generalmente permanentes o con una vida útil superior a los 3 años (Uniyal et al., 2020). Estas BMPs implican estructuras de control, cuya función es reducir las cargas de contaminantes después de que haya comenzado su proceso de movilización dentro de la cuenca hidrográfica, mediante su uso, se pueden alterar las trayectorias de flujo, los tiempos de residencia o la capacidad de infiltración, como también reducir la longitud de la pendiente, que a su vez ayuda a controlar la erosión del suelo (Lee et al., 2010). Algunos ejemplos son las zonas de amortiguación de riveras, la construcción de terrazas, estanques de detención (o cuencas de retardo) y humedales.

Las BMPs Agrícolas o no estructurales, corresponden a procedimientos de manejo llevados a cabo dentro del predio de cultivo y se utilizan para mejorar la calidad del agua, buscando prevenir o reducir los contaminantes desde su fuente de origen sin el uso de ninguna estructura (Lee et al., 2010; Liu et al., 2019; Uniyal et al., 2020). Algunos ejemplos son la labranza de conservación, la gestión de residuos, cultivos de contorno, cultivo en franjas, siembra directa y gestión de nutrientes.

1.2.3 Experiencias internacionales con el uso de Mejores Prácticas de Manejo.

La implementación de BMPs en cuencas hidrográficas ha sido reconocida como un método efectivo a nivel global para reducir el deterioro de la calidad del agua (Mtibaa et al., 2018; Babaei et al., 2019). Ya sean estructurales o no estructurales, las BMPs se han utilizado ampliamente para controlar la escorrentía, los sedimentos y los nutrientes producto de la contaminación difusa en las cuencas hidrográficas, a la vez que ayudan a mejorar la productividad agrícola (Briack et al., 2019).

Diversos estudios han explorado la eficacia de la aplicación de las BMPs agrícolas para reducir las exportaciones de contaminantes en diversas cuencas a lo largo del mundo (por ej. Bracmort et al., 2006; Briack et al., 2019; Haas et al., 2017; Himanshu et al., 2019; Jang et al., 2017; Liu et al., 2019; Mtibaa et al., 2018; Ricci et al., 2020; Uniyal et al., 2020; Zammali et al., 2021).

En la Tabla N°1 se presentan diversos casos de estudio a nivel internacional que han investigado el uso de BMPs para mejorar la calidad del agua en cuencas. Estos ejemplos representan una amplia variedad de regiones geográficas y han abordado múltiples aspectos relacionados con la gestión de la calidad del agua. Al analizar los estudios seleccionados, se puede obtener una visión integral de las estrategias y enfoques utilizados para mitigar la contaminación y promover la sostenibilidad en diferentes contextos hidrológicos.

Tabla N° 1: Ejemplos de estudios internacionales sobre el uso de BMPs para mejorar la calidad del agua en cuencas

BMPs	Área de estudio	Contaminante de interés	Estudio
Reducción de fertilizantes; Desfase en la fertilización; Cultivos de contorno; Reducción de ganado; Labranza cero; Zona de amortiguación ribereña	Cuenca del Arachtos, Grecia, 2000 km ²	Nutrientes	Panagopoulos et al., 2012
Gestión de nutrientes; Grassed waterways; Estructura de estabilización de grado; Gestión de labranza; Gestión de residuos	Cuenca del arroyo Eagle, EE. UU., 248.1 km ²	Sedimento, nutrientes y pesticidas	Ahmadi et al., 2013
Cultivo de cobertura; Zona de amortiguación ribereña; Gestión de residuos	Cuenca del río Raisin, EE. UU., 268.1 km ²	Sedimento	Sommerlot et al., 2013
Rotación de cultivos; Terrazas; Estanques de retención	Cuenca del río Pipiripau, Brasil, 235 km ²	Sedimento	Strauch et al., 2013

BMPs	Área de estudio	Contaminante de interés	Estudio
Cultivo en contorno; Gestión de residuos; Cultivo en hileras; Pasto nativo; Terrazas; Estructura de recarga	Cuenca del río Saginaw, EE. UU., 15263 km ²	Sedimento y nutrientes	Giri et al., 2014
Gestión de labranza; Cultivo en contorno; Gestión de pastoreo, Pasto nativo; Gestión de residuos; Terrazas	Cuenca del lago Tuttle Creek, EE. UU., 6158 km ²	Sedimento y nutrientes	Woznicki et al., 2014
Labranza cero; Reducción de fertilizantes; Grassed waterways; Zona de amortiguación ribereña.	Cuenca del río Guishui, China, 724.6 km ²	Nutrientes	Ding et al., 2020

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la efectividad de las BMPs, dentro de la bibliografía es recurrente encontrar resultados de BMPs en formato de combinado. Citando uno de los ejemplos expuestos, en Panagopoulos et al (2012) se mide la efectividad combinada de 6 BMPs, dejando de lado la metodología utilizada y el trasfondo de los algoritmos, solo para las zonas agrícolas (que no incluyen actividades ganaderas) se generaron 50 combinaciones de BMPs. Se mide el efecto conjunto cada una de las distintas combinaciones, pero se entrega un solo resultado final, el de la combinación con mayor efectividad para los contaminantes de interés; los demás resultados no se abordan, ni tampoco se transparentan dentro del estudio.

En el extremo opuesto se encuentra el estudio de Strauch et al (2013), donde se evalúan los efectos de 3 BMPs y se transparentan todos los valores de efectividad, tanto para los doce escenarios individuales como para los escenarios en que fueron combinadas. Esto brinda la oportunidad de realizar un análisis detallado y comparar el desempeño de cada BMP de manera individual, lo cual resulta de gran importancia para comprender su contribución específica en la reducción de la contaminación y la mejora de la calidad del agua, permitiendo identificar las BMPs más efectivas en diferentes contextos hidrológicos.

1.2.4 Experiencias nacionales con el uso de Mejores Prácticas de Manejo

En el caso chileno, existen estudios y publicaciones disponibles en relación a estrategias de gestión de suelos agrícolas, la mayoría apuntan a exponer experiencias e instruir en la aplicación de alguna práctica de manejo en particular, así como visibilizar sus bondades, tal es el caso del artículo “Cero Labranza”, publicado por la UFRO (1994) donde se aborda las ventajas de implementar dicha práctica en praderas y fruticultura, abordando otros impactos de interés, en ámbitos como fertilidad de suelos, bienestar producción animal y economía ganadera. Otro caso es el de Peña (1981), que detalla la

experiencia con la implementación de cultivos de contorno y una cobertura mínima de rastrojos (hoy categorizada como labranza de conservación) específicamente en parcelas con suelos Trumao y un 11% de pendiente, para contrastar resultados con mediciones en las pérdidas de suelo respecto a una línea base que incluía las prácticas de siembra en pendientes y quema de rastrojos, habitualmente se desarrolladas y de contraparte directa a las dos BMPs implementadas en la zona de estudio, respectivamente.

Las situaciones anteriores ejemplifican casos concretos donde se utilizaron prácticas agrícolas que, si bien no fueron anunciadas como BMPs dentro de los respectivos estudios, sí son consideradas dentro de esta categoría. En general, en la literatura nacional las mejores prácticas de manejo no suelen ser denominadas explícitamente bajo esta clasificación, debido quizás a la poca masificación del término en el idioma español. No obstante, existen casos puntuales en los cuales sí es utilizada esta terminología, como en Díaz (2002), donde se hace referencia específica al concepto de BMPs, bajo el acrónimo “MPM”, y se busca brindar una guía práctica para la implementación de estas en el contexto agrícola, como la gestión de nutrientes y el manejo de residuos en la cero labranza.

Los estudios mencionados ejemplifican casos concretos que respaldan la existencia en Chile de un respaldo académico y empírico con relación a la implementación de ciertas BMPs. Si en embargo, aunque se ha logrado un respaldo sólido en términos de conocimiento teórico, es importante señalar que, hasta el momento, los estudios se han enfocado principalmente los beneficios y resultados obtenidos en base en la experimentación in situ de las prácticas en cuestión. No se encontraron registros o experiencias en donde se realice una simulación previa a la implementación de BMPs para cuantificar los posibles beneficios para la calidad del suelo y el agua. Esta situación implica que cuando ha existido voluntad de implementarlas, se han debido asumir los costos de realizar una prueba piloto, donde se instale la BMP en una porción del terreno experimental, hacer seguimiento el tiempo necesario para medir los resultados, además de realizar mediciones en paralelo por el mismo periodo a un sitio aledaño o de características similares para contrastar los resultados y determinar si resultará factible en términos costo-efectividad, dado que esta última es variable en función de las prácticas y las condiciones geomorfológicas, climáticas y de paisaje, del lugar donde se quieran implementar.

1.3 Herramientas para evaluar las potenciales Mejores Prácticas de Manejo

Existe una notable falta de conocimiento del grado en que las BMPs pueden reducir efectivamente la cantidad de sedimentos y nutrientes en el área de aplicación. Dado que la efectividad de las BMPs no puede ser probada en todos los casos, quienes diseñan y/o administran planes y políticas de cuencas dependen de modelos para proporcionar una estimación de su impacto en la mejora de la calidad del agua a escala de cuenca (Arabi et al., 2008; López-Ballesteros et al., 2019).

Los modelos hidrológicos y de calidad de agua son herramientas matemáticas que se utilizan para simular y predecir el comportamiento de los sistemas hídricos y la calidad del agua en ellos (Munar-Samboní et al., 2021). Entre sus aplicaciones, destaca poder entender los procesos hidrológicos que operan en la cuenca, tales como escorrentía superficial, evapotranspiración, infiltración, intercepción, entre otros; para predecir el comportamiento de estos procesos en diferentes escalas espaciales, basándose en diferentes parámetros que definen las características del sistema (Ponce, 1989).

Considerando lo anterior, en Himanshu et al. (2019) se indica que los modelos hidrológicos físicamente basados, respaldados por los sistemas de información geográfica y técnicas de teledetección, son un elemento popular en la identificación de zonas críticas y propensas a la erosión de una cuenca, como también una buena herramienta para seleccionar de estrategias de gestión, como las BMPs, que mejor se adecuen para la zona.

1.3.1 Uso de modelos hidrológicos para evaluar Mejores Prácticas de Manejo

La efectividad ambiental de las BMPs en términos de producción de sedimentos y/o reducción de la contaminación por fuentes no puntuales (NPS) puede evaluarse mediante modelos de cuenca (Xie et al., 2015).

Los modelos genéricos de cuencas orientados a procesos poseen múltiples incertidumbres asociadas a ellos; estas incertidumbres están relacionadas con simplificaciones de procesos, procesos no contabilizados por el modelo y procesos de la cuenca que son desconocidos para el modelador, inexactitud de los datos de entrada “inputs” ingresados al modelo, e incertidumbre en los valores de los parámetros ajustados que definen el sistema (Abbaspour et al., 2007).

Para obtener simulaciones de escenarios fiables, se requiere una representación precisa de la dinámica de los vertidos y la dinámica de nutrientes. Este se basa en una buena comprensión de estos procesos tanto en las cuencas hidrográficas como en los modelos (Gupta et al., 2009). Los modelos de cuenca pueden integrar información a grandes escalas espaciales y durante un largo periodo de tiempo para simular diversos procesos de las cuencas hidrográficas, como la escorrentía, la erosión del suelo, el transporte de nutrientes y los pesticidas (Uniyal et al., 2020).

Por lo tanto, los modelos que abordan la cantidad y la calidad del agua se utilizan ampliamente para simular el uso de BMPs para la reducción de la contaminación del medio ambiente y la investigación de un mejor uso de los recursos naturales (Haas et al., 2017). Aunque hay numerosos modelos de cuenca hidrográfica disponibles, que trabajan a diferentes escalas espaciotemporales, a menudo es un desafío para los modeladores identificar los mejores, que puedan abordar simultáneamente objetivos agronómicos, hidrológicos, socioeconómicos y ecológicos (Srinivas et al., 2022).

1.3.2 Uso de SWAT en la modelación de Mejores Prácticas de Manejo

Los modelos hidrológicos y de calidad del agua, como el modelo SWAT, son herramientas importantes para la investigación de los cambios en la cobertura y uso del suelo y en la evaluación de los efectos de la aplicación de las BMPs en la calidad del agua (Haas et al., 2017). En particular, SWAT es uno de los modelos más utilizados para la evaluación de la calidad del agua en cuencas hidrográficas debido a su completa base de datos, que permite la simulación de diversas prácticas de manejo agrícola, así como sus robustos algoritmos para la simulación del sistema hidrológico, el transporte de sedimentos, la calidad del agua y la NPS (Arabi et al., 2008; Himanshu et al., 2019; Mtibaa et al., 2018; Neitsch et al., 2005; Ricci et al., 2020).

En Xie et al. (2015) se realizó una comparativa entre cuatro diferentes softwares de modelación; Soil and Water Assessment Tool (SWAT), Agricultural Nonpoint Source (AGNPS), Annualized Agricultural Nonpoint Source (AnnAGNPS), y Hydrological Simulation Program–FORTRAN (HSPF); con la finalidad de identificar la capacidad para de cada uno para representar BMPs de diversa naturaleza. Dicha capacidad resultó en un gráfico de cobertura (Figura N°1) donde se aplica una cobertura negra cuando el software del eje vertical cuenta con la capacidad de simular la BMP definida en el eje horizontal, mientras que la ausencia de esta cobertura (sin rellenar) indica que el software no posee la capacidad de modelarla.

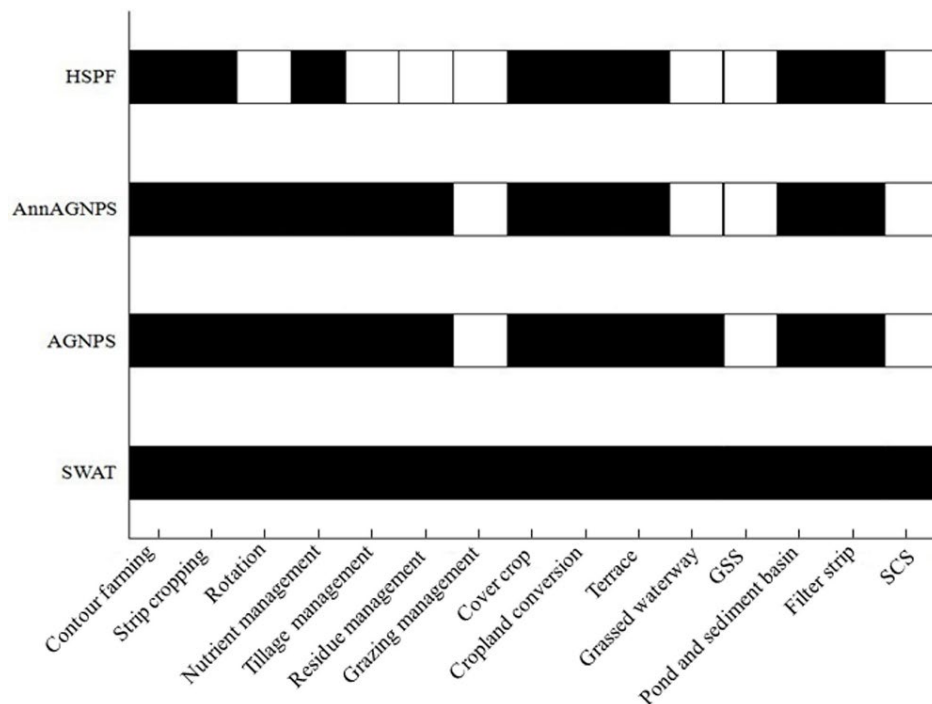


Figura N° 1: Capacidad distintos softwares de modelación para modelar BMPs.

Fuente: Xie et al., 2015

La Figura N° 1 muestra de manera evidente que, el modelo SWAT es la herramienta de modelación que posee mejor capacidad para representar la amplia gama de BMPs

existentes dado su número de parámetros. Esto guarda sintonía con los resultados de Wang et al. (2019), donde se empleó la herramienta de visualización y análisis de datos científicos llamada “CiteSpace” para examinar la literatura científica relacionada al modelo SWAT y se determinó que los principales temas de interés en la investigación con el software eran los problemas de calidad del agua, producción de sedimentos, calibración del modelo, análisis de incertidumbre y análisis de sensibilidad. Además, se identificó que la contaminación por fuentes no puntuales (NPS) constituye uno de los tres campos de aplicación más populares del modelo, donde se menciona que las investigaciones se centran en la distribución espacial y temporal de los nutrientes, los factores que influyen en su nivel y grado, y la predicción futura, con el objetivo de seleccionar las Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) aplicables.

La aplicación de BMPs en la agricultura y la reducción de fuentes de contaminación en diversas combinaciones ha sido objeto de numerosos estudios, donde se ha utilizado el modelo SWAT para investigar diferentes estrategias de reducción de la exportación de sedimentos en las cuencas (Briak et al., 2019). Por consiguiente, de entre varios de los modelos con base física, el modelo SWAT ha sido ampliamente adoptado para diferentes aplicaciones hidrológicas en diversos regímenes agroclimáticos (Himanshu et al., 2019).

La simulación de las BMPs mediante el modelo SWAT permite tener una idea de la práctica que resulta más eficaz para reducir la cantidad de sedimentos y mejorar la calidad del agua en la cuenca hidrográfica (Briak et al., 2019; Haas et al., 2017). Además, investigadores de todo el mundo estudian de forma continua la efectividad de las BMPs mediante el uso del modelo SWAT (p. ej., Briack et al., 2019; Haas et al., 2017; Himanshu et al., 2019; Jang et al., 2017; Liu et al., 2019; Mtibaa et al., 2018; Ricci et al., 2020; Uniyal et al., 2020).

2 Pregunta de investigación:

“¿Cuál es el potencial de las Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) para reducir la contaminación por exportaciones de sedimentos, fósforo y nitrógeno, proveniente de fuentes agrícolas no puntuales en la cuenca del río Vergara?”

3 Objetivos:

3.1 Objetivo general:

Evaluar la efectividad de las Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) en la reducción de la contaminación por exportaciones de sedimento, nitrógeno y fósforo en la cuenca del río Vergara.

3.2 Objetivos específicos:

1. Seleccionar mediante revisión bibliográfica 3 BMPs Agrícolas y/o Estructurales para su aplicación en la cuenca del río Vergara.
2. Generar un modelo de calidad del agua utilizando SWAT para la cuenca del río Vergara.
3. Determinar la efectividad en la reducción de exportaciones de nitrógeno total, fósforo total y sedimentos para los escenarios generados con distintas BMPs en la cuenca del río Vergara.

4 Metodología

4.1 Área de estudio: La cuenca del río Vergara

La cuenca del río Vergara (Figura N° 1Figura N° 2) es una subcuenca del río Biobío ubicada en sur de Chile, cuenta con una superficie de 4265 km², lo que cubre aproximadamente el 17% de la superficie total de la cuenca del Biobío (Stehr et al., 2008). El río principal, el río Vergara, se descuelga de sur a norte de la Cordillera de Nahuelbuta, entre las coordenadas 37°30' y 38°14' latitud sur, y 71°36' y 73°03' longitud oeste, correspondiente a las regiones del Biobío y la Araucanía (EULA, 2020; Stehr et al., 2008). Los principales afluentes que componen la cuenca son el río Vergara, Renaico, Mininco, Malleco, Huequén y Rehue.

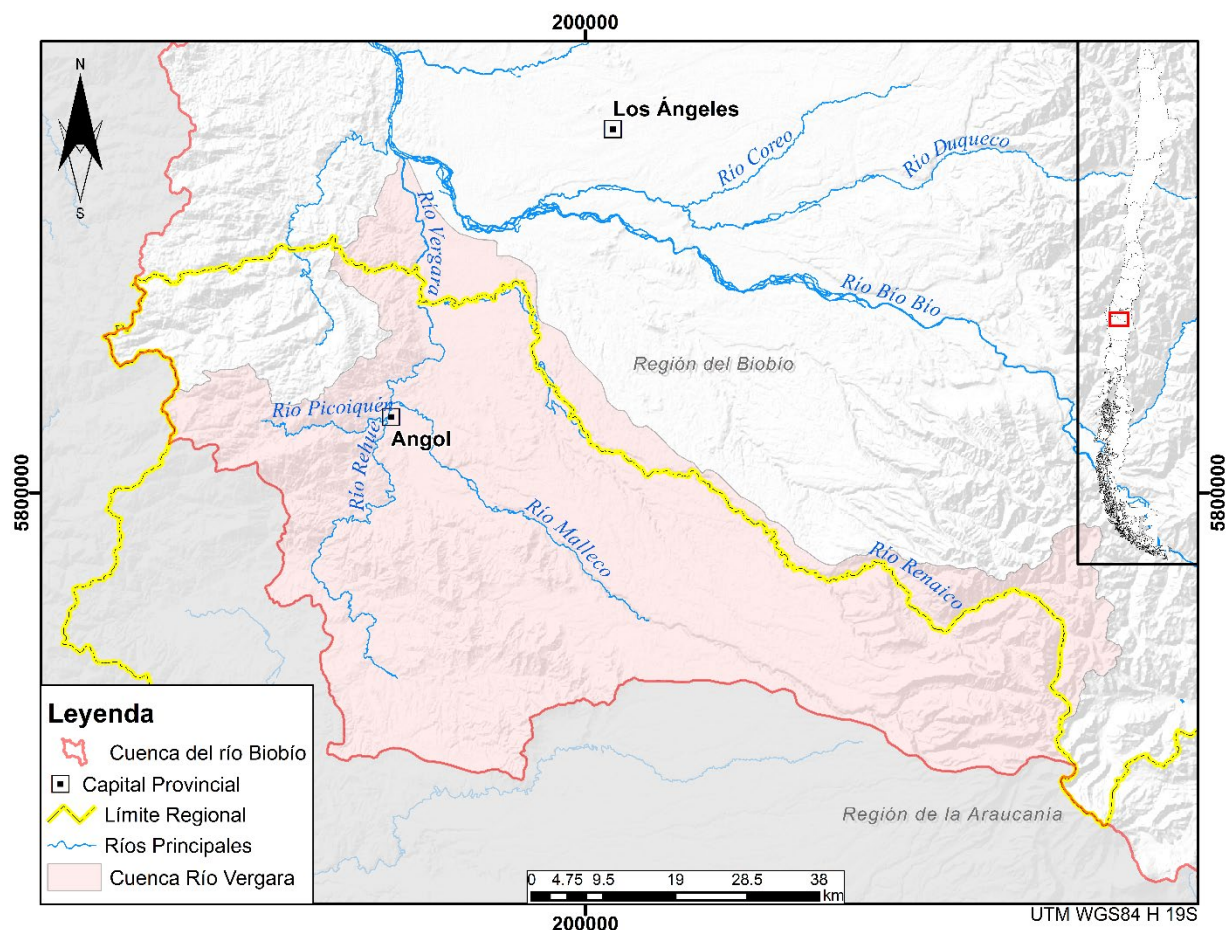


Figura N° 2: Cuenca del río Vergara.
Fuente: Elaboración propia.

En términos administrativos la cuenca está compuesta por dos regiones (Biobío y La Araucanía, y 13 comunas. Las comunas son: Mulchén, Nacimiento, Negrete, Quilaco, Angol, Collipulli, Curacautín, Ercilla, Los Sauces, Lumaco, Renaico, Traiguén, y Victoria. Se estima que la población de la cuenca es superior a 250.000 habitantes (CEPAL, 2015). En la cuenca se pueden reconocer dos grandes zonas: una de montaña aguas

arriba de la ciudad de Angol, caracterizada por fuertes pendientes, fondos de bolones y una abundante vegetación nativa ribereña, y otra zona de llanura, situada aguas abajo de Angol, con una pendiente suave, fondos fundamentalmente arenosos y escasa vegetación nativa (EULA, 2020).

El uso económico del territorio está fuertemente dominado por las plantaciones forestales, cultivo de cereales, y especies forrajeras (CEPAL, 2015). Con respecto al sector industrial, la única industria de importancia que posee una gran demanda de agua se ubica en Mininco y corresponde a la celulosa “CMPC planta Pacífico”. Las industrias forestales forestal acaparan aproximadamente el 98% de la demanda industrial de agua, dejando el 2% restante para otras ramas industriales (MMA, 2004).

4.1.1 Clima

La cuenca del río Vergara, ubicada en la región del río Biobío, presenta un clima clasificado según Köppen como Csb: Templado cálido con lluvias invernales (Beck et al., 2018). Este tipo de clima se caracteriza por tener temperaturas moderadas y lluvias que se concentran principalmente en el invierno. Las precipitaciones en la cuenca son moderadas a altas, y la estacionalidad está influenciada por la temperatura (Véase Tabla N° 2). Los registros meteorológicos indican que la temperatura anual promedio en la cuenca es de 11.2°C. En tanto la precipitación media alcanza los 185.4mm.

Tabla N° 2: Temperatura y precipitación promedio en cuenca del río Vergara

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Enero	38.3	16
Febrero	38.2	15.4
Marzo	61.5	13.7
Abril	116.2	11.3
Mayo	317.1	9
Junio	364	7.2
Julio	313.7	6.6
Agosto	227.4	7
Septiembre	138.5	8.5
Octubre	80.3	10.8
Noviembre	62.6	13.4
Diciembre	467	15.3
Promedio	185.4	11.2

Fuente: CEPAL, 2015.

4.1.2 Hidrología

La cuenca del río Vergara se caracteriza por poseer un régimen fluvial y una marcada estacionalidad en términos de los caudales, registrando menores caudales en el periodo de estiaje, de enero a marzo, debido a las bajas precipitaciones y el uso de agua para regadío, para luego aumentar drásticamente a partir de mayo, alcanzando su valor máximo durante el mes de julio (CEPAL, 2015; DGA, 2004).

La Tabla N° 3 muestra el caudal medio anual registrado por las estaciones fluviométricas ubicadas en la cuenca durante dos periodos: 2003 a 2010 (P1) y 2011 a 2018 (P2). Es posible observar una tendencia a la disminución del caudal en todas las estaciones hacia el segundo período, siendo los afluentes de los ríos Mininco y Rehue los más afectados, con una disminución superior al 20% en su caudal medio anual. Cabe mencionar que la cuenca no cuenta con una estación Fluviométrica a su salida, previo a la confluencia con el Río Biobío en Nacimiento (véase Figura N°2), por lo cual no existe una medición del caudal total de la cuenca una vez convergen todos los afluentes.

Tabla N° 3: Caudal medio anual para estaciones fluviométricas del río Vergara

Estación Fluviométrica	N° de registros mensuales*		Caudal medio anual "Q" (m ³ /s)*		ΔQ
	P1	P2	P1	P2	
Río Renaico en Longitudinal	78	83	37.44	33.40	-10.8
Río Malleco en Collipulli	85	95	22.35	21.14	-5.4%
Río Rehue en Quebrada Culén	91	95	5.85	4.63	-20.8%
Río Mininco en Longitudinal	96	96	14.53	11.33	-22.0%
Río Vergara en Tijeral	92	92	46.89	39.38	-16.0%

*(P1) Período 2003 a 2010; (P2) Período 2011 a 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a registros DGA

Es importante resaltar que Río Vergara en Tijeral se encuentra aguas abajo de Río Malleco en Collipulli y Río Rehue en Quebrada Culén (ver Figura N° 3), por lo cual recibe los aportes de ambos afluentes. Sin embargo, el caudal medido es mayor a la suma de los caudales de ambos tramos, esto se puede explicar al considerar los aportes de los ríos Picoquén, Huequén y Requén, junto a esteros como el Cancura, Pichilenco, y Lolenco, que no alcanzan a ser registrados al encontrarse aguas abajo de los mencionados tramos de monitoreo.

Cabe destacar que para obtener la información hidrométrica para los caudales de la cuenca del río Vergara, se emplearon los registros de 5 estaciones fluviométricas, proporcionados por el sistema de red hidrométrica de la Dirección General de Aguas (DGA). La información relativa a estas estaciones se detalla en la Tabla N° 4, y su ubicación espacial dentro de la cuenca se ilustra en la Figura N°3.

Tabla N° 4: Estaciones red hidrométrica DGA para la cuenca del Río Vergara

Código BNA	Nombre estación	Tipo medición	UTM Este	UTM Norte
08342001-4	Río Renaico En Longitudinal	Fluviométrica	201.804	5.805.924
08343001-K	Río Mininco En Longitudinal	Fluviométrica	201.377	5.803.968
08351001-3	Río Malleco En Collipulli	Fluviométrica	198.144	5.792.537
08356001-0	Río Rehue En Quebrada Culén	Fluviométrica	165.043	5.793.284
08358001-1	Río Vergara En Tijeral	Fluviométrica y Sedimentométrica	181.063	5.817.789

Fuente: Elaborado a partir de Red Hidrométrica-Chile DGA.

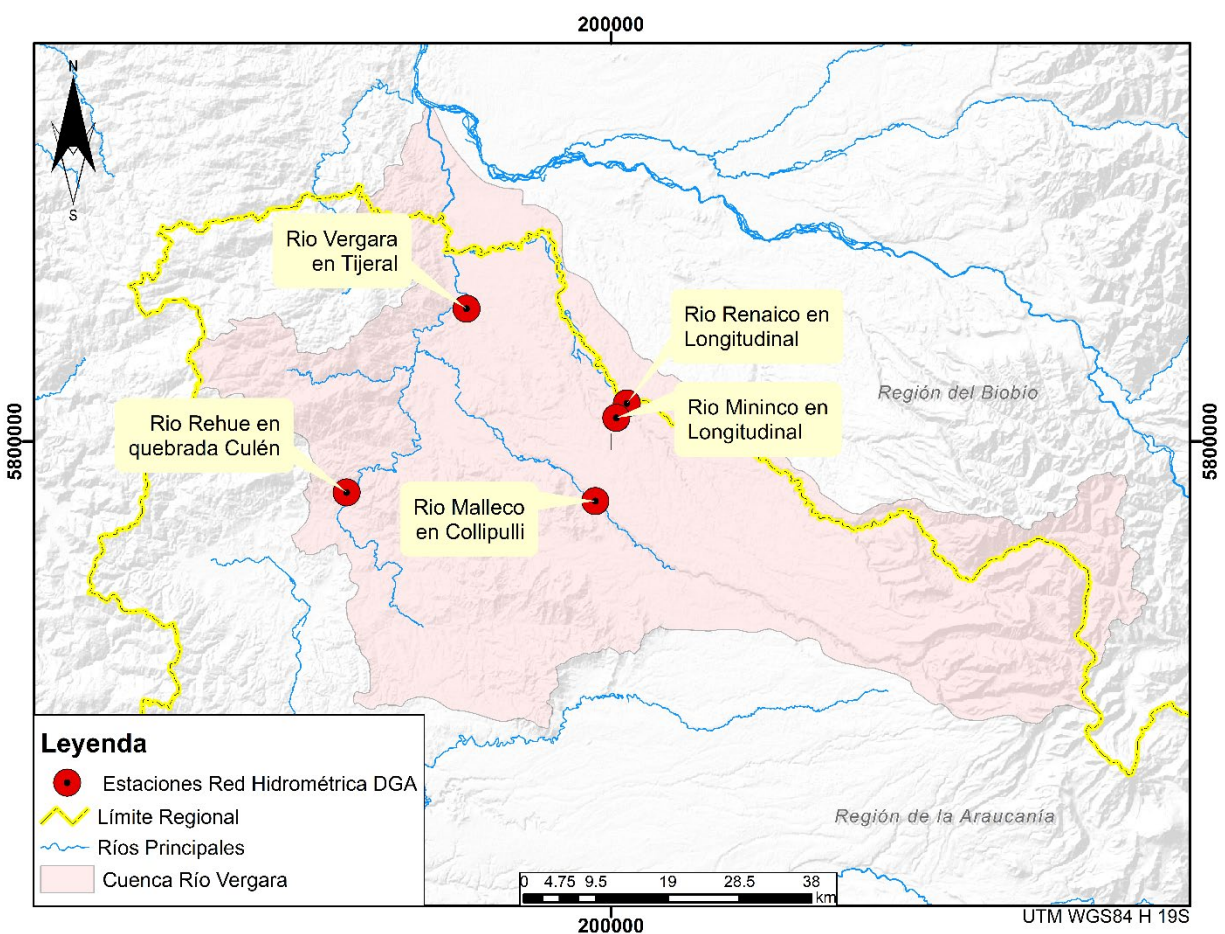


Figura N° 3: Red hidrométrica cuenca del río Vergara

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Suelos

Los Estudios Agrológicos de la Región del Biobío y de La Araucanía, realizados por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN 1999 y 2002 respectivamente), clasifican los suelos de la zona de estudio en 21 series diferentes. Las series, junto al resumen de alguna de sus características principales fueron resumidas en el Anexo J. Se destaca la amplia variedad de características de drenaje y permeabilidad de las series presentes en la cuenca, lo cual guarda directa relación con las aptitudes de los suelos; agrícola (cereales), frutícola y forestal. La información de las series permite abarcar la totalidad de los suelos presentes en la cuenca, cuya distribución se puede observar en la Figura N°4.

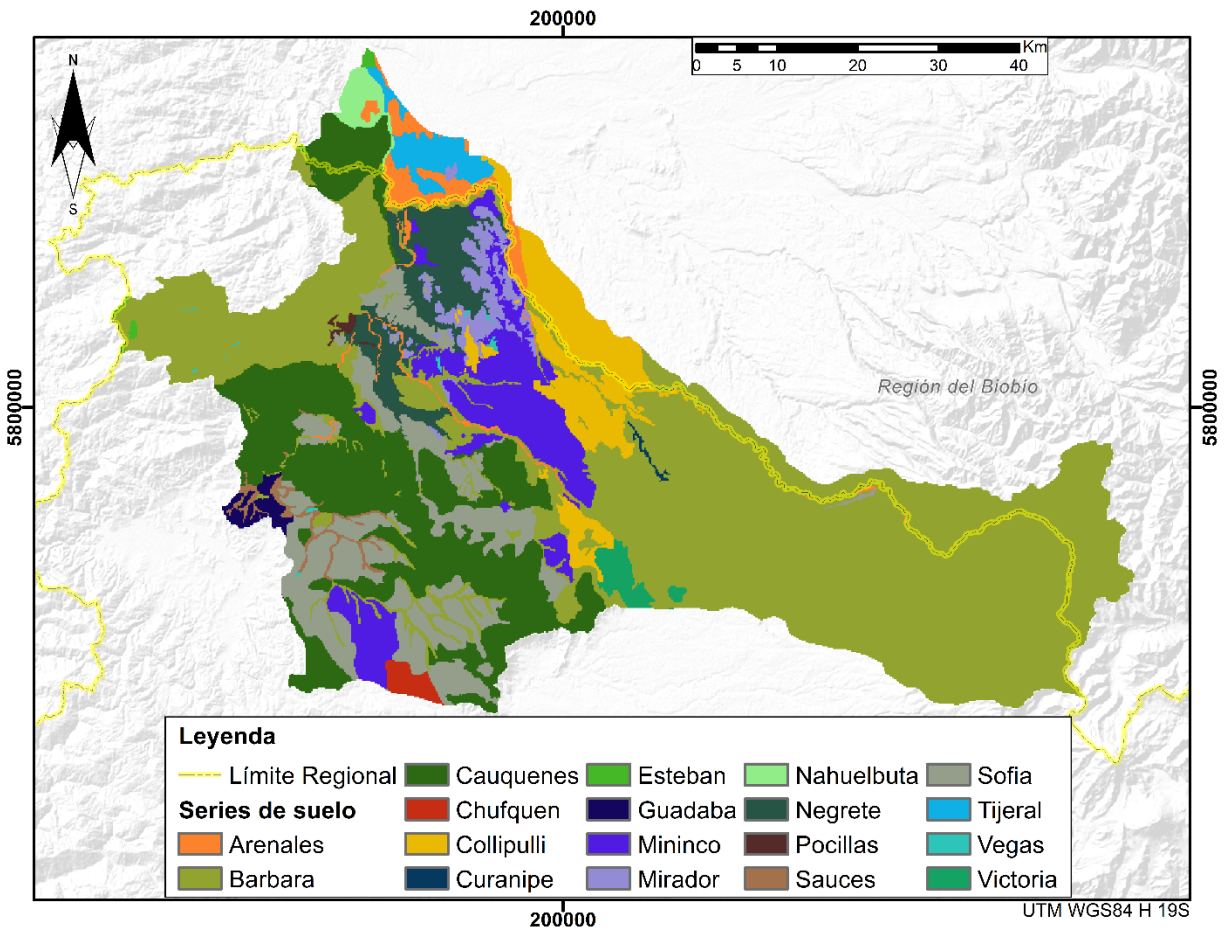


Figura N° 4: Series de suelo cuenca del río Vergara
Fuente: elaborado en base a CIREN 1999 y CIREN 2002.

4.1.4 Uso de suelo

Con respecto a la capacidad de uso del suelo, la cuenca del río Vergara se caracteriza por poseer un 45% de su superficie con limitaciones muy severas, no aptos para cultivos

agrícolas, donde su uso es fundamentalmente forestal debido a que se presentan pendientes muy pronunciadas (12-30%), erosión severa pesada o susceptible de erosión muy severa, suelos muy delgados y pedregosidad muy excesiva (CEPAL, 2015). El 36% de la superficie se encuentra distribuida homogéneamente entre suelos que se caracterizan por ser utilizados para cultivos tanto intensivos como cultivos ocasionales, debido a sus bajas limitaciones en términos de pendiente, susceptibilidad de erosión y pedregosidades inferiores a un 30%. Los principales usos del suelo dentro de la cuenca corresponden a plantaciones forestales, bosque nativo y agricultura, mostrando una dominancia de un sistema de plantaciones forestales seguido de bosques nativos, representando alrededor de un 40 y 23% de la superficie de la cuenca respectivamente (Stehr et al., 2008), lo cual no ha variado considerablemente al año 2015, donde CEPAL indica que la suma de ambos usos alcanza el 64%. En terrenos de menor pendiente, se observa un uso de suelo agrícola que alcanza un 24% del territorio (CEPAL, 2015). En la Figura N°5 se muestran los principales usos de suelo de la cuenca del río Vergara.

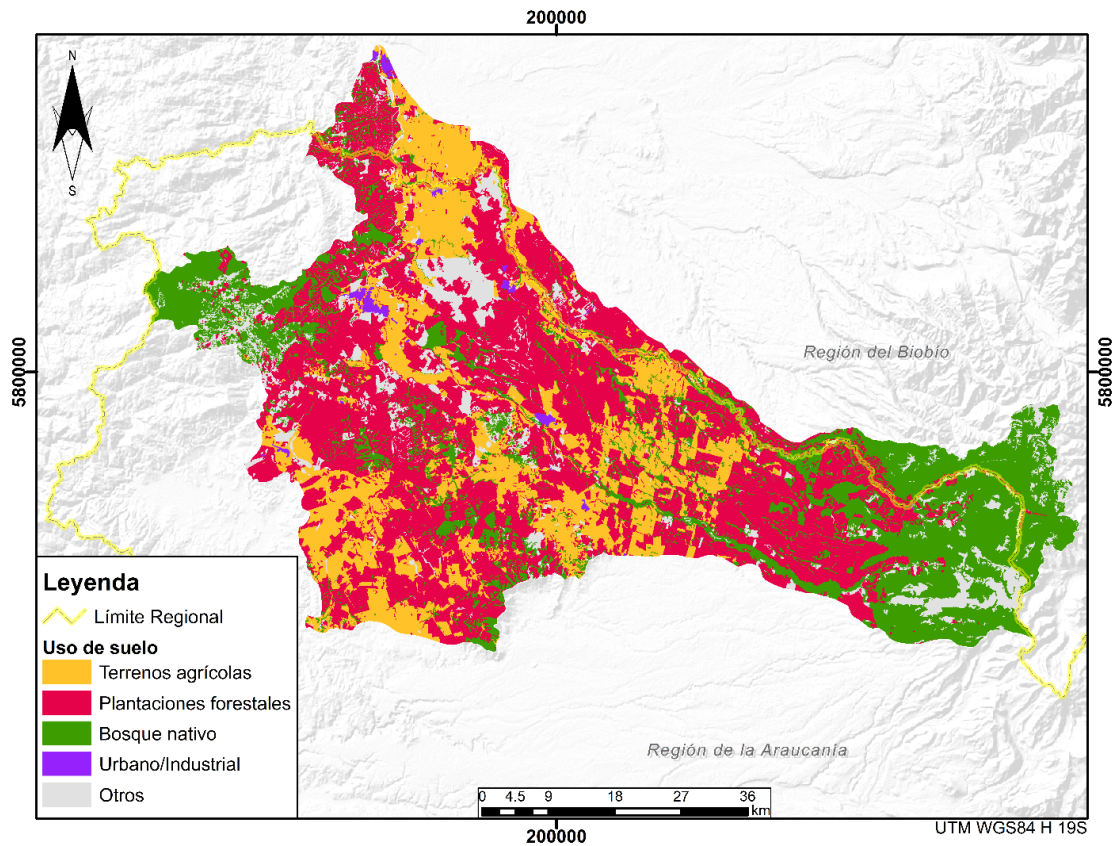


Figura N° 5: Usos de suelo cuenca del Río Vergara
Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Uso de agua

En la Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5 se proporcionan los datos de los caudales concedidos, expresados en m³/s, para cada subcuenca en función de los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DAA) superficiales. Cabe destacar que, para efectos de este instrumento, no se hace referencia a cuenca del Vergara como una entidad única, sino que se encuentra subdividida en forma de dos subcuencas: “Río Renaico” y “Ríos Malleco y Vergara”.

En la cuenca del río Vergara, se han registrado un total de 415 derechos de aprovechamiento de agua de tipo consuntivo, según los registros de la DGA. La Figura N°6 muestra la ubicación espacial de estos derechos a lo largo de la cuenca, donde se puede observar una distribución relativamente uniforme.

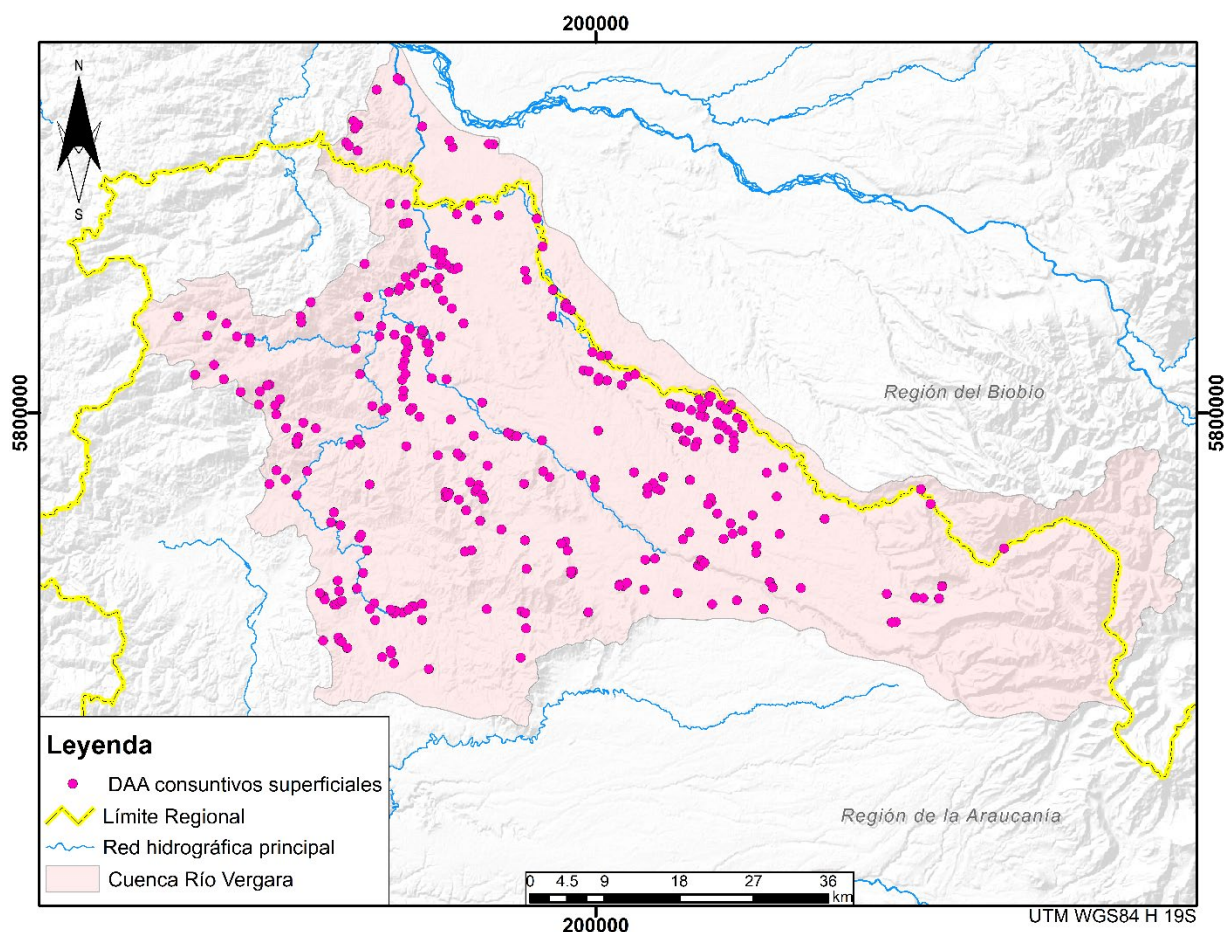


Figura N° 6: DAA superficiales del tipo consuntivo en la cuenca del Río Vergara.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5: Demanda de agua según naturaleza para cada subcuenca

Subcuenca	Consuntivo (m ³ /s)	No Consuntivo (m ³ /s)	Total (m ³ /s)
Río Renaico	13.1	427.8	440.9
Ríos Malleco y Vergara	23.0	327.3	350.3
Total	36.1	755.1	791.2

Fuente: Elaborado en base a base de datos DGA (2020)

En relación a la distribución mensual de los caudales inscritos, la Tabla N° 6 presenta los datos para los derechos de agua del tipo consuntivos. Se observa que los caudales consuntivos presentan una magnitud menor durante los meses de febrero y marzo, mientras que enero y abril actúan como meses de transición hacia el período mayo-diciembre, donde no hay una variación significativa en los caudales inscritos.

Tabla N° 6: Distribución mensual de caudales superficiales (m³/s) otorgados por derechos de agua consuntivos

Subcuenca	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Río Renaico	9.3	7.7	7.5	8.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.4
Ríos Malleco y Vergara	14.6	10.5	10.1	14.3	16.7	16.4	16.5	16.4	16.5	16.2	15.9	15.8
Total general	23.9	18.2	17.6	22.8	28.2	27.9	28.0	27.9	28.0	27.7	27.4	27.2

Fuente: Elaborado en base a base de datos DGA (2020)

4.1.6 Calidad del agua

4.1.6.1 Antecedentes normativos

La calidad del agua se define en términos de sus parámetros físicos, químicos y biológicos, pero orientado a un fin de uso y comparados con un estándar de clase objetivo (EULA, 2020). En Chile, este concepto se expresa metodológicamente en una Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) para aguas Continentales y Marinas (EULA, 2020).

En particular, las NSCA para la protección de las aguas continentales superficiales del río Biobío, han sido establecidas con el objetivo de "conservar o preservar los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos", a través de la mantención o mejoramiento de la calidad de las aguas de la cuenca (D.S. N.º 9/2015 art.1); buscando controlar variables importantes para aspectos de eutrofización (nitrógeno y fósforo), así como otros parámetros que pueden afectar los cursos de agua, ya sea por su nivel de toxicidad o por modificar de manera importante las condiciones del ecosistema acuático.

La NSCA del D.S. N.º 9/2015 establece diferentes niveles de cumplimiento para los 19 parámetros fisicoquímicos a los que se realiza seguimiento para monitorear la calidad de agua en la cuenca, diferenciando los valores de estos límites normados para cada tramo de la cuenca. Para el caso de la cuenca del Vergara, su monitoreo se realiza mediante mediciones estacionales, ubicadas en las áreas de vigilancia VE-10 y RE-10 (ver Tabla N° 7), cuyos límites de cumplimiento para los parámetros criterio al aplicar las BMPs, es decir los derivados de nutrientes y sedimentos, se encuentran en la Tabla N° 8.

Tabla N° 7: Áreas de vigilancia y estaciones Red de Control NSCA para la protección de las aguas continentales superficiales del Biobío.

Área de vigilancia	Descripción	Límite área de vigilancia	UTM Este	UTM Norte
RE-10	RE-10: Río Renaico en Renaico	Desde naciente río Renaico hasta aguas arriba confluencia río Vergara	5.828.030	712.362
VE-10	VE-10: Río Vergara en Nacimiento	Desde naciente río Rehue hasta aguas arriba confluencia río Biobío	5.846.831	706.34

Fuente: Elaborado a partir de SMA, 2020.

Tabla N° 8: Parámetros fisicoquímicos NSCA para la protección de las aguas continentales superficiales del Biobío.

Variable	Unidad	VE-10	RE-10
Amonio (N-NH4)	mg N/l	0,03	0,002
Nitrato (N-NO3)	mg N/l	0,2	0,03
Nitrito (N-NO2)	mg N/l	0,01	0,002
Nitrógeno total	mg/l	0,4	0,1
Ortofosfato (PO4)	mg/l	0,05	0,01
Fósforo Total	mg/l	0,06	0,02
Sólidos Suspendidos totales	mg/l	6	5

Fuente: Adaptado de MMA, 2015.

4.1.6.2 Fuentes puntuales

Dentro del contexto de la calidad del agua en la cuenca del río Vergara, es fundamental considerar las fuentes puntuales, ya que constituyen elementos de gran interés. Las fuentes emisoras que descargan contaminantes a las aguas de la cuenca se encuentran constituidas en su mayoría por plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) de las comunas que alberga la cuenca, además de dos ductos asociados a las industrias Ex INFORSA (Industrias Forestales S.A.) y CMPC. Las fuentes puntuales presentes en la cuenca se encuentran disponibles en la Figura N°7.

Es esencial incorporar los aportes de las fuentes puntuales en relación con los contaminantes presentes en sus efluentes para comprender plenamente su impacto en la calidad del agua. Dado que estas fuentes pueden generar flujos de contaminantes específicos, cuya forma de emisión, magnitud y comportamiento en el tiempo difieren de la naturaleza de las fuentes difusas, es necesario considerar estrategias de control y mitigación adecuadas, ya que las BMPs no están orientadas al control de contaminantes provenientes de este tipo de fuentes. El control y la mitigación de las descargas puntuales requiere del uso de otros tipos de tratamiento que no son abordados dentro de esta investigación.

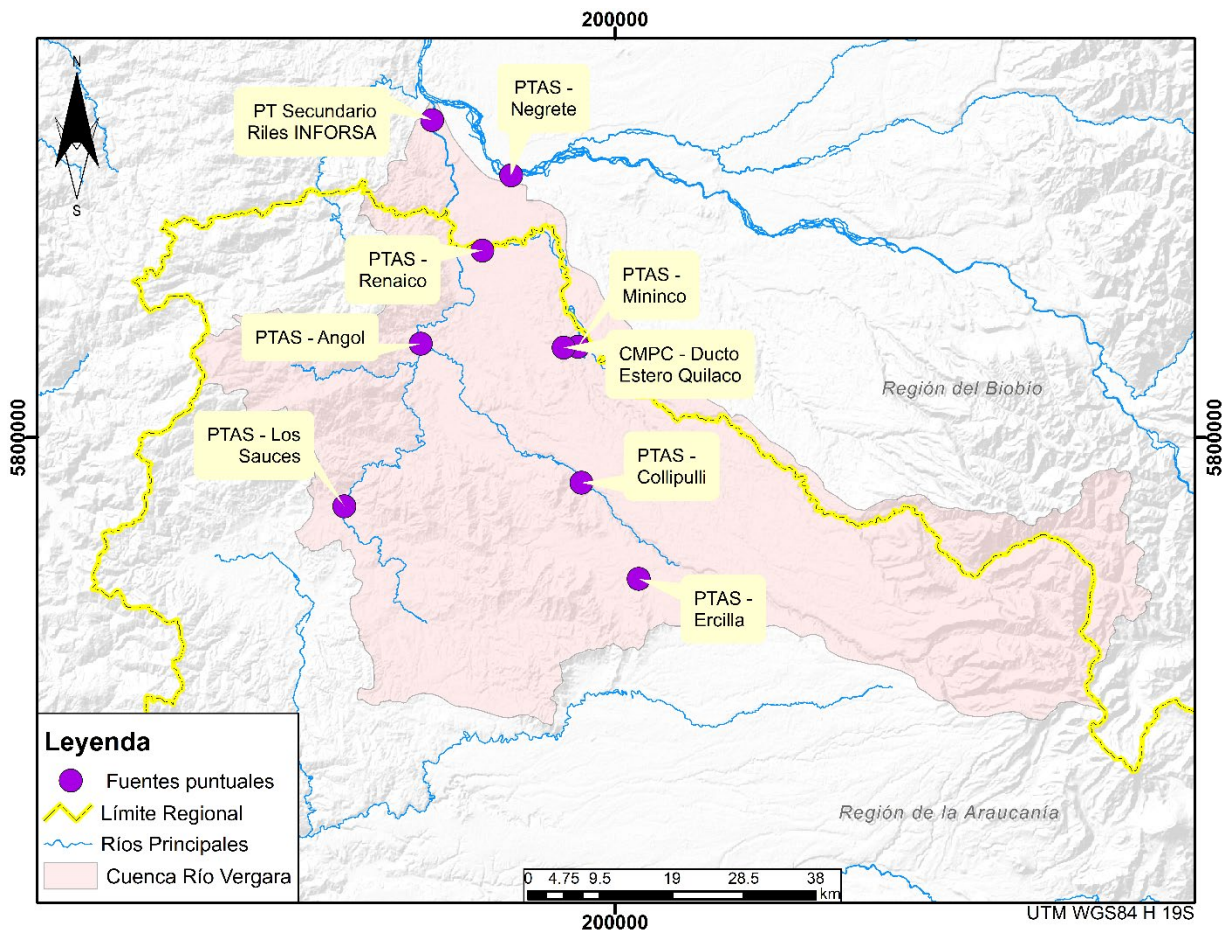


Figura N° 7: Fuentes puntuales cuenca del río Vergara
Fuente: Elaboración propia.

4.1.6.3 Estado de la calidad de agua de la cuenca

La forma de identificar la presencia de contaminación en estas áreas de vigilancia es a través del monitoreo en términos de medición al estado del componente ambiental calidad de agua.

El seguimiento la verificación de los niveles registrados en los parámetros anteriormente mencionados se realiza de manera bienal, y es competencia de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). La última verificación de cumplimiento disponible para esta norma, que a su vez logra abarcar parte del periodo de estudio, es la versión 2020, ya que incluye en su reporte las mediciones realizadas para los años 2018 y 2019. Siguiendo con la idea de los parámetros mencionados en la Tabla N° 8, el seguimiento realizado para estas variables se encuentra tabulado en las Tablas N°9 y N°10.

Tabla N° 9: Verificación NSCA de la cuenca del Río Biobío en área de vigilancia VE-10

Parámetro	Unidad	Verano 2018	Otoño 2018	Invierno 2018	Primavera 2018	Verano 2019	Otoño 2019	Invierno 2019	Primavera 2019	Percentil 15/85	Promedio bienal	Valor Norma
Amonio	mg/L	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,04	INV	< 0,02	0,03	-	0,03
Nitrato	mg N/L	0,40	0,39	0,22	0,40	0,34	0,110	INV	0,08	0,40	0,28	0,2
Nitrito	mg N/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,001	INV	0,003	< 0,002	-	0,01
Nitrógeno Total	mg N/L	0,80	0,50	0,40	0,50	0,50	0,200	INV	0,16	0,50	0,44	0,4
Ortofosfato	mg/L	0,017	0,018	0,012	0,012	0,018	0,015	0,018	0,006	0,018	0,015	0,05
Fósforo Total	mg/L	0,041	0,032	0,019	0,018	0,054	0,027	0,026	0,020	0,041	0,030	0,06
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	59,0	5,0	< 2,0	10,0	13,0	5,0	7,0	1,9	13,0	12,9	6

■ Incumplimiento normativo
 Cumplimiento normativo
 Latencia
 INV Invalidado
 (In)cumplimiento referencial

Fuente: Adaptado de SMA, 2020

Tabla N° 10: Verificación NSCA de la cuenca del Río Biobío en área de vigilancia RE-10

Parámetro	Unidad	Verano 2018	Otoño 2018	Invierno 2018	Primavera 2018	Verano 2019	Otoño 2019	Invierno 2019	Primavera 2019	Percentil 15/85	Promedio bienal	Valor Norma
Amonio	mg/L	0,04	INV	INV	INV	INV	0,03	0,05	INV	0,04	-	0,02
Nitrato	mg N/L	0,22	0,04	0,21	0,19	0,21	0,06	0,25	0,05	0,22	0,15	0,03
Nitrito	mg N/L	INV	INV	INV	INV	INV	< 0,001	< 0,001	INV	S/I	-	0,002
Nitrógeno Total	mg N/L	0,60	0,20	0,40	0,30	0,30	0,10	0,80	0,11	0,60	0,35	0,1
Ortofosfato	mg/L	0,011	0,008	0,004	0,005	0,010	0,011	0,010	0,007	0,011	0,008	0,01
Fósforo Total	mg/L	0,020	0,015	0,010	0,007	0,029	0,021	0,011	0,007	0,021	0,015	0,02
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	49,0	3,0	2,0	3,0	6,0	INV	INV	1,0	6,0	10,7	5

■ Incumplimiento normativo
 Cumplimiento normativo
 Latencia
 INV Invalidado
 (In)cumplimiento referencial

Fuente: Adaptado de SMA, 2020

Para los parámetros cuyo Percentil 85 y Promedio bienal superen el valor de la norma, configuran en un incumplimiento normativo. En el caso de que el valor sea superado, pero se cuente con algún valor invalidado en el registro, se constituye un incumplimiento referencial (MMA, 2015). Por consiguiente, para el área de vigilancia VE-10 los niveles de Nitrato, Nitrógeno Total y Sólidos Suspendidos Totales se encuentran por sobre los niveles establecidos por la normativa, constituyendo los dos primeros un incumplimiento referencial, y un incumplimiento normativo en el caso del último. Para el área de vigilancia RE-10 los niveles de Nitrato, Nitrógeno Total, Ortofosfato, Fósforo Total y Sólidos Suspendidos Totales se encuentran por sobre los niveles establecidos por la normativa, constituyendo los cuatro primeros un incumplimiento normativo, y un incumplimiento referencial en el caso de los sólidos suspendidos totales. Por tal razón, la consideración de todos estos parámetros debe ser prioritaria al momento de investigar soluciones que busquen reducir los niveles de contaminantes en las aguas superficiales de la cuenca.

4.2 Selección de BMPs a modelar

En el desarrollo de esta investigación, se llevó a cabo una rigurosa selección de bibliografía basada en un proceso estructurado en tres etapas; revisión bibliográfica, filtrado y evaluación, y Análisis y selección de BMPs. Este procedimiento se implementó con el propósito de generar una base de datos en español, que además de asegurar un levantamiento sólido y confiable que respalde la selección de BMPs llevada a cabo en la investigación, pueda ser de utilidad para futuras tomas de decisiones y servir de referencia para futuras investigaciones.

4.2.1 Revisión bibliográfica

Se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda en diversas fuentes académicas y científicas relevantes. Para ello, se utilizó la plataforma en línea Web of Science (Clarivate, 2023) Esta plataforma facilita el acceso a información académica y científica de alta calidad y diversidad. La Web of Science proporciona una herramienta eficaz para realizar búsquedas en una amplia gama de bases de datos que incluyen artículos de revistas científicas, libros y otras publicaciones. Algunos ejemplos de bases de datos que maneja son Elsevier's ScienceDirect, SciELO, MEDLINE, BIOSIS, entre otros.

Web of Science ofrece una la función de refinar y especificar las búsquedas para encontrar resultados relevantes mediante campos. Estos campos de búsqueda incluyen tema, título, autores, identificadores de autores, autoría conjunta, editor, nombre de publicación, Digital Object Identifier (DOI), año de publicación y dirección.

Con el objetivo de encontrar artículos especializados en el campo de la modelación de Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) utilizando el software Soil and Water Assessment Tool (SWAT), se aplicaron criterios de búsqueda específicos. Estos criterios incluyeron palabras clave relacionadas con las BMPs, la modelación con SWAT y en posterior filtro por publicación de los artículos en fechas de interés. Los criterios utilizados se detallan en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11: Criterios empleados en la búsqueda bibliográfica

Palabras clave	Años de publicación	Categorías de Web of Science
"BMPs" o "Best management practices" y "SWAT"	2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022	ENVIRONMENTAL SCIENCES, WATER RESOURCES, ENGINEERING ENVIRONMENTAL, ECOLOGY, GEOSCIENCES MULTIDISCIPLINARY, AGRONOMY, SOIL SCIENCE

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se garantizó que; 1) se derive a artículos relativos a BMPs dentro de las áreas del conocimiento (categorías) que son de interés para este trabajo, excluyendo por ejemplo artículos publicados en el campo de la salud, donde el acrónimo BMP tiene otra acepción; 2) los parámetros y procedimientos utilizados en los estudios tuviera posibilidad de réplica y análisis, al encontrarse liberada en ese rango de fechas la última versión

disponible del software utilizado “SWAT2012”, que coincide con la versión utilizada en el presente trabajo.

La búsqueda arrojó un total de 156 resultados, los cuales fueron procesados según lo que se indica en la etapa de filtrado.

4.2.2 Filtrado y evaluación

Se procedió a filtrar y evaluar detalladamente las publicaciones obtenidas. Para ello, en primer lugar, se identificaron aquellos elementos que resultaban pertinentes para poder llevar los resultados de las distintas investigaciones a términos comparativos. No es posible comprar el desempeño de un conjunto o combinación de BMPs, con un conjunto de BMPs diferente en otra zona de estudio, simplemente por razones como la alta variabilidad de la efectividad según el área de estudio (suelos, manejo, topografía, clima) y la baja posibilidad de que esa misma combinación sea replicada de forma exacta por otro investigador en un estudio diferente. Se determinó entonces que lo más factible para realizar una comparativa sería registrar los resultados de aquellos estudios donde se informara cuál era la efectividad de cada BMP de manera individual. La transparentación de los resultados individuales obtenidos fue el principal criterio para filtrar los estudios que ingresarían a la comparativa bibliográfica y los que se descartarían. De esta manera, se incluyeron dentro de los campos de las fichas bibliográficas la BMP utilizada, el área la cuenca, y su efectividad en la reducción de sedimentos (SS), nitrógeno total (NT) y/o fósforo total (PT). Cabe destacar que algunos estudios abordaron las tres variables mencionadas, mientras que otros solo se hizo enfoque en el control de sedimentos, o bien en alguno(s) de los nutrientes. Esta inclusión de campos adicionales en las fichas se hizo solo en base a la información proporcionada por los estudios, no se incluyeron campos como tipo de suelo o usos de suelo, ya que no eran descritos cuantitativamente por una proporción considerable de publicaciones.

Cabe destacar que se utilizaron los parámetros de SS, NT y PT, debido a que al realizar la revisión bibliográfica se identificó que estos eran los parámetros reportados con mayor frecuencia en los estudios y que a la vez son de interés en relación a los parámetros a los que se le hace seguimiento en el contexto de la NSCA/2015 y la disponibilidad de mediciones de estos. A pesar de que estos parámetros fueron los más frecuentemente reportados en los estudios revisados, también se consideraron aquellos que abordaban otras variables importantes como nitrógeno orgánico, nitritos, fosfato y sólidos suspendidos que, aunque se encontraban en menor proporción, aportan información complementaria para ampliar la comprensión de los efectos de las BMPs en la calidad del agua.

Para cerrar esta etapa, se llevó a cabo la sistematización de la información recopilada, organizándola dentro de una planilla Excel en formato de fichas bibliográficas, para permitir un acceso rápido y ordenado a las referencias relevantes y los resultados individualizados para cada BMP en los diferentes estudios. Estas fichas incorporaron los campos de ID, nombre del artículo, autores, nombre de la revista, país y año de publicación, BMPs implementadas, área de la cuenca, efectividad de reducción (para SS,

NT y PT) y un campo de notas para mencionar alguna consideración relevante en casos de estudio particulares.

4.2.3 Análisis y selección de las Mejores Prácticas de Manejo a implementar

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos en la etapa anterior y se llevó a cabo una selección de las Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) a implementar. Para ello, se consideraron los siguientes criterios:

- Porcentaje de efectividad comparativa en la reducción de sedimentos (SS), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT): Se priorizó aquellas BMPs que demostraron un alto grado de eficacia en comparación con otras opciones disponibles. Esta evaluación se realizó tomando en cuenta los resultados cuantitativos obtenidos en términos de reducción de contaminantes específicos.
- Respaldo sustancial de la efectividad de las BMPs: Se valoró la frecuencia y el número de veces que una BMP ha sido utilizada en diferentes casos de estudio. Se priorizaron aquellas prácticas que han sido ampliamente implementadas y han demostrado consistentemente su capacidad para reducir los niveles de contaminantes en diversas situaciones.

La aplicación de estos criterios garantiza la selección de BMPs respaldadas por evidencia científica, permitiendo enfocar el estudio en aquellas prácticas que han demostrado un mayor potencial para mejorar la calidad del agua y reducir la carga contaminante en las cuencas analizadas.

4.3 Modelo SWAT

Para el desarrollo del modelo de la cuenca del río Vergara, se utilizó el software SWAT. SWAT es la sigla para la Herramienta para la Evaluación del Suelo y Agua, desarrollado por Dr. Jeff Arnold para el USDA en el Servicio Agrícola de Investigación de los Estados Unidos (Neitsch et al., 2005). Es un modelo conceptual, de base física, semi distribuido y continuo en el tiempo en intervalos diarios, mensuales o anuales, desarrollado para evaluar la calidad del agua, la contaminación por fuentes no puntuales y los impactos de las prácticas de gestión en los recursos hídricos a escala de cuenca hidrográfica (Qiu et al., 2019). El modelo SWAT es capaz de estimar los caudales de agua y la producción de sedimentos y contaminantes químicos. Puede ser utilizado para predecir los impactos de las prácticas de gestión de suelos sobre el balance hídrico, los sedimentos y la calidad del agua en cuencas grandes y complejas, con diferentes tipos y usos de suelo, y en largos periodos de tiempo (Stehr, 2008).

Los principales componentes de este modelo son la hidrología, el clima, la sedimentación, las propiedades del suelo, la topografía, información sobre el crecimiento de plantas, patógenos y bacterias, los pesticidas, los nutrientes, la gestión del suelo y el

trazado de canales y/o embalses (Liu et al., 2019; Mtibaa et al., 2018; Neitsch et al., 2005).

4.3.1 Simulación del ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico simulado por el modelo se puede separar dos segmentos principales: la fase terrestre y la fase de enrutamiento. La fase terrestre (figura N°8) simula los procesos de escorrentía y erosión, el movimiento del agua en el suelo, la evapotranspiración, el crecimiento y rendimiento de los cultivos, el ciclo de nutrientes y carbono en el suelo, la degradación de pesticidas y bacterias y, por lo tanto, controla la cantidad de agua y las cargas de sedimentos, nutrientes y pesticidas que ingresan al canal principal en cada subcuenca (Strauch et al., 2013). SWAT tiene en cuenta una amplia variedad de estructuras y prácticas agrícolas, incluyendo labranza, aplicación de fertilizantes y estiércol, drenaje subsuperficial, riego, estanques y humedales (Douglas-Mankin et al., 2010) que pueden afectar el flujo y movimiento de contaminantes hacia los canales. La fase de enrutamiento se puede definir como el movimiento del agua, sedimentos, etc. a través de la red de canales hasta la salida de la cuenca. El enrutamiento del flujo incluye pérdidas de transmisión del agua del canal, sedimentación y arrastre de sedimentos, y degradación de nutrientes, pesticidas y bacterias durante el transporte.

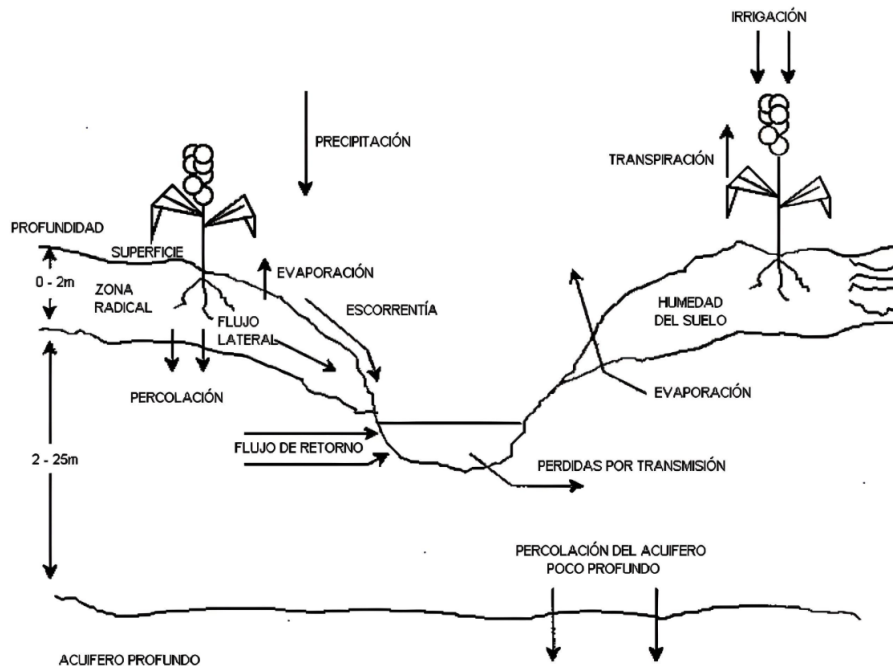


Figura N° 8: Representación de fase terrestre del ciclo hidrológico en SWAT
Fuente: Uribe et al., 2010

4.3.1.1 Fase de terrestre

Durante este proceso, se consideran diferentes factores que afectan la pérdida de agua, como la evapotranspiración, la transmisión a través del lecho del cauce y diversos usos

humanos. Además, el flujo de agua en la cuenca es complementado por la precipitación directa sobre el cauce y por descargas puntuales.

Para cada HRU, el modelo SWAT simula la escorrentía superficial con el método modificado del Número de Curva del Servicio de Conservación del Suelo (SCS-CN), la producción de sedimentos con la Ecuación Modificada de Pérdida Universal de Suelo (MUSLE) y el ciclo de nutrientes mediante un balance de masa (Neitsch et al., 2011). A continuación, se presenta una breve descripción de procesos y componentes claves para la modelación que se requiere ejecutar con SWAT.

La simulación el ciclo hidrológico se hace en base a la ecuación del balance hídrico (Ec. 1) (Neitsch et al. (2005)), que determina el contenido final de agua en el suelo.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i \quad (1)$$

(1) Donde:

SW_t : Contenido final de agua en el suelo el día t (mm H₂O).

SW_0 : Contenido inicial de agua en el suelo en un día i

t : Tiempo (días).

R : Precipitación diaria (mm H₂O).

Q : Escorrentía superficial diaria (mm H₂O).

ET : Evapotranspiración diaria (mm H₂O).

P : Percolación diaria (mm H₂O).

QR : Flujo de retorno diario (mm H₂O).

4.3.1.1.1 Variables hidrológicas

Escorrentía superficial

Es el flujo de agua que se desplaza sobre la superficie del suelo en zonas de pendiente debido a la incapacidad de infiltración del suelo durante eventos de precipitación de baja intensidad o por el exceso de agua durante eventos de precipitaciones intensas. Este flujo transporta sedimentos y materiales erosionados hacia los canales de drenaje.

Evapotranspiración

Es el proceso mediante el cual el agua se evapora desde el suelo y la vegetación, combinando la evaporación y la transpiración de las plantas. El modelo SWAT ofrece tres métodos para estimación de la Evapotranspiración potencial Penman-Monteith (Monteith, 1965), Hargreaves & Sammani (1985) y Priestley –Taylor (1972).

Infiltración

Es el proceso mediante el cual el agua penetra en el suelo, pudiendo seguir diferentes trayectorias, como aumentar la humedad del suelo en la zona de raíces, moverse de manera sub-superficial hacia canales de drenaje, recargar acuíferos poco profundos y profundos. Es esencial destacar que el agua sigue un ciclo continuo, y aunque se encuentre en acuíferos profundos, puede eventualmente volver a formar parte de la precipitación.

Flujo lateral

Es el agua que se mueve subsuperficialmente por debajo de la superficie del suelo y sobre el nivel de los acuíferos, alimentando los cauces. Se calcula simultáneamente con la percolación para el perfil del suelo (0-2 metros) mediante un modelo de almacenamiento cinético basado en la ecuación de conservación de la masa .

Percolación

Es el agua infiltrada que atraviesa la zona radical (0 a 2 metros según SWAT). Puede dirigirse a canales de drenaje (flujo de retorno) o infiltrarse en acuíferos profundos (profundidad mayor a 25 metros). Una vez en el acuífero, no contribuye al escurrimiento.

Flujo de retorno

Es el agua que llega hasta el cauce de los canales naturales desde el agua subterránea. Este flujo es el que mantiene agua en los ríos y quebradas en las épocas de baja precipitación.

4.3.1.1.2 Variables Climáticas

Las variables climáticas que utiliza SWAT son precipitación, temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa. Si la precipitación y la temperatura diaria están disponibles, pueden ser ingresadas directamente al modelo. De lo contrario, el generador de variables climáticas puede simular la temperatura y la precipitación diaria. Un juego de variables climáticas puede ser simulado para la cuenca entera o cada una de las subcuenca y/o HRUs (MMA, 2014).

4.3.1.1.3 Uso de suelo/Crecimiento de plantas

SWAT utiliza cinco bases de datos para almacenar información relacionada con el crecimiento de las plantas “plant.dat”, las características del suelo urbano “urban.dat”, las características de labranza implementada “till.dat”, los componentes de los fertilizantes “fert.dat” y las propiedades de los pesticidas “pest.dat”.

El componente de crecimiento de plantas de SWAT es una versión simplificada del modelo de crecimiento de plantas EPIC. Al igual que en EPIC, el desarrollo fenológico de las plantas se basa en unidades de calor acumuladas diariamente, la biomasa potencial se basa en un método desarrollado por Monteith, se utiliza un índice de cosecha

para calcular el rendimiento de cultivo, y el crecimiento de las plantas puede verse inhibido por estrés debido a la temperatura, el agua, el nitrógeno o el fósforo. El modelo diferencia entre plantas anuales y perennes; las plantas anuales crecen desde la fecha de siembra hasta la fecha de cosecha o hasta que alcanzan una cantidad específica de calor acumulado. Las plantas perennes mantienen sus sistemas de raíces durante todo el año, pero se vuelven inactivas en los meses de invierno. Reanudan el crecimiento cuando la temperatura promedio diaria excede un valor mínimo, llamado "temperatura base" (Uribe et al., 2010). Este modelo de crecimiento de plantas es utilizado para evaluar la extracción de agua y nutrientes de la zona de las raíces, la transpiración y la producción de biomasa.

4.3.1.1.4 Erosión

La producción de sedimentos se estima para cada HRU con la Ecuación Modificada de Pérdida Universal de Suelo (MUSLE). Mientras el USLE utiliza lluvia como un indicador de energía erosiva, MUSLE utiliza la cantidad de pérdidas para simular la producción de erosión y sedimento.

La escorrentía de sedimentos se calcula como la erosión anual promedio en función de la escorrentía, la tasa máxima de escorrentía, el área de HRU, las características del suelo, la cobertura del suelo y la topografía (Neitsch et al., 2005). Hay tres etapas de erosión del sedimento: desprendimiento, transporte y degradación y deposición. El desprendimiento de partículas de sedimento de la tierra se calcula utilizando la ecuación MUSLE (Ec. 2).

$$\text{sed} = 11.8 \cdot \left(Q_{\text{surf}} \cdot q_{\text{peak}} \cdot \text{area}_{\text{hru}} \right)^{0.56} \cdot K_{\text{usle}} \cdot C_{\text{usle}} \cdot P_{\text{usle}} \cdot LS_{\text{usle}} \cdot \text{CFRG} \quad (2)$$

Donde;

sed: producción de sedimentos en un día dado (ton)

Q_{surf} : volumen de escorrentía superficial (mm/ ha)

q_{peak} : tasa máxima de escorrentía medida (m³/s)

area_{hru} : área del HRU (ha)

K_{usle} : factor de erodabilidad del suelo USLE

C_{usle} : factor de cobertura y gestión del suelo USLE

P_{usle} : factor de prácticas de conservación USLE

LS_{usle} : factor topográfico USLE

CFRG: factor de fragmento macro

La sustitución tiene como resultado varios beneficios: la certeza de predicción del modelo se incrementa, la necesidad para una proporción de entrega se elimina, y una sola tormenta de producción de sedimento pueden ser calculadas (Uribe et al., 2010). El modelo en la parte de hidrología suministra estimaciones de volumen de escorrentía y una tasa máxima de escorrentía que, con el área de la subcuenca, se utiliza para calcular la energía variable erosiva de escorrentía. El factor P, de manejo de cultivos se calcula

nuevamente cada día que la escorrentía ocurre, siendo una función de la biomasa en la superficie, del residuo del suelo en la superficie, y el factor C mínimo para plantas.

4.3.1.1.5 Nutrientes

SWAT rastrea el movimiento y la transformación de las diversas formas de nitrógeno y fósforo en la cuenca. En el suelo la transformación de nitrógeno de una u otra forma es regida por el ciclo del nitrógeno (Figura N°9). La transformación de fosforo en el suelo es controlado por el ciclo del fósforo (Figura N°10). Los nutrientes pueden ser introducidos a los canales principales y transportados río abajo por escorrentía y flujo superficial o subterráneo lateral.

Nitrógeno

El uso de nitrógeno por las plantas se estima utilizando el enfoque de oferta y demanda descrito en la sección de crecimiento de plantas (Neitsch et al., 2005). Adicionalmente al uso de las plantas, el nitrato y el N orgánico pueden ser removidos de la tierra a través del flujo masivo del agua. Las cantidades de $\text{NO}_3\text{-N}$ contenidas en las escorrentías, flujo lateral y filtración son estimados como productos del volumen de agua y la concentración de nitrato en la capa. El transporte del N orgánico con sedimento es calculado, con una función de la carga desarrollada por McElroy et Al. (1976) y modificado por William y Hann (1978) para la aplicación a acontecimientos específicos de escorrentías.

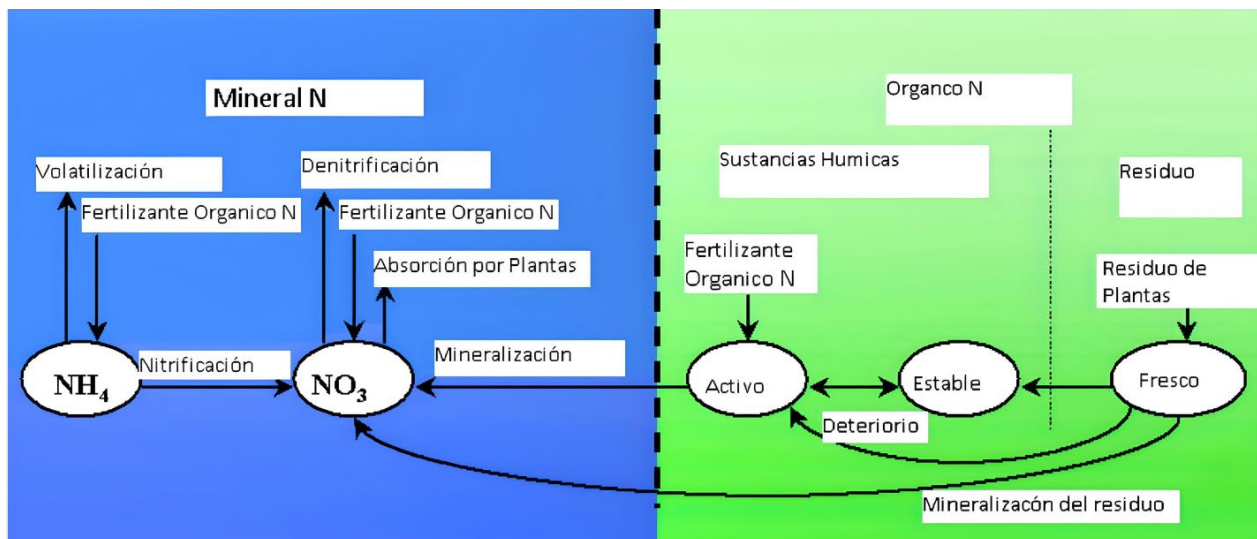


Figura N° 9: Ciclo del Nitrógeno en SWAT.
Fuente: Uribe et al., 2010

Fósforo

El uso del fósforo para las plantas se estima utilizando el enfoque de oferta y demanda descrito en la sección de crecimiento de plantas (Neitsch et al., 2005). Adicionalmente al uso por las plantas el fósforo soluble y P orgánico pueden ser removidos de la tierra a través del flujo masivo de agua. La cantidad de P soluble removido en las escorrentías

se predice utilizando la concentración de solución P en los primeros 10 mm de suelo, el volumen de escorrentías más un factor de división (Uribe et al., 2010).

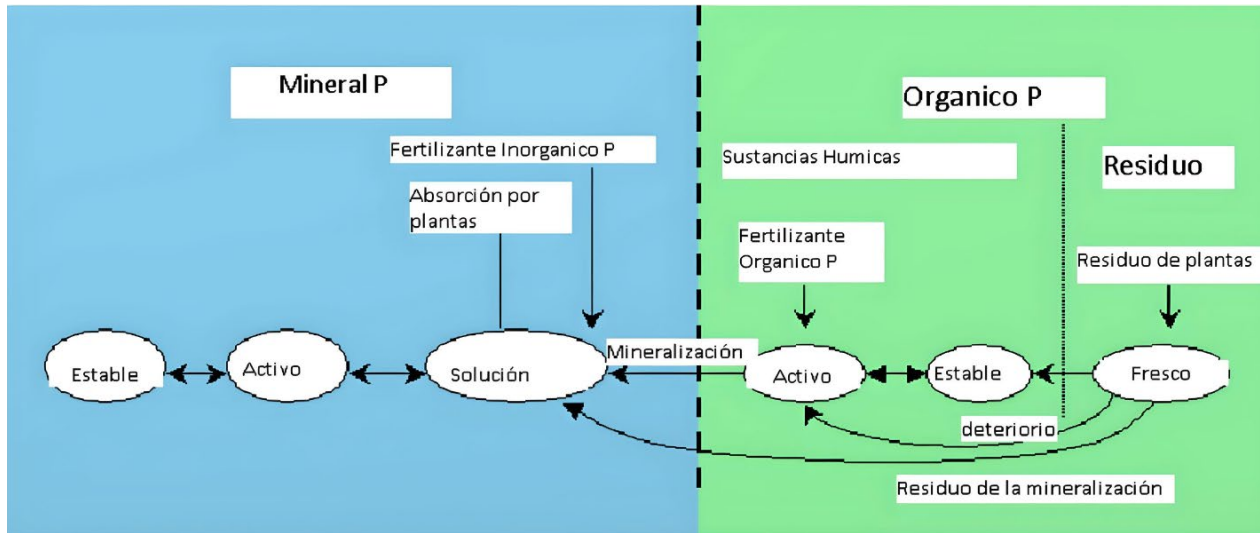


Figura N° 10: Ciclo del fósforo en SWAT
 Fuente: Uribe et al., 2010.

4.3.1.1.6 Manejo

Un objetivo principal de la modelación ambiental es evaluar el impacto de las actividades humanas en un sistema dado. Es fundamental para esta evaluación la enumeración de las prácticas de gestión de tierras y aguas que tienen lugar dentro del sistema.

SWAT permite al usuario definir las prácticas de manejo que desarrolladas en cada HRU. El usuario puede definir el principio y el fin de la época de cultivo, especificando tiempo y cantidades de abono, aplicaciones de pesticida y riego, así como el tiempo de operación por cultivo. Al final de la época de cultivo, la biomasa puede ser removida del HRU como rendimiento o conservada en la superficie como residuo. El archivo principal utilizado para resumir estas prácticas es el archivo de gestión HRU, de extensión “.mgt”. Este archivo contiene datos de entrada para la siembra, cosecha, aplicaciones de riego, aplicaciones de nutrientes, aplicaciones de pesticidas y operaciones de labranza. También se almacena información sobre drenajes de canales de regadío y áreas urbanas. El archivo de gestión se puede dividir en dos secciones. La primera sección resume las entradas para condiciones iniciales o prácticas de gestión que nunca cambian durante la simulación. La segunda sección enumera el calendario de operaciones de gestión que ocurren en momentos específicos (Neitsch et al., 2011). Adicionalmente a estas prácticas básicas de gestión, las operaciones como aplicaciones automatizadas de abono y agua y la incorporación de cada opción concebible de gestión para el uso de agua están disponibles.

Rotaciones

Una rotación en SWAT se refiere a un cambio en las prácticas de manejo de cultivos de un año a otro. Se especifica el número de años por operación de gestión, especificando en cada rotación. SWAT no limita el número de cultivos diferentes desarrollados un año en la HRU. En versiones anteriores de SWAT, solo era posible simular el crecimiento de una especie de planta a la vez, pero la versión actual permite simular el crecimiento y competencia de múltiples especies de plantas en una comunidad vegetal gracias a los algoritmos del modelo ALMANAC. Se han simulado diversas comunidades vegetales, incluyendo cultivos y malezas, árboles y pastos, y diferentes especies de árboles en bosques boreales, así como pastos y arbustos en comunidades de pastizales. Se incorpora también un archivo de entrada de operaciones que permite al usuario programar la gestión por día juliano y año calendario sin considerar rotaciones de cultivos y sin utilizar programación de unidades térmicas, para mayor detalle se recomienda consultar Neitsch et al (2011).

Uso del agua

Los dos más típicos usos del agua son para la aplicación a terrenos o como el abastecimiento de agua de una ciudad. El SWAT permite que el agua para pueda ser aplicada en un HRU de cualquier fuente de agua de adentro o fuera de la cuenca. El agua puede también transferirse entre depósitos, alcances y subcuencas, así como exportarla de la cuenca. Mediante la herramienta de uso consuntivo del agua, de extensión “.wus”, es posible remover agua de la cuenca. El agua retirada para uso consuntivo se considera perdida del sistema. SWAT permite que el agua sea retirada del acuífero superficial, el acuífero profundo, el tramo o el estanque dentro de cualquier subcuenca de la cuenca hidrográfica. También se puede retirar agua de los embalses para uso consuntivo. Para cada mes del año, se especifica un volumen diario promedio de agua retirada de la fuente. Para los embalses también se puede especificar la fracción del agua retirada que se pierde durante el proceso de retiro.

4.3.1.2 Fase de enrutamiento

En la fase de enrutamiento (Figura N°11) el modelo calcula los procesos del canal. La ecuación de Manning se utiliza para determinar la velocidad del arroyo y la relación de descarga. SWAT cuenta con cuatro modelos de potencia de flujo para predecir la capacidad de transporte de sedimentos en los cauces. Estos modelos se basan en la velocidad máxima del flujo y predicen la concentración máxima de sedimentos que el agua puede transportar (Neitsch et al. 2011). Los cuatro modelos utilizados son el modelo de Bagnold simplificado, el modelo Kodatie (para tamaños de material de lecho que van desde limo hasta grava), el modelo Molinas y Wu (para partículas principalmente de tamaño arena) y el modelo Yang para arena y grava. Las ecuaciones de calidad del agua son tomadas del modelo QUAL2E (Brown y Barnwell, 1987) y se utilizan para simular los nutrientes en el canal. Se puede encontrar una descripción detallada del modelo y más información teórica en Neitsch et al (2011).

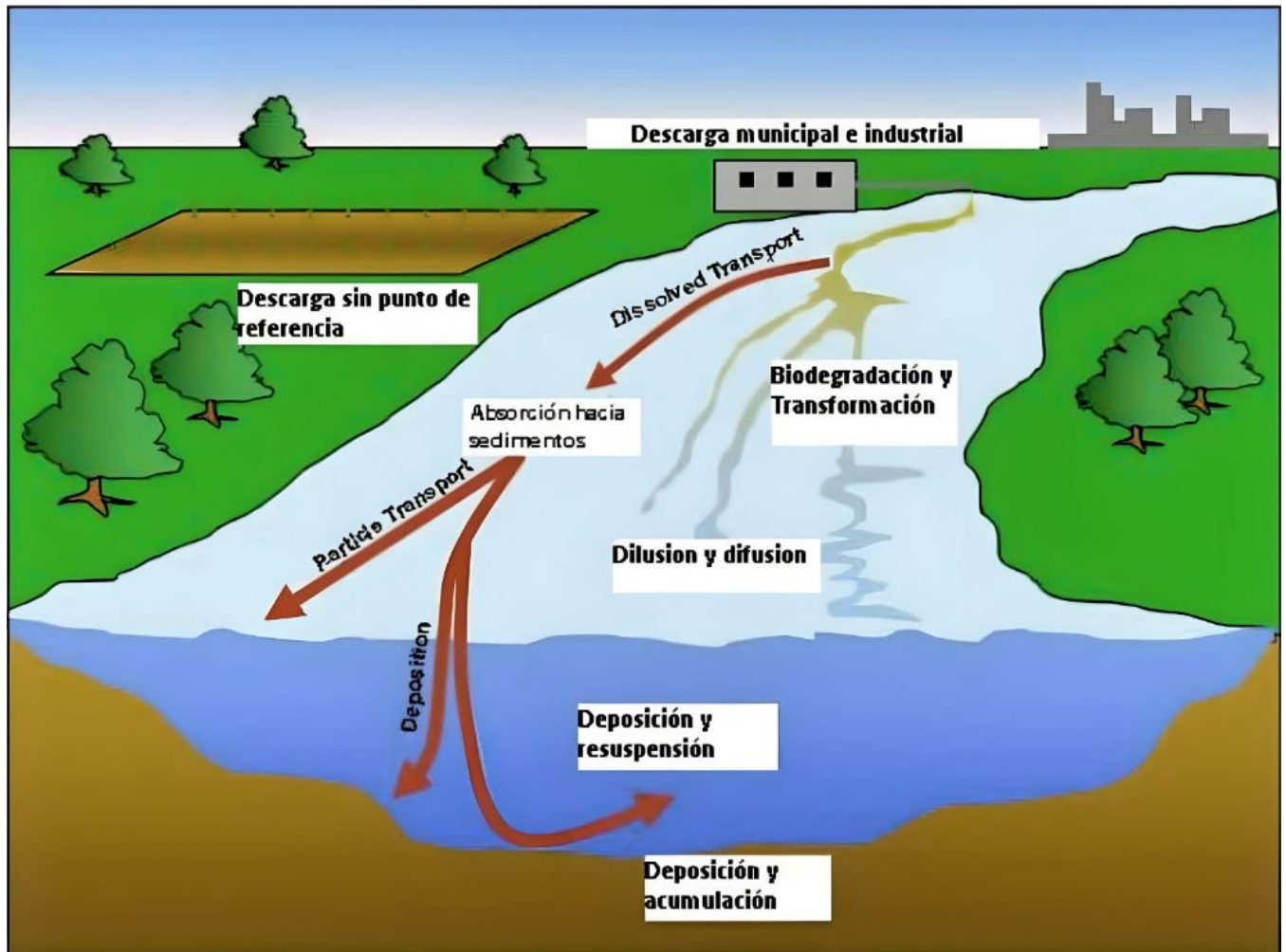


Figura N° 11: Fase de enrutamiento de SWAT
Fuente: Uribe et al., 2010

4.3.2 Escala espacial del modelo SWAT

SWAT es un modelo de parámetros agrupados a escala de subcuenca (ver Figura N°12), lo que significa que dentro de cada subcuenca SWAT hace una subdivisión en unidades espaciales más pequeñas con la misma clase de pendiente, tipo de suelo y cobertura o uso de suelo, en una única unidad de flujo con pendiente uniforme, que se conoce como unidad de respuesta hidrológica (HRU).

Subdividir la cuenca en áreas en combinaciones únicas de uso de suelo, suelo y pendientes permite que el modelo refleje las diferencias en la evapotranspiración y otras condiciones hidrológicas para diferentes coberturas de tierra/cultivos y suelos (Arnold et al., 2013). El escurrimiento se predice por separado para cada HRU y se enruta para obtener el escurrimiento total de la cuenca. Esto aumenta la precisión de las predicciones de carga y proporciona una descripción física mucho mejor del balance hídrico (Arnold et al., 2013).

La extracción de resultados del modelo en diferentes puntos a lo largo de esta ruta de flujo conceptual permite identificar el efecto de la escala espacial en la producción y el transporte de sedimentos y nutrientes. Se puede obtener la salida para cada HRU, para cada subcuenca y para múltiples subcuencas, típicamente la desembocadura de la cuenca hidrográfica estudiada (escala de cuenca). La salida a escala alta (o escala HRU) proporciona la exportación más directa de sedimentos y nutrientes para cada tipo de cobertura del suelo, sin las complicaciones causadas por la modificación descendente de estas cargas por procesos bajos, canales y lagos (Almendinger & Ulrich, 2017).

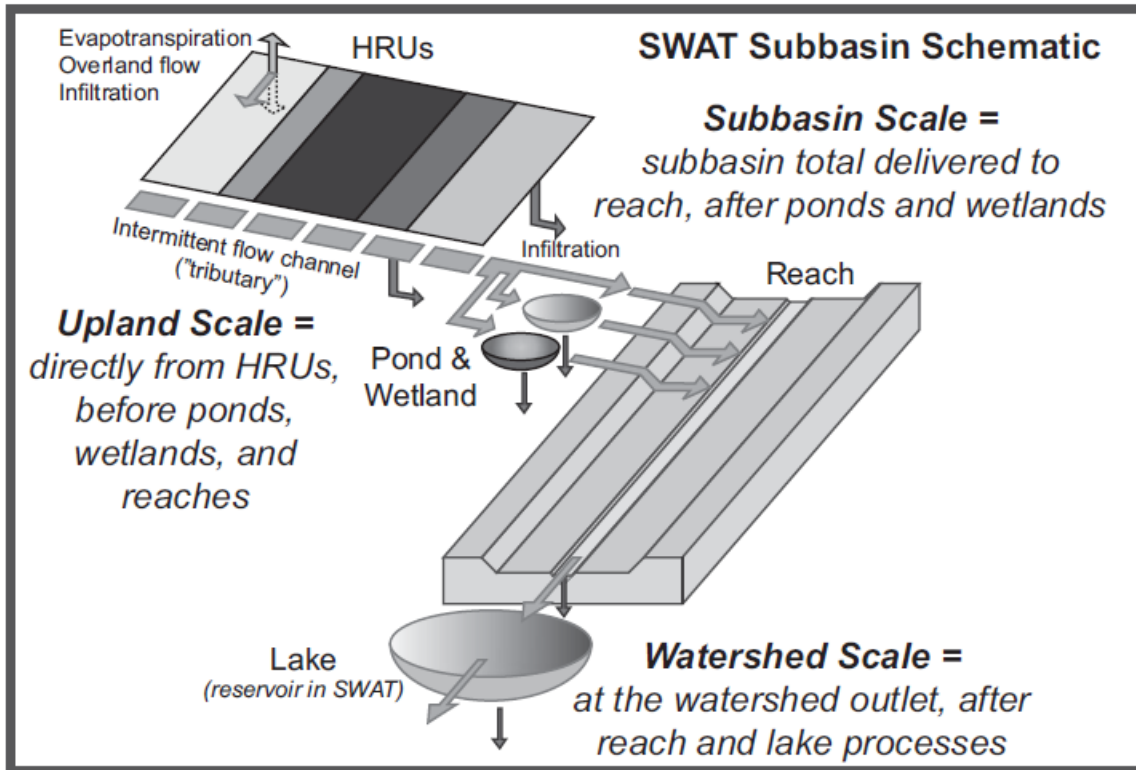


Figura N° 12: Esquema de una Subcuenca en SWAT mostrando las diferentes escalas en las que se Pueden Extraer Resultados.

Fuente: Almendinger & Ulrich (2017)

La escala alta es donde los impactos de las Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) agrícolas son más visibles, sin embargo, para cumplir con los requisitos de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental D.S. N°9/2015 vigente en la cuenca, que se basa en el muestreo de puntos de monitoreo, es necesario considerar la salida a escala de cuenca, ya que esta proporciona una mejor estimación del resultado general exportado desde toda la cuenca. En este trabajo, se utiliza la escala de salida a nivel de cuenca para evaluar las BMPs y sus efectos en el sistema.

4.3.3 Construcción del modelo SWAT

SWAT es un modelo intensivo en datos ya que requiere una gran cantidad de información espacial y temporal del área en estudio. Las principales entradas requeridas para configurar el modelo básico son el mapa de elevación digital, el uso del suelo/cobertura del suelo, el mapa del suelo (datos espaciales), los parámetros meteorológicos (precipitación y temperatura) junto con la serie temporal de caudales, sedimentos y/o nutrientes (datos temporales).

Se han establecido ecuaciones matemáticas empíricas y basadas en la física a partir de resultados basados en investigaciones, en un intento de estimar la cantidad de contaminantes descargados de varios usos del suelo (Motsinger et al. 2016). A medida que el software de computación ha avanzado, estas ecuaciones se han empaquetado juntas en un modelo basado en sistemas de información geográfica (SIG).

Al trabajar con conjuntos de capas, SWAT cuenta dos distintas versiones de interfaz gráfica SIG disponibles a través de complementos, para los softwares SIG más utilizados en la actualidad. Estas versiones corresponden a “QSWAT” y “ArcSWAT”, las cuales se diferencian en pequeños detalles de variabilidad en la configuración del modelo y el formato de salida de archivos.

En función de la interfaz de SWAT utilizada, la variabilidad se puede materializar en la forma en que estas interfaces escriben cadenas de texto, así como en la numeración que asignan a los campos en las tablas de salida, por ejemplo, para el archivo de elevaciones o los archivos del tipo “output.xxx”. En este estudio se optó por utilizar la interfaz del SIG de código abierto QSWAT para preparar y ejecutar el modelo SWAT.

4.3.3.1 Datos de entrada

Se recopilaron y reorganizaron en un formato consistente los datos geospaciales, climáticos, de caudal, tipos de suelo, usos de suelo, de manejo, cultivos y fuentes puntuales disponibles para su uso en el modelo SWAT. Los principales datos recopilados se resumen en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12: Datos de entrada del modelo

Entrada	Fuente	Descripción
Temperaturas extremas diarias	Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR) ²	Producto grillado CR2MET con temperaturas máximas y mínimas diarias (1979-2020)
Precipitaciones diarias	Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR) ²	Producto grillado CR2MET con información de precipitaciones diarias (1979-2020)
Caudales diarios	Dirección General de Aguas (DGA)	Planillas Excel con registro diario de caudales (m ³ /s) por estación fluviométrica (2003-2018)

Entrada	Fuente	Descripción
Sedimentos	Dirección General de Aguas (DGA)	Planilla Excel con muestreo Rutinario Histórico de concentración de sedimentos (mg/l) en estación sedimentométrica.
Modelo de Elevación Digital ¹	Satélite ALOS PALSAR	Ráster DEM de resolución 12.5mx12.5m para la cuenca del río Biobío
Tipo de suelo ¹	Estudios agrológicos regiones VIII y IX del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN)	Ráster de series de suelo georreferenciadas para las regiones de Biobío y la Araucanía según clasificaciones CIREN 1999 y 2002
Uso de agua	Dirección General de Aguas (DGA)	Planilla Excel con información de DAA otorgados por titular a nivel país en m ³ /s o l/s, según su magnitud, actualizada al año 2018
Manejo de cultivos	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA); Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)	Guías que contienen lineamientos generales acerca del manejo de cultivos de la VIII y IX región, según tipo de cultivo e industrialización.
Uso de suelo	Censo Agropecuario (INE), Catastro frutícola (ODEPA-CIREN); Catastro de vegetación y Usos de suelo (CONAF)	Shapefile cultivos anuales por comuna-Censo agropecuario (2007); Shapefile con cultivos frutales del catastro frutícola ODEPA para la VIII y IX región (2016); Ráster de usos de suelo - CONAF (2014 para la VIII región y 2015 para la IX región)
Descargas de fuentes puntuales	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)	Planillas Excel con resumen anual de descargas reportadas por las unidades fiscalizables (2005-2018)

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.2 Delimitación de la cuenca y creación de HRUs

Para este estudio, se estableció el punto de salida de la cuenca en la ubicación correspondiente al punto de monitoreo VE-10 (véase Tabla N° 7) y se asignaron outlets secundarios en la ubicación de las estaciones fluviométricas y área de vigilancia RE-10. Se asignó un área de acumulación de flujo de 500 ha para establecer la red hídrica y habilitó la opción que permite incorporar posteriormente las fuentes puntuales en cada subcuenca. Las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRUs) fueron generadas mediante la reclasificación del DEM en tres clases de pendiente: 0-5%, 5-15% y superior al 15%,

¹ Datos de ingreso obtenidos en el contexto del proyecto “Improving Water Quality to Sustain Watershed Ecosystems and Socio-Economic Development Under Climate Change: a China-Chile Comparative Study (ANID Code: NSFC190002)” en ejecución.

siguiendo las pautas de CONAF (CONAF, s.f) que establecen que los suelos con una pendiente superior a 15% son considerados frágiles y con aptitud preferiblemente forestal. Se incorporaron datos de suelo y uso de suelo, adaptando la información de suelos a la base de datos de SWAT, ya que la base de datos predeterminada de SWAT "SSURGO" está diseñada exclusivamente para suelos en Estados Unidos. Además, se editó el ráster de usos de suelo de CONAF para incorporar información necesaria para la modelación de nutrientes, sedimentos y BMPs, como la cobertura vegetal y el manejo, ya que parámetros como "CN2", reportado como altamente sensible en distintas modelaciones realizadas en cuencas del sur de Chile (p. ej. Stehr et al., 2008 y Stehr et al., 2010), son altamente dependientes de esta información. Para ello, se incorporaron registros del catastro frutícola (ODEPA, 2016; CIREN-ODEPA 2016a y 2016b) para reclasificar terrenos agrícolas como cultivos de manzano, arándano, cerezo, trigo, maíz y avena. Una vez incorporados los ráster de suelo y uso de suelo, se vincularon a tablas "look up" disponibles en los Anexos A y B respectivamente, las cuales contenían el formato necesario para que SWAT pudiera identificar y trabajar con los usos y tipos de suelo ingresados.

Para la creación de HRUs, se eligió la opción de múltiples HRUs por subcuenca para mejorar la precisión del modelo, utilizando un umbral del 10% para uso del suelo, de 10% para el tipo de suelo y de 10% para pendientes. Esto resultó en un total de 3343 HRUs.

4.3.3.3 Métodos de modelación de procesos hidrológicos

Los métodos de estimación de procesos y componentes hidrológicos, así como las ecuaciones de transporte de contaminantes que, utilizadas para la simulación del ciclo hidrológico en el modelo, debieron ser ajustados y/o incorporados mediante las opciones que provee la interfaz gráfica de SWAT, o en su defecto, mediante edición directa de las bases de datos. La Tabla N° 13 proporciona una visión general de los métodos adicionales a los descritos y empleados en secciones anteriores del presente documento, y que resultan de gran relevancia para representar los procesos de cuenca hidrográfica de estudio.

Tabla N° 13: Procedimientos y métodos utilizados para representar procesos de cuenca en SWAT

Proceso/componente	Procedimiento o método utilizado
Temperatura y precipitación	Se extrajo el valor diario del producto grillado CR2MET en la ubicación correspondiente al centroide de cada subcuenca y se generó una estación meteorológica ficticia
Evapotranspiración	Método Hargreaves & Sammani (1985)
Transporte o enrutamiento de sedimentos	Enfoque basado en la física para la erosión de canal usando el método de la ecuación simplificada de Bagnold (Anexo E)
Fuentes puntuales	Método de cargas anuales promedio (Anexo C)
Uso de agua (DAA consuntivos)	Método escala mensual (Anexo D)
Manejo de cultivos	Se ingresó información de manera manual para todos los usos de suelo que cuentan con presencia de cobertura vegetal. El detalle de la información ingresada se encuentra disponible en el Anexo F.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Calibración y validación del modelo

En este estudio, se tomó como ejemplo el artículo escrito por Neitsch et al. (2002) para la calibración del modelo SWAT. En Neitsch et al. (2002), se propuso un método de calibración en tres fases para modelar la calidad del agua, comenzando por la calibración de caudales y el balance hídrico, seguida de la calibración de sedimentos y posteriormente nutrientes.

Se utilizaron 54 parámetros (detalle en Anexo I) para la calibración de las variables de interés en el modelo; caudales diarios, sedimentos, nitrógeno total y fósforo total. Debido a este gran número de parámetros, se utilizó el programa de calibración automático (SWAT-CUP) para la calibración y validación. El programa SWAT-CUP fue desarrollado para la calibración, validación y análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo SWAT, y utiliza cinco diferentes procedimientos de calibración: SUFI-2, Optimización de Enjambre de Partículas (PSO), Estimación de Incertidumbre de Verosimilitud Generalizada (GLUE), Solución de Parámetros (ParaSol) y Cadena Markov Monte Carlo (MCMC). Para modelos a gran escala, donde el proceso de calibración puede ser muy lento, SUFI-2 semiautomatizado es altamente eficiente (Babaei et al., 2019). Por esta razón, se optó por utilizar SUFI-2 en el presente estudio.

4.3.4.1 Período de calibración y validación

El modelo SWAT fue calibrado y validado con registros diarios comprendidos dentro del período 2003 a 2018, para las variables de caudal (Q), sedimentos (SS) y de calidad del agua del río (N y P totales). Los periodos de calibración y validación se presentan en la

Tabla N° 14. Se consideró un período de calentamiento de 4 años, es decir, desde el 01/01/1999 hasta el 31/12/2022.

Tabla N° 14: Periodos de calibración y validación por variable de estudio

Variable	Calibración	Validación
Caudales	2003-2010	2011-2018
Sedimentos	2004-2005,2008,2010-2013	2007,2009,2014-2018
Fósforo total	2003-2010	2011-2018
Nitrógeno total	2003-2010	2011-2018

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4.2 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se utiliza a menudo para evaluar los efectos de diferentes entradas de parámetros, que representan diferentes propiedades de la cuenca hidrográfica en las salidas de simulación. Es un proceso iterativo que mide la respuesta de una salida ante cambios en los parámetros de entrada (Leh et al., 2018). Las respuestas más significativas en la salida indican una mayor sensibilidad hacia un determinado parámetro, lo que a su vez influye en la respuesta de salida. Por lo tanto, los parámetros más sensibles se emplean comúnmente para calibrar el modelo. Esto conduce a una reducción del número necesario de parámetros para la calibración, dando prioridad a aquellos que resultaron más relevantes. La sensibilidad de los parámetros se determinó en función del valor ρ de una prueba t de Student. Un parámetro se consideró sensible cuando alcanzaba un valor $\rho \leq 0.05$ tras una iteración de 1000 simulaciones.

4.3.4.3 Indicadores estadísticos de evaluación del modelo

La evaluación de la precisión de los resultados del modelo se llevó a cabo evaluado cualitativamente con el uso gráficos de series temporales y cuantitativamente utilizando tres indicadores estadísticos de evaluación (IEE): la eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE), el sesgo porcentual (PBIAS) y el coeficiente de determinación (R^2), de acuerdo con las recomendaciones de Moriasi et al. (2015), disponibles en el Anexo G.

Coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE):

El NSE (Ec. 3) muestra lo bien que el gráfico de valores simulados y observados se ajusta a la línea 1:1 y oscila entre $-\infty$ y el valor 1 (Moriasi et al., 2007), donde 1 indica un acuerdo perfecto entre los valores observados y simulados. Un valor de $NSE = 1.0$ indica una predicción perfecta, mientras que los valores de $NSE \leq 0$ indican que la media de los datos observados es un predictor más preciso que la salida simulada.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{obs\ i} - Y_{sim\ i})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{obs\ i} - \overline{Y_{obs}})^2} \quad (3)$$

Donde, $Y_{sim\ i}$, $Y_{obs\ i}$, $\overline{Y_{obs}}$, $\overline{Y_{sim}}$ corresponden a los valores observados, simulados, promedio observado y promedio de valores simulados respectivamente, en el instante i , y siendo n el número de observaciones.

Porcentaje de sesgo (PBIAS)

El PBIAS (Ec. 4) mide la tendencia media de los datos simulados a ser mayores o menores que los observados y oscila entre $-\infty$ y $+\infty$ (Gupta et al., 1999). El valor óptimo de PBIAS es 0.0, y los valores bajos indican una simulación precisa del modelo, siendo los valores negativos indicadores de sobreestimación del modelo, mientras los positivos indican subestimación.

$$\text{PBIAS} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{obs } i} - Y_{\text{sim } i})}{\sum_{i=1}^n Y_{\text{obs } i}} * 100 \quad (4)$$

Donde, $Y_{\text{sim } i}$, $Y_{\text{obs } i}$ corresponden a los valores observados y simulados respectivamente en el instante i , y siendo n el número de observaciones.

Coefficiente de determinación (R^2)

El coeficiente de determinación, denotado como R^2 (Ec. 5), es otro estadístico ampliamente utilizado que estima la dispersión de los datos observados y simulados. En otras palabras, es una medida para mostrar una relación lineal entre los datos observados y simulados. Varía de 0 a 1, donde 1 es el valor óptimo que significa el ajuste ideal entre los valores observados y simulados (Malik et al., 2020).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{obs } i} - \overline{Y_{\text{obs}}})(Y_{\text{sim } i} - \overline{Y_{\text{sim}}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{obs } i} - \overline{Y_{\text{obs}}})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{sim } i} - \overline{Y_{\text{sim}}})^2}} \quad (5)$$

Donde, $Y_{\text{sim } i}$, $Y_{\text{obs } i}$, $\overline{Y_{\text{obs}}}$, $\overline{Y_{\text{sim}}}$ corresponden a los valores observados, simulados, promedio observado y promedio de valores simulados respectivamente, en el instante i , y siendo n el número de observaciones.

Esta combinación de NSE, PBIAS y R^2 ha sido empleada en otros estudios como López-Ballesteros et al. (2019), Merriman et al. (2019) y Özcan et al. (2017).

4.4 Evaluación de la efectividad de las Mejores Prácticas de Manejo

Tras completar satisfactoriamente los procesos de calibración y validación, el modelo simuló de manera diaria los caudales, nutrientes y sedimentos a lo largo de todo el período de análisis, dando lugar a la creación de un "Escenario Base" desprovisto de BMPs. Posteriormente, se procedió a realizar ajustes en los parámetros del modelo con el propósito de generar escenarios que reflejasen la implementación de las BMPs, permitiendo así una evaluación exhaustiva de la efectividad de las prácticas de manejo en el control de las exportaciones de sedimentos y nutrientes.

4.4.1 Diseño de escenarios individuales

La efectividad de una BMP individual se determinó simulándola bajo las condiciones recomendadas de uso del suelo y pendiente, y se evaluó la reducción correspondiente en la producción de sedimentos, así como exportaciones de fósforo y nitrógeno total. Las simulaciones de las BMPs seleccionadas se llevaron a cabo cambiando los valores de los parámetros apropiados en el modelo SWAT calibrado, como se presenta en la Tabla N° 15.

Tabla N° 15: Escenarios individuales de BMPs

Escenario	Código	Descripción	Ajuste realizado*
E1	FC10	Reducción de la cantidad de fertilizante aplicado en un 10%	(r) FRT_KG -0.1 (r) CFRT_KG -0.1
E2	FC20	Reducción de la cantidad de fertilizante aplicado en un 20%	(r) FRT_KG -0.2 (r) CFRT_KG -0.2
E3	FC30	Reducción de la cantidad de fertilizante aplicado en un 30%	(r) FRT_KG -0.3 (r) CFRT_KG -0.3
E4	GWp	Implementar GW en condiciones de pasto desfavorables (calidad pobre).	(v) CH_COV1 0.001 (v) CH_COV2 0.001 (v) CH_N2 0.1
E5	GWr	Implementar GW en condiciones de referencia (Liu et al., 2019)	(v) CH_COV1 0 (v) CH_COV2 0 (v) CH_N2 0.15
E6	GWo	Implementar GW en condiciones de pasto óptimas	(v) CH_COV1 0.001 (v) CH_COV2 0.001 (v) CH_N2 0.3
E7	VFS10	Implementar franjas de amortiguación vegetativas de 10m de ancho las zonas de ribera	(v) FILTERW 10
E8	VFS15	Implementar franjas de amortiguación vegetativas de 15m de ancho en todas las zonas de ribera de praderas y predios agrícolas de la cuenca.	(v) FILTERW 15
E9	VFS20	Implementar franjas de amortiguación vegetativas de 20m de ancho en todas las zonas de ribera de praderas y predios agrícolas de la cuenca.	(v) FILTERW 20

*(v) indica el uso de un método de reemplazo de valor original del parámetro por el valor indicado “ α ”; (r) indica un cambio relativo multiplicando el valor original por “(1 + α)”.

Fuente: Elaboración propia.

En este punto, las BMPs fueron implementadas de forma separada en el modelo SWAT para ser modeladas individualmente. Para cada BMP individual se generaron tres posibles escenarios (Tabla N° 15), donde se varían los parámetros particulares que caracterizan a cada práctica en cuestión, a modo de disponer de un registro más amplio,

que aborde mayor cantidad de opciones para ser revisadas y/o evaluadas en un futuro. La extensión de implementación fue la misma para todas las BMPs, abarcando los usos de suelo PAST, APPL, CORN, WWHT, OATS y CRIR, correspondientes a las zonas praderas y cultivos agrícolas de la cuenca.

Una vez modelados, la efectividad de cada escenario individual se cuantificó en forma de reducciones porcentuales de la masa de nutrientes y sedimentos exportados a nivel de cuenca. Las reducciones porcentuales a nivel de cuenca representan las reducciones de carga acumuladas en la salida de la cuenca con la implementación de las BMP. Para calcular la efectividad de cada BMP se usará la siguiente ecuación (Ec. 6).

$$Efectividad (\% \text{ de reducción}) = \frac{m_{preBMP} - m_{postBMP}}{m_{preBMP}} \times 100 \quad (6)$$

Donde m_{preBMP} y $m_{postBMP}$ hacen referencia a los niveles antes (Escenario Base) y después de la implementación de la BMP, respectivamente, para nitrógeno total, fósforo total y sedimentos, según corresponda.

Después de analizar el efecto de las BMP individuales en la reducción del rendimiento de sedimentos, se formularon diferentes combinaciones de BMP en función de su efectividad.

4.4.2 Diseño de escenarios de combinación

Las BMPs suelen ser más efectivas cuando se utilizan de forma combinada (Mtibaa et al., 2018). Sobre la base de la eficiencia de las BMP individuales, se elaboraron y modelaron cuatro combinaciones de BMPs (ver Tabla N° 16) y se introdujeron en el modelo SWAT para evaluar su capacidad de reducir la exportación de sedimentos y nutrientes.

Tabla N° 16: Escenarios de combinación de BMPs

Escenario	Código	Descripción
E10	FCx +VFSx	Combinación del mejor escenario individual FC y VFS
E11	FCx+GWx	Combinación del mejor escenario FC y GWW
E12	GWx+VFSx	Combinación del mejor escenario GWW y VFS
E13	FCx+GWx+VFSx	Combinación del mejor escenario de cada BMP

Fuente: Elaboración propia.

Una vez modelados los escenarios de combinaciones de BMPs, se evaluó su efectividad a nivel de cuenca hidrográfica, utilizando la Ecuación (6), para calcular de forma análoga la eficiencia de reducción para los nuevos escenarios formulados.

Finalmente, se comparó la efectividad de todos los diferentes escenarios generados (individuales y combinados) para analizarlos brevemente y determinar cuáles presentan una mayor efectividad ponderada para la reducción de exportaciones de nitrógeno, fósforo y sedimentos a la salida de la cuenca del río Vergara.

5 Resultados

5.1 Selección de BMPs a modelar

5.1.1 Análisis de la naturaleza geográfica de los estudios

Para comprender la extensión y alcance de la investigación relacionada con el tema de interés, se llevó a cabo un análisis de la distribución geográfica de los estudios seleccionados, siguiendo los criterios establecidos en la sección 4.2 de la metodología. En este análisis, se observó una concentración significativa de investigaciones en Estados Unidos y China, donde se encontraban la mayoría de los estudios seleccionados.

Además, se identificaron estudios relevantes en América Latina, específicamente en países como Colombia y Brasil, lo que muestra un avance en la investigación sobre el tema en la región. Del mismo modo, a nivel nacional, no se encontraron publicaciones que abordaran específicamente este tópico de estudio en Chile.

Con base en los criterios establecidos en la sección 4.1 de la metodología, se generó la Tabla N° 17, que resume la distribución geográfica de los estudios seleccionados. Esta tabla incluye una lista de países y el número de estudios publicados en cada uno de ellos. Además de la ya mencionada cuota de investigación aportada por Estado Unidos y China, se destaca la participación de países de Europa, África y otros países asiáticos, como Japón, Corea del Sur e India.

De esta manera, se obtuvo una visión panorámica de los países donde se ha realizado una mayor cantidad de investigaciones que coinciden con el tema y criterios de interés, así como aquellos con una menor representación en la literatura científica.

Tabla N° 17: Distribución geográfica de las publicaciones seleccionadas

País	N° de publicaciones que coincidieron con la búsqueda
Alemania	1
Argelia	1
Brasil	1
Canadá	1
China	12
Colombia	1
Corea del Sur	3
España	5
EE. UU.	28
Etiopía	4
India	3
Irán	3
Italia	2
Japón	1
Marruecos	2
Noruega	1
Túnez	1
Turquía	3
Total	73

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Normalización de BMPs

Se desarrolló un glosario de acrónimos para las BMPs con el propósito de abreviar y homogeneizar los diferentes nombres utilizados en los distintos estudios. Por ejemplo, la labranza cero, cero labranza y siembra directa se refieren a la misma BMP, pero la denominación variaba según cada grupo investigador. Para establecer una mayor coherencia, estas tres prácticas fueron normalizadas bajo el acrónimo ZT, proveniente de la expresión en inglés "Zero Tillage". De manera similar, se generaron acrónimos para las demás BMPs con el fin de homogeneizar la diversidad de información disponible en las fuentes originales bajo una nomenclatura uniforme y facilitar así su referencia y consulta en futuras investigaciones. Los acrónimos y sus respectivas denominaciones son presentados en la Tabla N° 18.

Tabla N° 18: Términos y acrónimos normalizados para representar las BMPs

BMP	Nombre BMP	Nombre(s) alternativo(s) o traducción
VFS/FS	Vegetative filter strip	Buffer strips/Riparian buffers (zonas de amortiguación ribereña)
TRP/TW	Tailwater recovery pond	Tail Water Pond
CT/TM	Conservation tillage	Reduced tillage (RT)/Tillage management (Labranza de conservación)
CF	Contour farming	Contouring (cultivos de contorno)
CB	Contour bundling	Contour stone bunding/contour trenching/stone lines
T	Terracing	Paralel terraces/Bench (Aterrazamiento)
GSS	Graded stabilization structures	Estructuras de estabilización de gradiente
SSS	Streambank stabilization structures	Estructuras de estabilización de riberas
GWW	Grassed waterways	
FC/NM	Fertilizer control	Nutrient management/Fertilizer reduction (Reducción de nutrientes)
RSM/CV C	rice straw mulching	Conservation cover
CD	Check Dams	(Presas de control/presas filtrantes)
ZT	Zero Tillage	Labranza cero
W	Wetlands	Constructed wetlands (Humedales)
BI	Blind inlets	
CC	Cover Crops	Permanent soil cover (Cultivos de cobertura)
CR	Contour ridges	Surcos de contorno
LUC/RC	Land-use conversion	Reforestation of croplands
PLI	Pastureland Increase	Aumento de extensión de praderas de pastoreo
RM	Residue Management on river loads at the outlet	Gestión de residuos
CRT	Crop Rotation	Rotación de cultivos
SC	Strip cropping	Cultivo en hileras
IM	Irrigation management	Gestión de riego
BAR	Small Retention Basins	Estanques de retención
RL	Reduction in livestock	Reducción del ganado

WCF	Fixing the channel walls	
IBAC	Instalación de bebederos alejados del cauce	
BRS	Building Recharge Structures	Construcción de estructuras de recarga
AC	Alley cropping	
LCC	Land cover conversion	
SF	Stream Fencing	Cercado de arroyos
CH	Contour Hedgerow	
AMO	Alternative Manure Operations	

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Elaboración de fichas bibliográficas

En el proceso de revisión bibliográfica, se generó un total de 73 fichas bibliográficas que recopilan la información relevante de los estudios seleccionados. Estas fichas proporcionan una visión panorámica de los diferentes enfoques y resultados obtenidos en relación con el tema de investigación y constituyen una base sólida para el análisis y la discusión en el presente trabajo. Con el objetivo de brindar un ejemplo ilustrativo, se presenta uno de los artículos seleccionados en el cuerpo principal del informe. La totalidad de las fichas bibliográficas está disponible en el Anexo H para su consulta.

Ficha bibliográfica artículo Jang et al., 2017

ID	3
Nombre del artículo	Evaluation of executable best management practices in Haeon highland agricultural catchment of South Korea using SWAT
Autores	Jang, S. S., Ahn, S. R., & Kim, S. J.
Revista	Agricultural Water Management
Año y país	2017, Corea del Sur
Resumen	En este estudio se evaluó la reducción de los altos niveles de exportación de contaminación por fuentes no puntuales (NPS) en la cuenca agrícola de alta montaña de Haeon (62.8 km ²) en Corea del Sur, mediante la aplicación de BMPs de instalación de franjas de amortiguación vegetativas (VFS), control de fertilizantes (FC) y acolchado con paja de arroz (RSM) en tierras altas por encima de los 600 m de elevación utilizando SWAT. De los resultados de la modelación, las VFS fueron la BMP que tuvieron el mejor desempeño para reducir el sedimento en un 16.0% para un ancho de franja de 1 m, hasta un 34.8% para un ancho de franja de 5 m y las exportaciones de fósforo total del 5.1% a 21.3% desde las áreas de cultivo de alta montaña. La BMP FC mostró una reducción en las exportaciones del 4.9% para una reducción del fertilizante del 10% hasta el 16.4% para una reducción del fertilizante del 30%. Se indica que debido a las dificultades de ubicar VFS, principalmente por la falta de voluntad de los agricultores, se sugirió la combinación de BMPs de reducción de fertilizantes y acolchado con paja de arroz como una

BMP ejecutable para obtener una eficiencia positiva en la eliminación para todas las exportaciones de nutrientes.				
Área de la cuenca (km ²)	62.8			
BMPs implementadas (primera fila) y su efectividad de reducción por contaminante (SS, TN, TP)		VFS	FC	RSM
	SS	26%	0%	4%
	TN	4%	11%	-2%
	TP	16%	4%	3%

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 Elección de las BMPs a modelar

A través del análisis bibliográfico, se pudo identificar de manera preliminar un total de 64 Mejores Prácticas de Manejo (BMPs), incluyendo sus variaciones. Cabe mencionar que algunas de estas BMPs, como la reducción de fertilización en diferentes porcentajes (10%, 20%, etc.), fueron consideradas como prácticas independientes para alcanzar dicho número. Posteriormente, con el propósito de realizar un análisis agrupado, se procedió a determinar la frecuencia de uso de cada BMP, normalizándolas para, siguiendo el ejemplo de la reducción de fertilizantes, considerar todas las variaciones como una única práctica (FC). Además, se calculó la efectividad promedio de estas BMPs ponderada entre todos los estudios.

Se elaboró la Tabla N° 18, que organiza las BMPs por frecuencia de implementación en los estudios considerados y facilita la aplicación de los criterios de selección.

Tabla N° 19: BMPs categorizadas según frecuencia de implementación y efectividad media

Nombre BMP	Número de veces implementada	Efectividad media (%) de reducción		
		SS	PT	NT
Zonas buffer o de amortiguación ribereña	89	24.8%	35.1%	31.7%
Reducción de fertilización ¹	57	N/A	12.3%	11.5%
Labranza cero	37	12.5%	6.6%	1.9%
Cultivos de cobertura	34	18.1%	18.8%	14.0%
Grassed Waterways	25	42.8%	36.6%	31.5%
Cultivos de contorno	25	13.1%	20.2%	16.2%
Labranza de conservación	24	9.3%	4.3%	4.1%
Aterrazamiento	19	32.9%	25.3%	14.8%
Conversión de terrenos de cultivo	19	21.8%	35.6%	29.1%

Fuente: Elaboración propia.

Tras aplicar los criterios de selección establecidos en la sección 4.2.3, se han identificado y seleccionado tres BMPs para su modelación e implementación en esta investigación. Estas prácticas de manejo fueron seleccionadas debido a su desempeño y respaldo en los estudios revisados. Las BMPs escogidas fueron las siguientes: Zonas buffer o de

¹ Esta BMP no genera impacto en el transporte ni la producción de sedimentos.

amortiguación ribereña, Grassed Waterways y Reducción en la aplicación de fertilizantes. A continuación, se detalla brevemente el criterio utilizado para la selección de cada BMP, junto a una breve descripción de cada una.

1. **Zonas buffer o de amortiguación de riveras (VFS):** Esta BMP es la más respaldada, con 89 menciones en el universo de publicaciones analizadas, se posiciona además en el primer lugar en cuanto a reducciones medias de NT. Consiste en franjas densamente vegetadas, que se ubican entre el cuerpo de agua y el borde del terreno cultivado, para interceptar la escorrentía superficial, de esta manera las cargas de contaminantes del área que drena hacia el segmento del canal son capturadas por la VFS, a través de procesos de sedimentación de los sedimentos y absorción de nutrientes (Arabi et al., 2007).
2. **Grassed Waterways (GW):** Las GW se destacan por su capacidad para capturar sedimentos en un segmento del canal, logrando esto al reducir efectivamente la velocidad del flujo de agua en dicho tramo. Esto se traduce en una disminución en la tasa máxima de flujo y en la velocidad del agua en ese segmento del canal, gracias al aumento de la rugosidad en el flujo, la cual depende de la calidad del césped; un césped de mejor calidad proporciona mayor coeficiente de rugosidad, lo que reduce el transporte de SS y nutrientes. Esta BMP se posiciona como la más efectiva en términos generales, ocupando el primer lugar en la reducción promedio de SS y PT. Solo siendo superada en la reducción de NT por las VFS.
3. **Reducción en la aplicación de fertilizantes (FC):** La calidad del agua puede mejorarse reduciendo el fertilizante aplicado desde cuencas hidrográficas agrícolas. Esta BMP es la segunda más respaldada por su implementación en los estudios. A diferencia de las anteriores, pertenece a la categoría de BMPs no estructurales y su desempeño es superior al de otras representantes de esta misma categoría, como la labranza de conservación o la labranza cero.

5.2 Generación del modelo SWAT para la cuenca del río Vergara

A continuación, se presentan los resultados del proceso calibración y validación del modelo para cada variable; caudales diarios, sedimentos, nitrógeno total y fósforo total.

5.2.1 Caudales

El modelo SWAT fue calibrado para caudales en las ubicaciones correspondientes a las cinco estaciones fluviométricas presentes en la cuenca, lo que equivale a las salidas de las subcuencas 18, 34, 43, 57 y 59, del total de 423 subcuencas generadas (Figura N° 13).

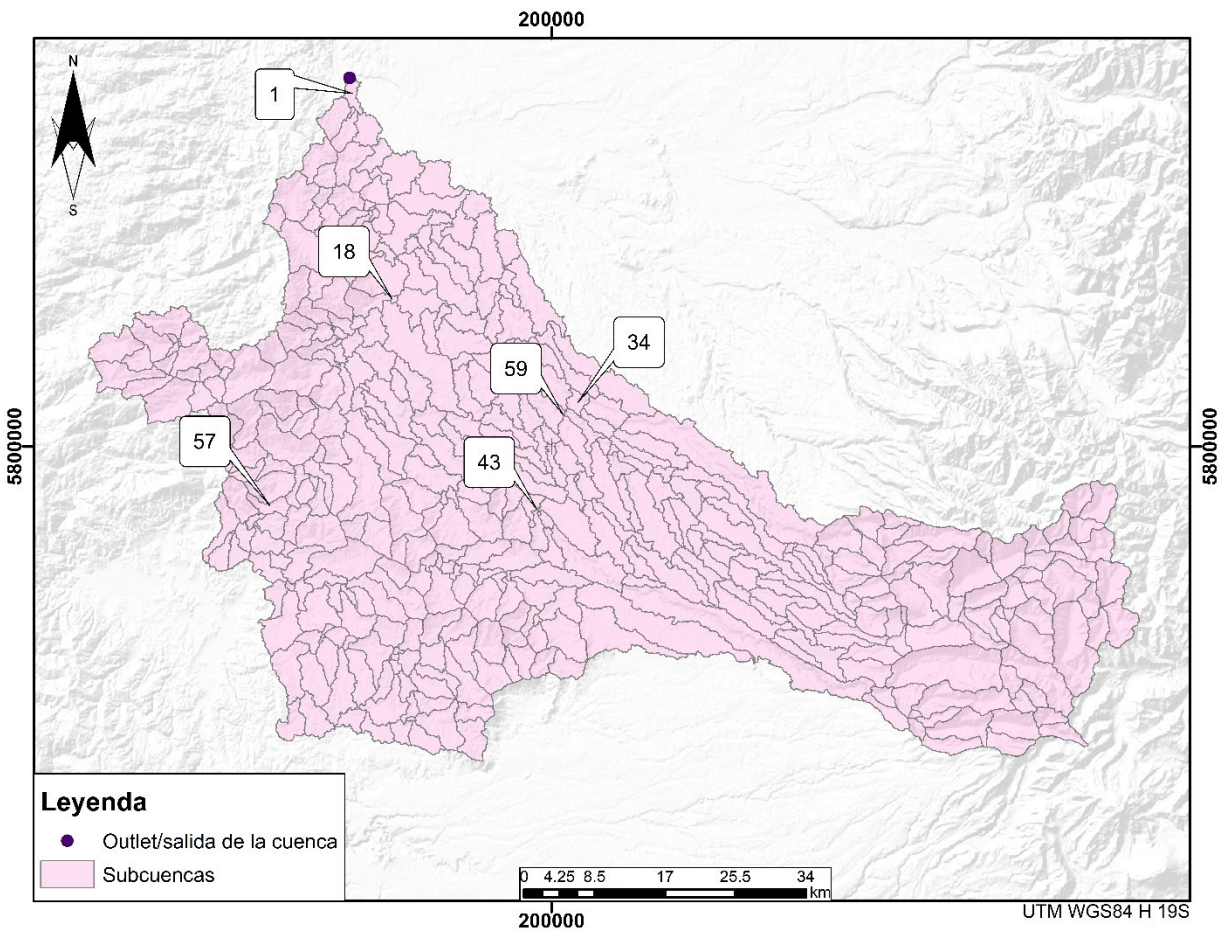


Figura N° 13: Subcuencas generadas por el modelo para la cuenca del río Vergara

Fuente: Elaboración propia mediante QSWAT

La Figura N° 14 muestra la serie de caudales simulados y observados para la estación Río Vergara en Tijeral (subcuenca 18). Gráficamente es uno de los puntos de control con mejor ajuste y de mayor relevancia, puesto que es la que reporta mayores caudales, ya que tributan las aguas de las de las subcuencas 43 y 57 y las que se encuentran aguas arriba de estas. Se destaca también que el modelo tiene problemas en simular los

caudales inusualmente altos. Esta es una conducta similar a lo observado en otros estudios en cuencas chilenas, por ejemplo, en Stehr et al (2008), donde se indica que típicamente los caudales extremos no son bien representados por el modelo.

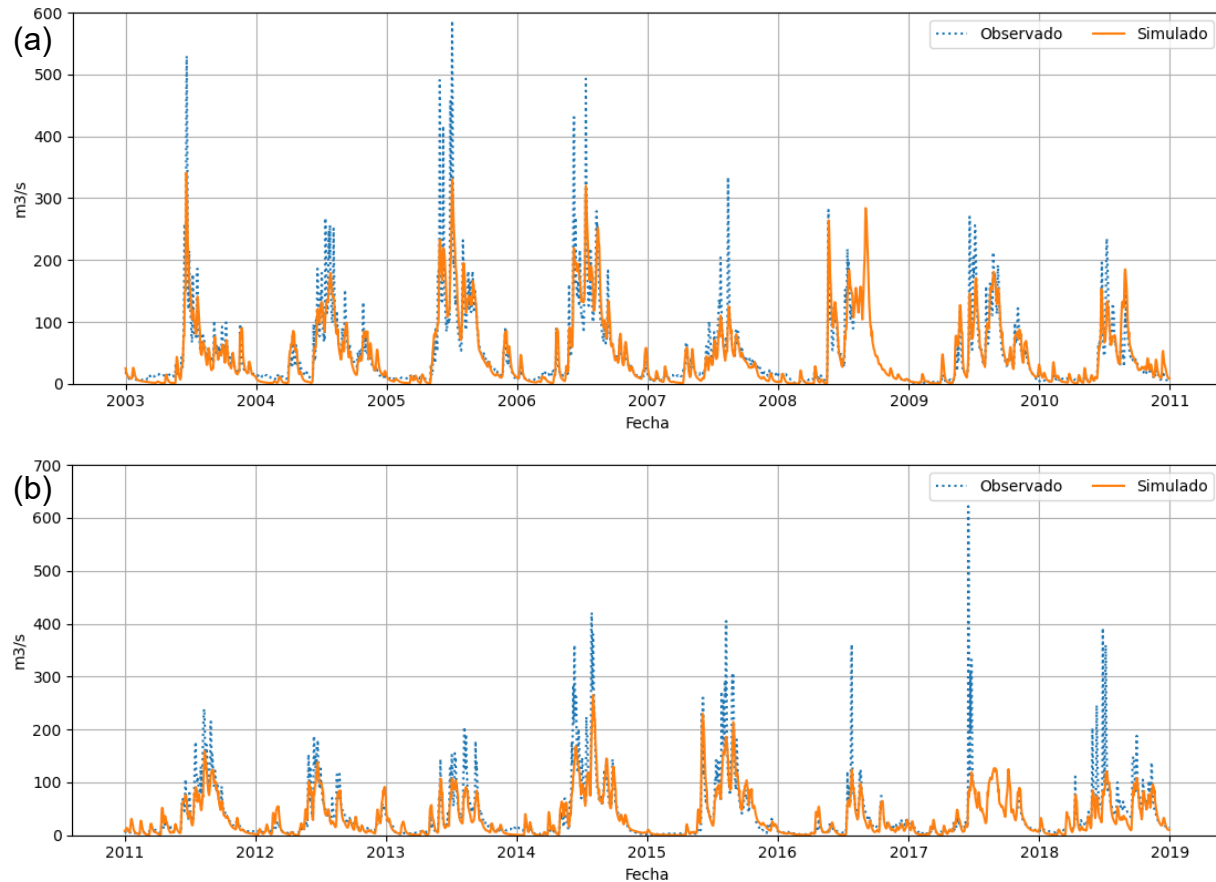


Figura N° 14: Caudales diarios observados y simulados río Vergara en Tijeral, para a) calibración y b) validación.

Fuente: Elaboración propia.

Una tendencia similar se observa en las demás series de caudales donde también se puede destacar que para todos los casos se registró una baja en los caudales durante el período de validación. De manera particular, para los tramos Río Malleco en Collipulli (Figura N° 15) y Río Mininco en Longitudinal (Figura N° 18) esta reducción de caudales facilitó el ajuste del modelo, ya que redujo considerablemente el número de caudales extremos registrados, observando deltas mucho más bajos entre los valores observados y simulados en los periodos de crecidas durante la validación, lo que se tradujo en un mejor ajuste en la validación.

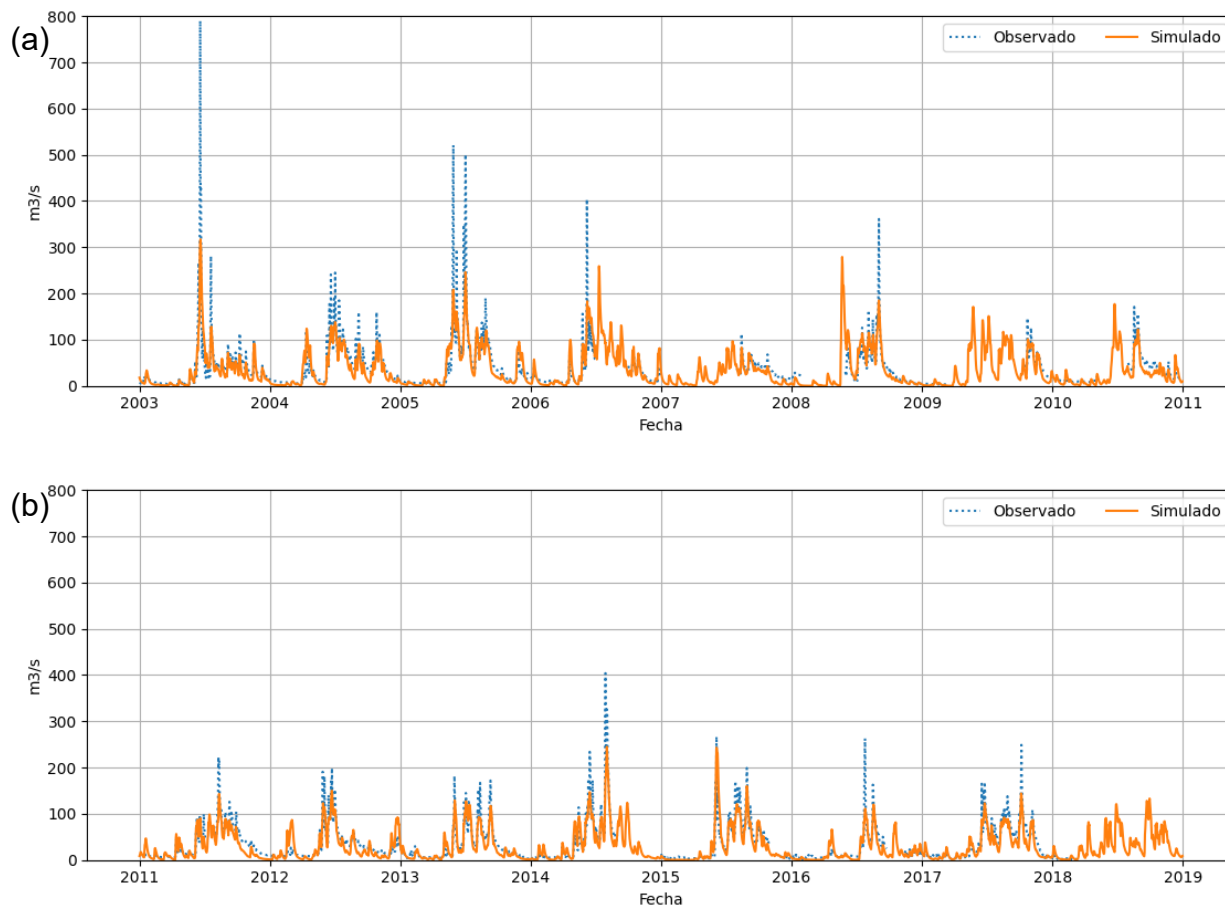


Figura N° 15: Caudales diarios observados y simulados Río Renaico en Longitudinal, para a) calibración y b) validación.
 Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la serie correspondiente a la subcuenca 43, donde se ubica la estación “Río Malleco en Collipulli” (Figura N° 16) el ajuste es muy similar para ambos periodos, ya que tanto en la calibración como la validación quedaron varios registros extremos sin ser cubiertos por la simulación, destacando que la mayoría corresponden a caudales que se encuentran sobre los 100m³/s en la validación. Esto se ve reflejado en el desempeño estadístico conseguido por el modelo para este tramo de control, en la Tabla N° 19.

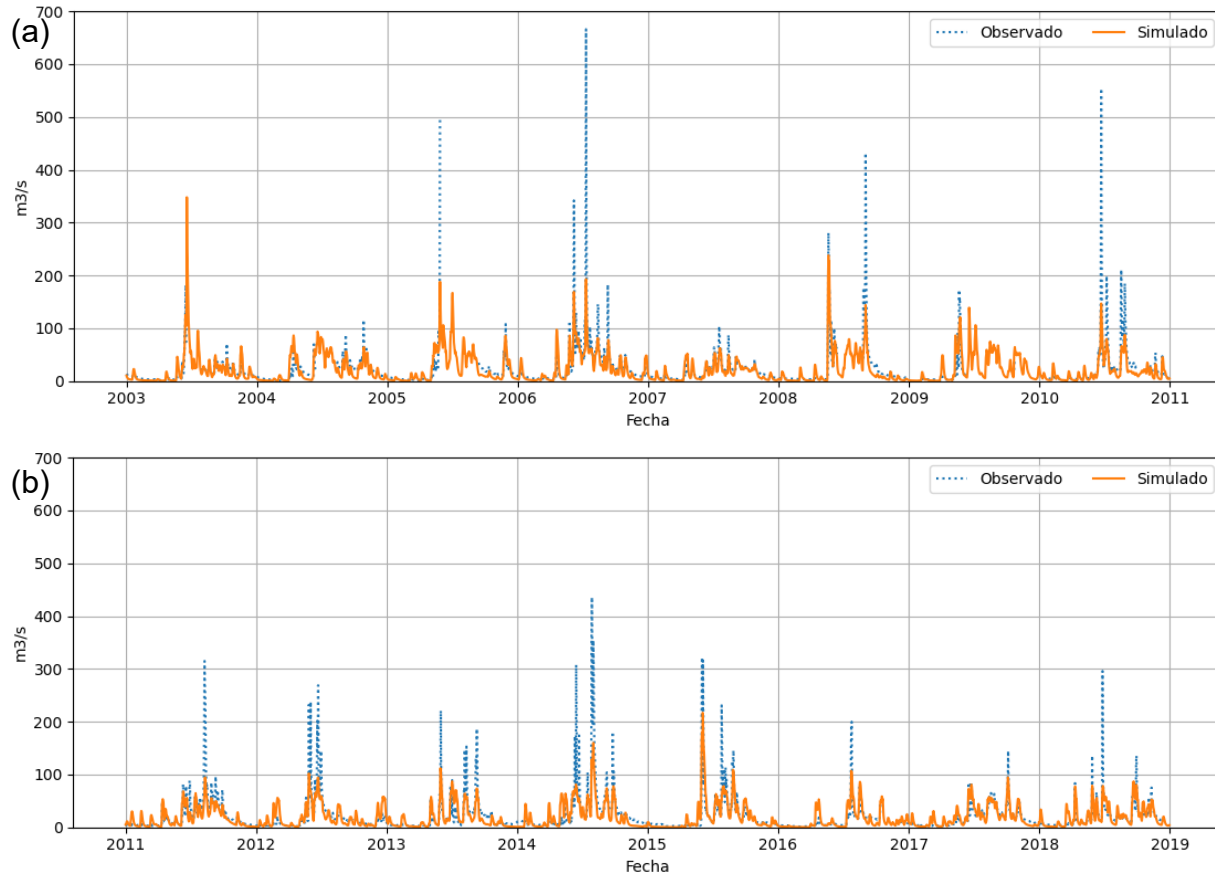


Figura N° 16: Caudales diarios observados y simulados Río Malleco en Collipulli, para a) calibración y b) validación.

Fuente: Elaboración propia.

La serie Río Rehue en quebrada Culén (Figura N° 17) es la serie que registra los menores caudales en la cuenca, siempre de un orden bajo los $80\text{m}^3/\text{s}$. Es la única serie en que se evidencia de manera grafica un peor ajuste en el periodo de validación respecto al obtenido en la calibración, esto porque en los últimos años de la validación, mediados de 2016 a fines de 2018, el modelo no se logra ajustar adecuadamente subestimando los caudales modelados una vez transcurrido el otoño, teniendo también repercusiones en el desempeño estadístico de la validación de esta serie en la Tabla N° 19.

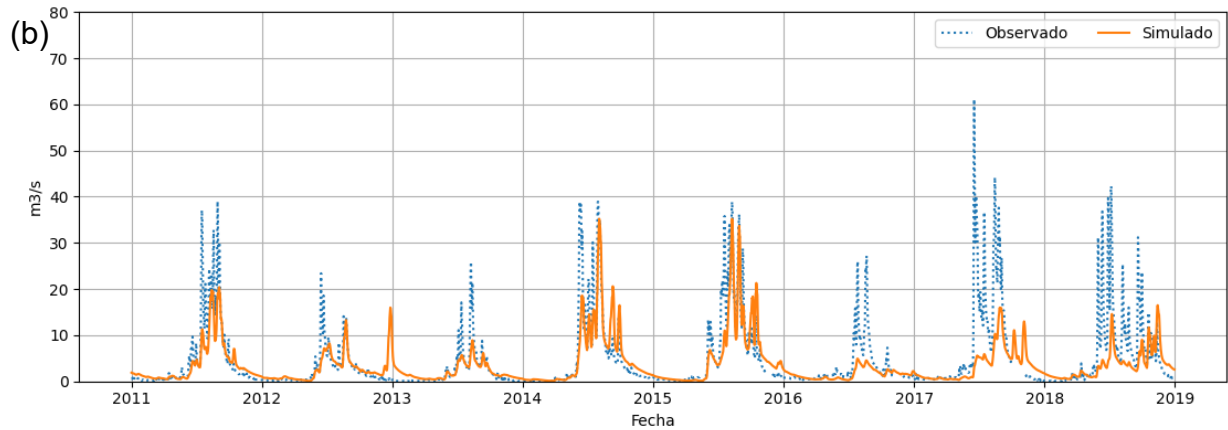
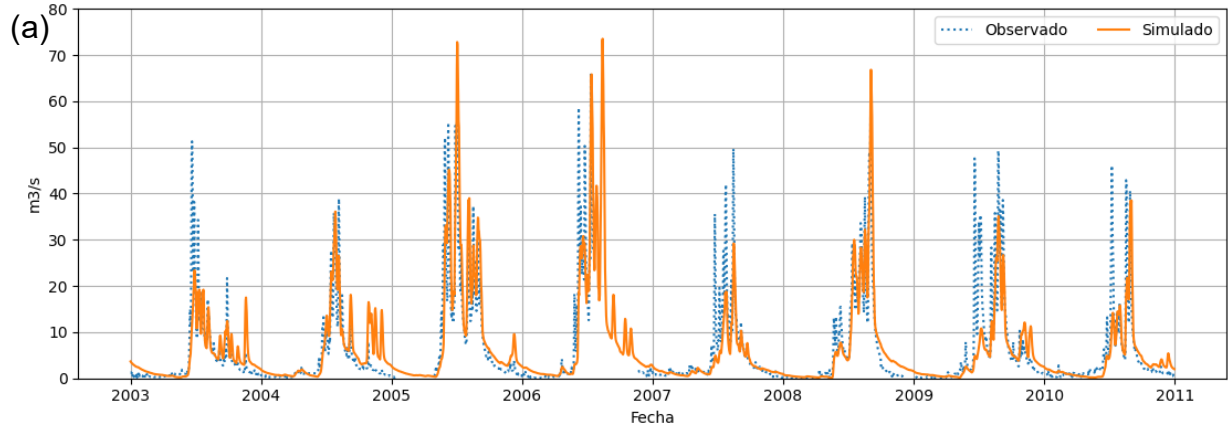
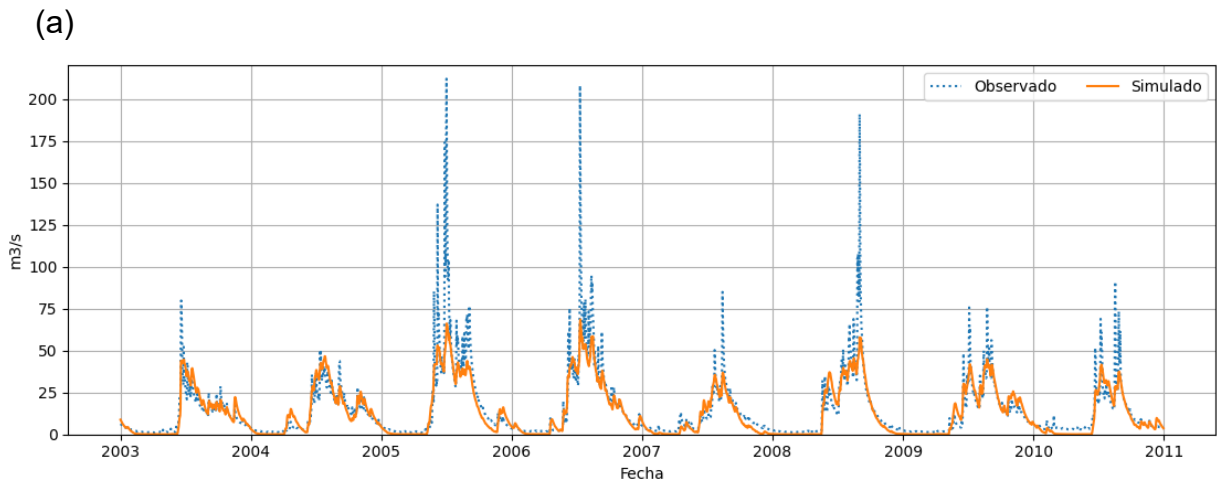


Figura N° 17: Caudales diarios observados y simulados Río Rehue en quebrada Culén, para a) calibración y b) validación.
 Fuente: Elaboración propia.



(b)

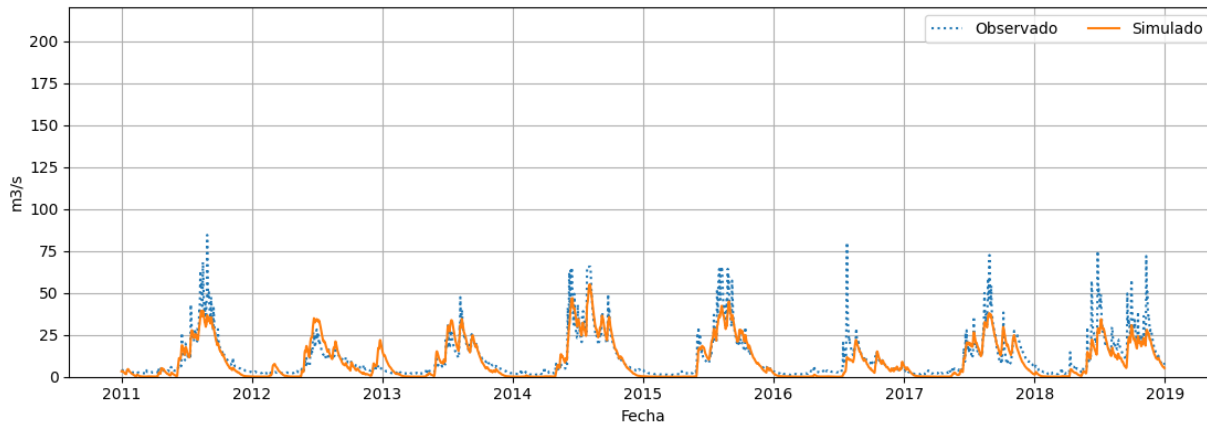


Figura N° 18: Caudales diarios observados y simulados Río Mininco en Longitudinal, para a) calibración y b) validación.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla N° 19 muestra el desempeño del modelo en base a la evaluación mediante los indicadores estadísticos. Siguiendo los lineamientos de Moriasi et al (2015), para R^2 desempeño fue Bueno en todas las subcuencas, salvo en la calibración de la subcuenca 43 y en la validación de las subcuencas 43 y 57, donde se obtuvo valores Satisfactorios. Para NSE se replica la misma tendencia, con la excepción de que además se obtuvieron resultados Muy buenos en la calibración de la subcuenca 18 y la validación de la 57. Con PBIAS se obtuvieron resultados Satisfactorios en todas las subcuencas, salvo para la calibración de la subcuenca 18 (Muy bueno) y la validación de la subcuenca 43 (Bueno).

Tabla N° 20: Valor de indicadores estadísticos calibración y validación de caudales

Estación [subcuenca]	Calibración			Validación		
	R^2	NSE	PBIAS	R^2	NSE	PBIAS
Río Renaico en Longitudinal [34]	0.74	0.73	11.6	0.79	0.78	11.6
Río Malleco en Collipulli [43]	0.61	0.6	13.5	0.6	0.59	6
Río Rehue en quebrada Culén [57]	0.8	0.76	-14.5	0.62	0.61	12.1
Río Mininco en Longitudinal [59]	0.79	0.78	10	0.83	0.82	12.9
Río Vergara en Tijeral [18]	0.83	0.82	0.4	0.76	0.75	12.4

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al análisis de sensibilidad, a nivel global los parámetros más sensibles fueron el de capacidad de agua en el suelo (SOL_AWC), la profundidad de agua en el acuífero superficial (GWQMN) y el de desfase o retardo en el agua subterránea (GW_DELAY), aunque se presentaron variaciones por cada subcuenca. Las subcuencas 34 y 43 fueron sensibles a los parámetros de nieve, como la temperatura de caída de nieve (SFTMP),

seguido por SOL_AWC y el factor de flujo base (ALPHA_BF) en el caso de la 43. Para la subcuenca 34 fueron de gran sensibilidad los parámetros SOL_AWC, el curva número (CN2) y los de agua subterránea (GWQMN, REVAPMN y GW_DELAY). La subcuenca 59 también fue muy sensible a SOL_AWC, mientras que la subcuenca 57 mostró gran sensibilidad ante las modificaciones de los parámetros GW_DELAY, GWQMN y el parámetro de conductividad hidráulica saturada (SOL_K). El ajuste de valores realizado para cada parámetro y subcuenca se encuentra detallado en la Tabla N° 20.

Tabla N° 21: Valor ajustado de parámetros para calibración de caudal

Parámetro	Método*	Rango inicial	Valor calibrado por subcuenca (Sub)				
			Sub-18	Sub-34	Sub-43	Sub-57	Sub-59
SFTMP	v	(-10) - 10	2.002734				
SMTMP	v	(-10) - 10	2.540641				
TIMP	v	0 - 1	0.656242				
SMFMX	v	0 - 10	1.936367				
SMFMN	v	0 - 10	4.558867				
ALPHA_BF	v	0.008 - 0.87	0.201798	0.459108	0.687339	0.436999	0.798294
GW_DELAY	v	5.68 - 94	29.924351	47.638214	1.353302	2.949114	32.727825
GWQMN	v	3.75 - 1000	594.835999	411.642578	458.008545	710.182312	-
GW_REVAP	v	0.02 - 0.178	0.229654	0.173651	0.016319	0.219128	0.126288
RCHRG_DP	v	0.0165 - 0.97	-	0.023099	-	-	0.003668
REVAPMN	v	0 - 750	590.713013	748.883606	148.464264	352.830505	-
ESCO	v	0.044 - 0.99	0.142987	-	0.790297	0.097317	0.547477
EPCO	v	0.14875 - 1	0.555396	-	-	-	-
SLSUBBSN	r	0.86 - 121.95	-	0.212713	-	-	-
HRU_SLP	r	(-0.2) - 0.2	-	-0.015851	-	-	-
CN2	r	(-0.25) - 0.25	-0.564761	-0.497681	-0.579564	-0.589144	-0.477571
SOL_K	r	0.21 - 266.8	-0.492727	-0.246504	-0.778995	0.62451	0.048088
SOL_AWC	r	0 - 0.44	0.861259	0.736	-0.982421	0.91156	0.827489

*(v) indica un reemplazo de valor original del parámetro por el valor indicado "α"; (r) indica un cambio relativo multiplicando el valor original por "(1+ α)".

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Sedimentos

La calibración de sedimentos (SS) se realizó en la ubicación correspondiente a la subcuenca 18. El modelo SWAT fue calibrado utilizando 12 parámetros, en el que los parámetros más sensibles fueron el factor de erodabilidad de canal (CH_ERODMO), la conductividad hidráulica efectiva de canal (CH_K2) y el valor "n" de Manning para el

canal principal (CH_N2). En tanto, el factor de práctica de manejo de la erosión (P_USLE), parámetro que puede influir en la calibración de sedimentos, se estableció en su valor por defecto 1, para ser consecuentes con el supuesto de que no se están aplicando prácticas de conservación o manejo en la cuenca. En la Tabla N° 21 se detalla el ajuste de parámetros realizado para la calibración de sedimentos y desempeño estadístico del modelo se detalla en la Tabla N° 22.

Tabla N° 22: Valor ajustado de parámetros para calibración de sedimentos

Parámetro	Método	Rango inicial	Valor calibrado
CH_ERODMO	v	0.05 - 0.6	0.09872
CH_COV2	v	-0.001 - 1	0.91927
CH_COV1	v	-0.05 - 0.6	0.362353
CH_N2	v	-0.01 - 0.3	0.071341
PRF_BSN	v	0 - 2	1.292537
CH_K2	v	-0.01 - 500	4.796126
ALPHA_BNK	v	0 - 1	0.585449
SPEXP	v	1 - 2	1.040184
SPCON	v	0.0001 - 0.01	0.007485
ADJ_PKR	v	0.5 - 2	0.811768
USLE_C{16}	r	0.001 - 0.5	0.284603
HRU_SLP	r	0 - 0.6	0.295469

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 23: Valor de indicadores estadísticos calibración y validación de sedimentos

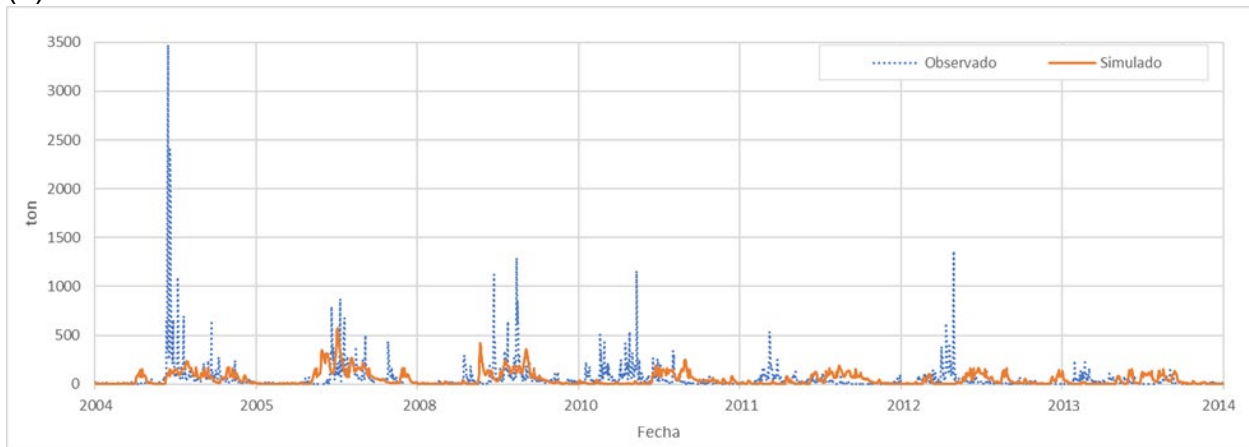
Estación [subcuenca]	Calibración			Validación		
	R²	NSE	PBIAS	R²	NSE	PBIAS
Río Vergara en Tijeral [18]	0.17	0.09	-9.1	0	-0.34	-1.8

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron valores Muy buenos para PBIAS, tanto para la calibración como la validación, y resultados Insatisfactorios para R² y NSE, obteniendo incluso valores negativos en la validación de este último. Cuando esto sucede, significa que la media de los datos observados es un mejor predictor del modelo, lo cual guarda relación con los excelentes resultados obtenidos para PBIAS, estadístico estrechamente vinculado a la media. En otras palabras, lo anterior se puede expresar en que el modelo está estimando bien la cantidad de sedimentos producidos, mas no el comportamiento estacional que estos tienen en la cuenca. Este desfase se hace mucho más evidente al observar la Figura N° 19, que describe el flujo másico de sedimentos observados y simulados por el modelo a la salida de la subcuenca 18. A diferencia de los nutrientes, el seguimiento de sedimentos en la cuenca es bueno en términos de continuidad temporal, por lo que esta situación puede derivarse de diversos factores relacionados con la incertidumbre. Entre ellos se incluyen: 1) La incertidumbre en los datos relativos a los usos del suelo que se incorporan en las bases de datos del modelo y 2) La falta de información acerca de la cobertura vegetal de las parcelas agrícolas y su manejo. Es importante tener en cuenta

que las variaciones en las rotaciones de cultivos ejercen una influencia significativa en el transporte de sedimentos, el rendimiento de los cultivos y, por ende, en los ciclos de nutrientes. Además, es preciso señalar que las simulaciones del modelo SWAT también se ven considerablemente afectadas por los datos de entrada relacionados con las rotaciones de cultivos (Engelbrechtsen et al., 2019). Este aspecto es abordado con mayor detalle en la sección discusión.

(a)



(b)

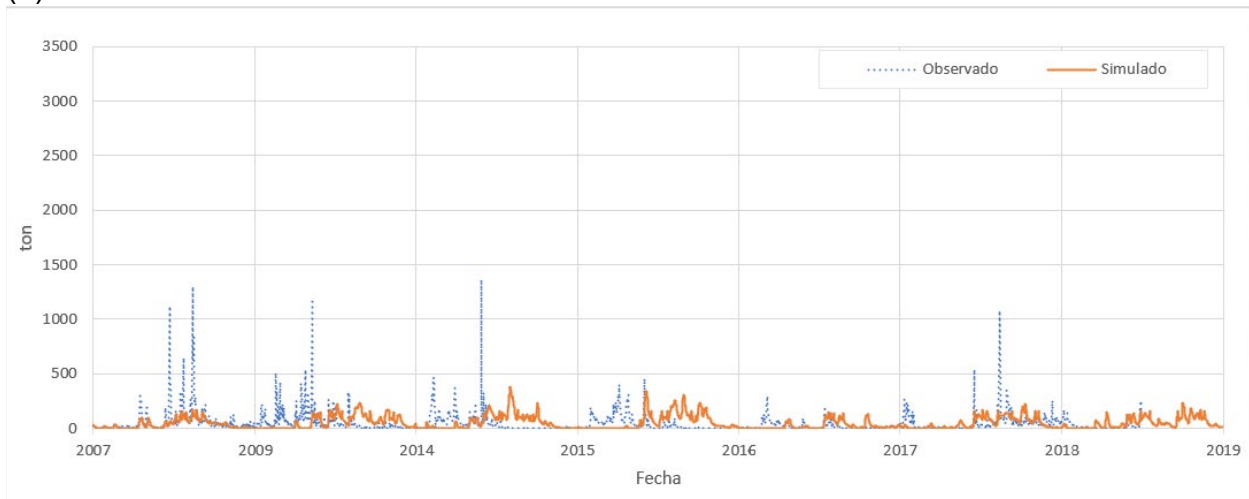


Figura N° 19: Sedimentos diarios observados y simulados río Vergara en Tijeral, para a) calibración y b) validación.

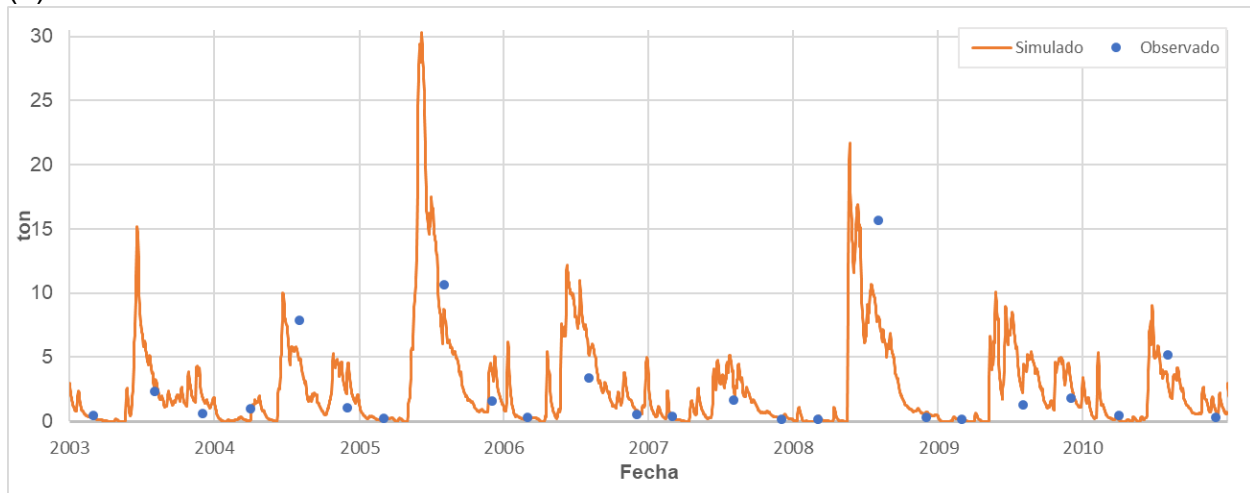
Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Nitrógeno total

La calibración de nitrógeno total (NT) se realizó a la salida de cuenca, en la subcuenca 1. Sin embargo, los datos disponibles para este proceso fueron sumamente limitados, ya que se contaba solamente con tres registros observados por año para llevar a cabo la calibración y validación del modelo, así como la evaluación del desempeño. Este aspecto se aborda en detalle en la sección de discusión. Es relevante mencionar que las salidas

de NT generadas por el modelo SWAT están expresadas en kilogramos, aunque para mejorar su comprensión visual, en la Figura N° 19 se presentaron en toneladas.

(a)



(b)

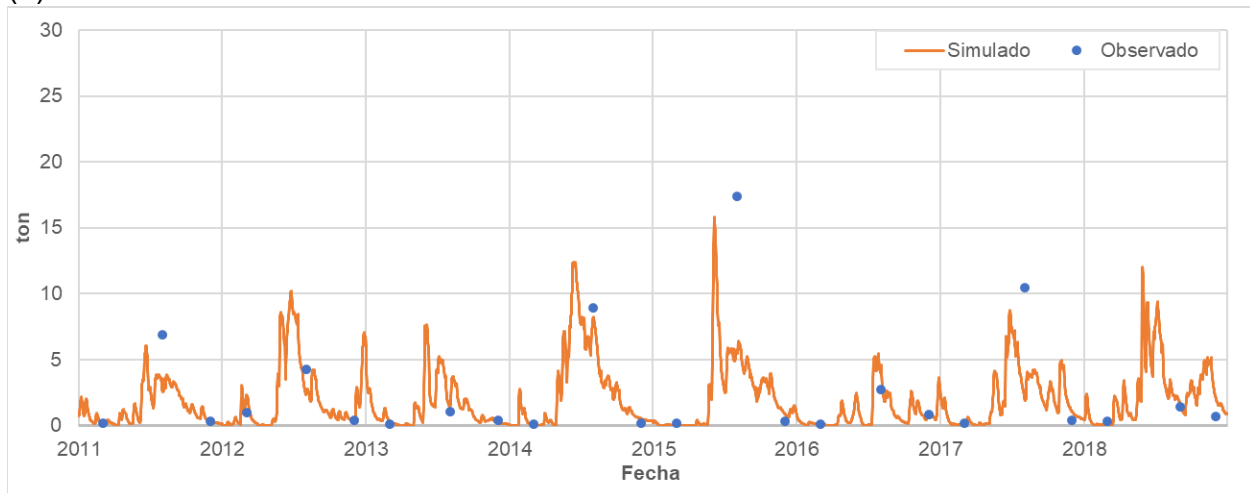


Figura N° 20: NT observado y simulado a la salida de la cuenca, para a) calibración y b) validación.

Fuente: Elaboración propia.

SWAT fue calibrado para NT utilizando 9 parámetros, en los que los parámetros: el coeficiente de tasa exponencial de desnitrificación (CDN), la fracción de porosidad (espacio vacío) de la que están excluidos los aniones (ANION_EXCL), el umbral de contenido de agua para la desnitrificación (SDNCO), y el coeficiente de percolación de nitrógeno (NPERCO) fueron los más sensibles. En la Tabla N° 24 se describe el ajuste de parámetros realizado.

En términos de desempeño, en la etapa de calibración de NT el modelo logró un desempeño Muy bueno para los tres indicadores estadísticos, mientras que en la validación se obtuvieron valores Satisfactorio para R^2 y PBIAS, y un valor Bueno para NSE. En la Tabla N° 23 se detalla el desempeño estadístico del modelo.

Tabla N° 24: Valor de indicadores estadísticos calibración y validación para nitrógeno total

Estación [subcuenca]	Calibración			Validación		
	R ²	NSE	PBIAS	R ²	NSE	PBIAS
VE-10 [1]	0.75	0.73	-6.8	0.54	0.52	23.7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 25: Valor ajustado de parámetros para calibración de nitrógeno total

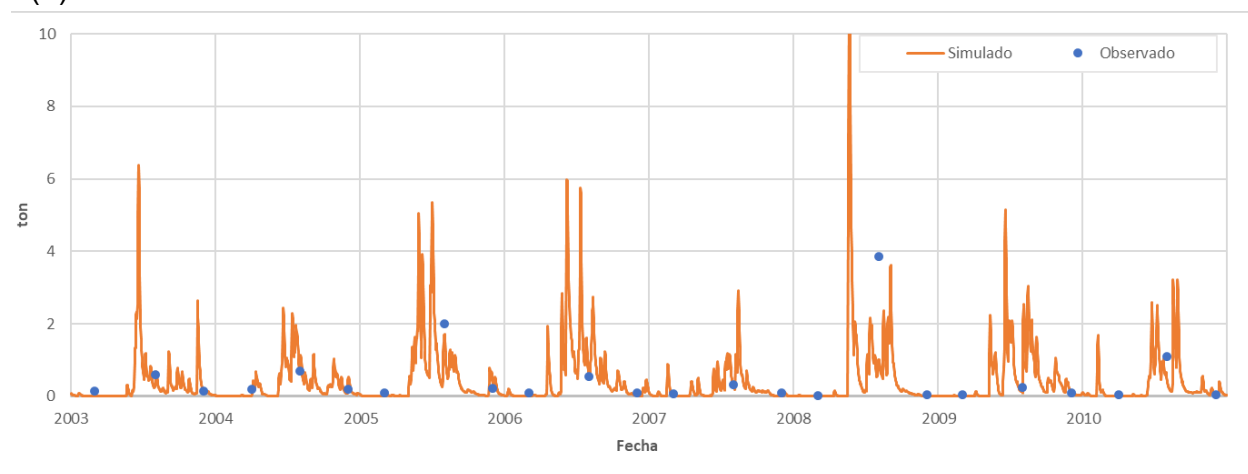
Parámetro	Rango inicial	Valor calibrado
CDN	0 - 3	0.289
SDNCO	0 - 1	0.924
RSDCO	0.02 - 0.1	0.0687
N_UPDIS	0 - 100	91.155
CMN	0.001 - 0.003	0.0017
NPERCO	0 - 1	0.0041
ANION_EXCL	0.01 - 1	0.9677
SOL_NO3	0 - 100	22.903
ERORGN	0 - 5	0.7032

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Fósforo total

La calibración de fósforo total (PT) se realizó a la salida de cuenca, en la subcuenca 1. La calidad de los datos observados es análoga a los recopilados en NT, ya que los registros fueron recopilados durante la misma instancia de medición. Se puede observar que el ajuste gráfico es bastante bueno (Figura N° 21), tanto para la calibración como la validación, pero siempre teniendo presente la baja disponibilidad de datos observados.

(a)



(b)

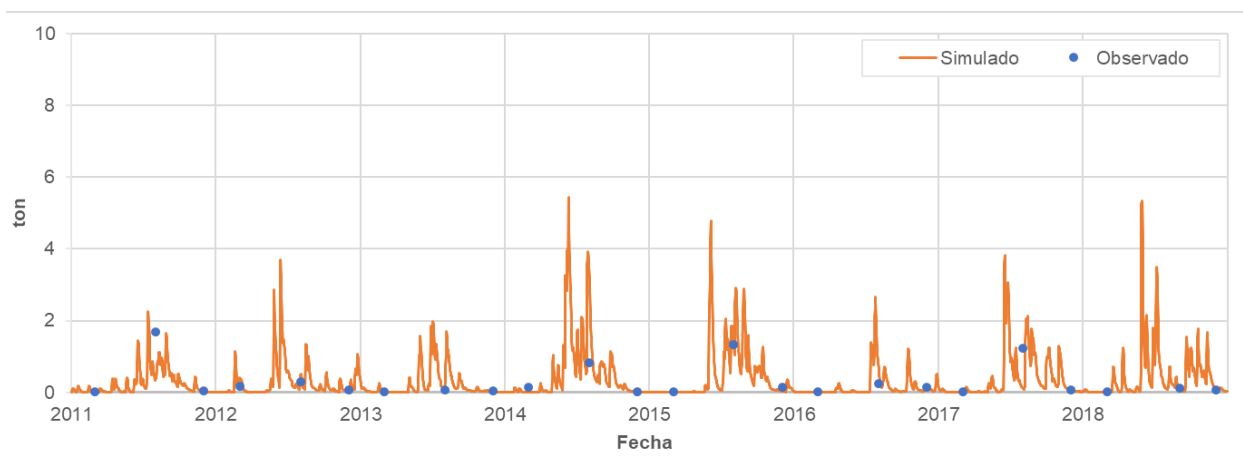


Figura N° 21: PT observado y simulado a la salida de la cuenca, para a) calibración y b) validación.

Fuente: Elaboración propia.

SWAT fue calibrado para PT utilizando 12 parámetros, entre los cuales, los parámetros: fósforo orgánico en el flujo de base (LAT_ORGP), concentración de fósforo soluble en el aporte de agua subterránea al flujo del canal (GWSOLP), proporción de enriquecimiento de P orgánico (ERORGP), parámetro de distribución de captación de fósforo (P_UPDIS) y coeficiente de partición de fósforo en el suelo (PHOSKD) fueron los más sensibles.

De manera similar a la calibración de NT, el fósforo total tuvo un desempeño Muy bueno en los tres indicadores estadísticos (NSE, PBIAS y R^2) durante la calibración, en tanto, para el periodo de validación el modelo obtuvo valores Satisfactorios para todos los indicadores. En la tabla Tabla N° 25 se muestra el detalle del desempeño del modelo, mientras en la Tabla N° 26 se detalla el ajuste realizado para cada parámetro.

Tabla N° 26: Valor de indicadores estadísticos calibración y validación para fósforo total

Estación [subcuenca]	Calibración			Validación		
	R^2	NSE	PBIAS	R^2	NSE	PBIAS
VE-10 [1]	0.78	0.69	-1.8	0.4	0.36	24.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 27: Valor ajustado de parámetros para calibración de fósforo total

Parámetro	Rango inicial	Valor calibrado
PHOSKD	100 - 200	147.860535
PPERCO	10 - 17.5	11.974609
P_UPDIS	0 - 100	11.553926
SÖL_ORGP	0 - 100	41.424015
PSP	0.01 - 0.7	0.400934
ERORGP	0 - 5	0.173561
RS5	0.001 - 0.1	0.068531
BC4	0.01 - 0.7	0.446699
SOL_SOLP	0 - 100	33.884766
RS2	0.001 - 0.1	0.090115
GWSOLP	0 - 1000	0.00533
CH_OPCO_BSN	0 - 100	34.673161
LAT_ORGP	0 - 200	0.010979

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Evaluación de la efectividad de las BMPs

En este estudio, se evaluaron varias prácticas de gestión con el modelo SWAT calibrado y validado en términos de su eficiencia en la reducción de la cantidad de sedimentos transportados y exportaciones de nutrientes. Los cambios en la cantidad de contaminantes se evaluaron a la salida de la cuenca. Para evaluar los resultados, los cambios en la cantidad de contaminantes se compararon con un escenario base que representa las prácticas actuales llevadas a cabo en la cuenca. Las BMP evaluadas incluyen la gestión de nutrientes mediante la reducción de las cantidades de fertilizantes, la creación de zonas buffer en riveras y grassed waterways en praderas y predios agrícolas. Se generan trece escenarios compuestos por varias BMP, donde los escenarios 1 al 9 incluyen aplicaciones individuales para cada una de las tres BMP seleccionadas y los escenarios 10 al 13 son la combinación de escenarios, que incluyen aplicaciones simultáneas de reducción de fertilización, zonas buffer y grassed waterways (detalle en Tabla N° 16). El modelo realizó una simulación de las BMPs indicadas para cada escenario durante el periodo de estudio y entregó un archivo de salida mensual con valores de SS, NT y PT que simulan la implementación de las BMPs sobre las condiciones base del modelo calibrado, el detalle mensual se encuentra disponible para su consulta en el Anexo K.

Para facilitar el análisis de esta salida, la Tabla N° 28 se presenta el valor medio anual calculado en términos másicos para cada escenario y componente de interés.

Tabla N° 28: Valores medios anuales de cargas de SS, PT y NT por escenario modelado

Escenario	SS (ton)	PT (kg)	N (kg)
Base	9.45E+04	1.86E+02	1.01E+03
E1	9.45E+04	1.81E+02	9.69E+02
E2	9.45E+04	1.76E+02	9.35E+02
E3	9.45E+04	1.72E+02	9.00E+02
E4	2.39E+04	1.75E+02	9.92E+02
E5	1.75E+04	1.71E+02	9.75E+02
E6	1.16E+04	1.68E+02	9.49E+02
E7	8.71E+04	9.04E+01	7.49E+02
E8	8.61E+04	7.82E+01	6.56E+02
E9	8.54E+04	6.86E+01	5.68E+02
E10	8.54E+04	6.71E+01	5.15E+02
E11	1.16E+04	1.55E+02	8.52E+02
E12	1.88E+03	5.71E+01	5.55E+02
E13	1.90E+03	5.57E+01	5.03E+02

Fuente: Elaboración propia.

Considerando dicha información, se calculó la efectividad por cada escenario, la cual se ilustra de manera separada para SS, NT y PT respectivamente.

5.3.1 Desempeño en la reducción de Sedimentos (SS)

Para SS (Figura N° 22) los primeros tres escenarios, E1, E2 y E3, no presentaron un impacto significativo en la reducción de sedimentos, puesto que se aplicó la BMP de reducción de fertilizantes (FC) y esta no tiene un impacto directo en la producción de sedimentos. Los escenarios E7, E8, y E9, basados en la BMP de zonas de amortiguación con vegetación en las riberas (VFS), alcanzaron una efectividad de 7.83%, 8.83%, y 9.61% respectivamente, aumentando esta efectividad a la par con el aumento en el grosor de la zona filtrante simulada. Los escenarios E4, E5 y E6, basados en grassed waterways (GW) fueron los que presentaron mayor efectividad reducir SS, alcanzando valores de 74,70%, 81.44% y 87.67%, respectivamente. Estos resultados se extrapolan a los escenarios combinados, donde justamente, aquellos que incluyen la implementación de GW, como E11, E12 y E13, fueron los que demostraron los mejores desempeños para la reducción de SS, con efectividades de 87.67%, 98.01% y 97.99% respectivamente.

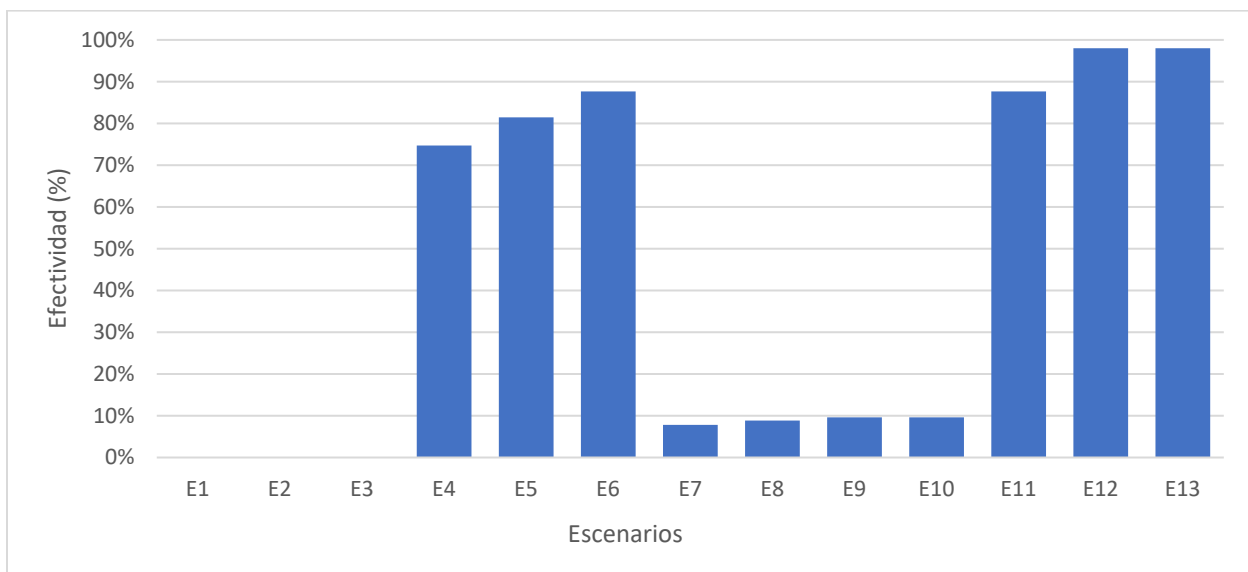


Figura N° 22: Desempeño en la reducción de SS de cada escenario respecto al escenario Base
Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Desempeño en la reducción de Nitrógeno total (NT)

Las BMPs contribuyeron a la reducción de NT en todas las simulaciones realizadas (Figura N° 23). Mediante la aplicación de FC, al reducir en un 10% la aplicación de fertilizantes (E1) se logró reducir en un 3.59% el NT a la salida de la cuenca, para una reducción de 20% (E2) se logró una disminución de 7.01% del NT y reduciendo en un 30% la aplicación de fertilizantes, se consiguió una efectividad de 10.47% a la salida de la cuenca. La implementación de GW registró la menor efectividad entre las BMPs simuladas, alcanzando efectividades de tan solo 1.33%, 3.03% y 5.53%, para los escenarios E4, E5 y E6, respectivamente. VFS, por otro lado, encabeza la lista en lo que respecta a la disminución del NT, logrando una efectividad del 25.48% cuando se simuló con un ancho de 10 metros (E7), de 34.68% para un ancho de 15 metros (E8) y de 43.51% para un ancho de 20 metros (E9). Esto repercute en los escenarios combinatorios, donde los que incluyen las VFS (E10, E12) registraron efectividades de 48.75%, 44.82%, respectivamente y el E13, donde se combinan E3, E6 y E9, alcanzó una efectividad de 49.90%.

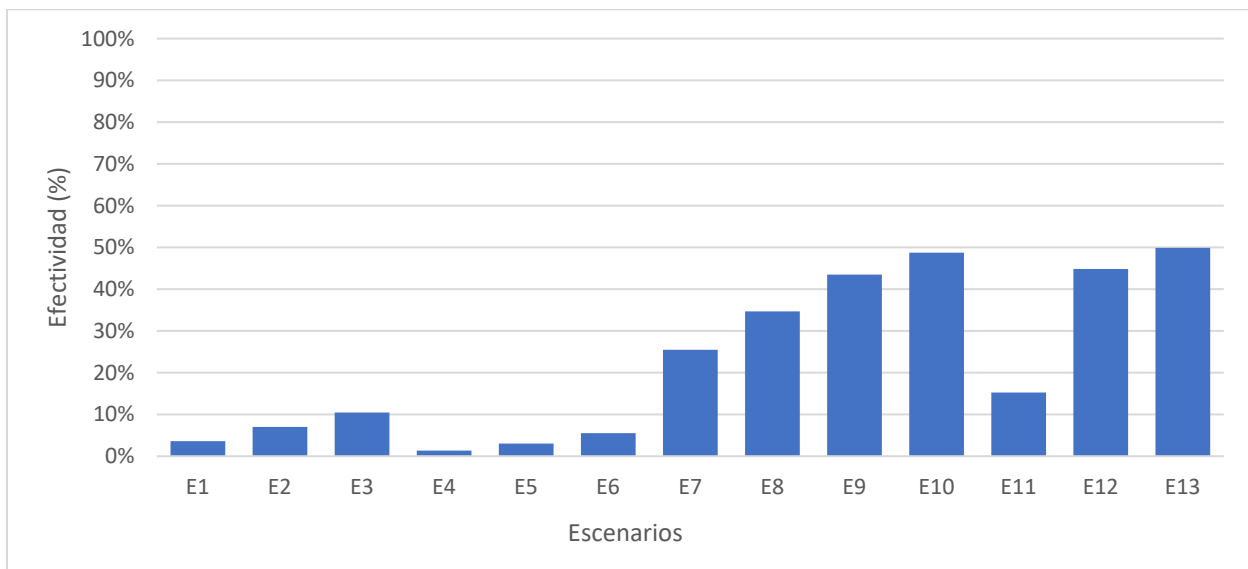


Figura N° 23: Desempeño en la reducción de NT de cada escenario respecto al escenario Base
Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 Desempeño en la reducción de Fósforo total (PT)

Al igual que para NT, las BMPs contribuyeron a la reducción de PT en todas las simulaciones realizadas (Figura N° 24), pero con algunas diferencias. La aplicación de FC en este caso registró las menores efectividades; al reducir en un 10% la aplicación de fertilizantes (E1) se logró reducir en un 2.75% el PT a la salida de la cuenca, para una reducción de 20% (E2) se logró una disminución de 5.20% del PT, y reduciendo en un 30% la aplicación de fertilizantes, se consiguió una efectividad de 7.65% a la salida de la cuenca. La implementación de GW registró una efectividad también significativa, de 6.02%, 7.82% y 9.57%, para los escenarios E4, E5 y E6, respectivamente. La implementación de VFS, nuevamente encabezó los niveles de efectividad, logrando registros de 51.38% cuando se simuló considerando un ancho de 10 metros (E7), 57.94% cuando se utilizó un ancho de 15 metros (E8) y 63.08% cuando se utilizó un ancho de 20 metros (E9). Esto también repercutió en los escenarios combinatorios, que incluyeron la VFS de 20 metros, como E10 y E12, los cuales registraron efectividades de 63.91%, 69.27%, respectivamente, además del E13, donde al combinar E3, E6 y E9 se alcanzó una efectividad de 70.05%.

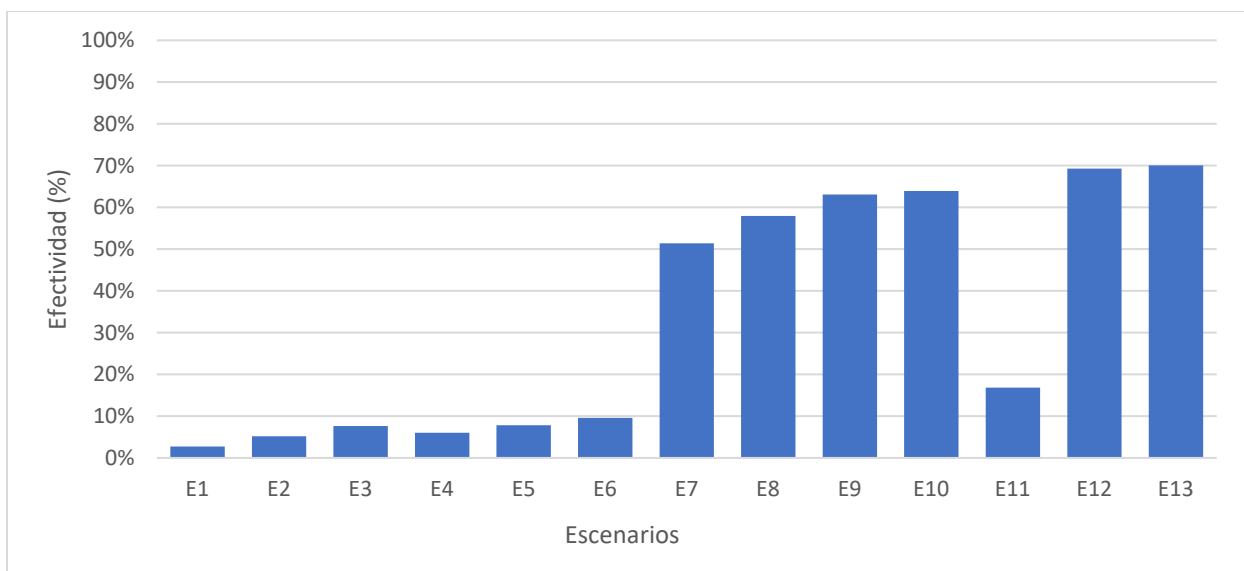


Figura N° 24: Desempeño en la reducción de PT de cada escenario respecto al escenario Base
Fuente: Elaboración propia.

6 Discusión

La estructuración de las fichas bibliográficas permitió una visión completa y sistemática de la información recopilada, facilitando el análisis y la interpretación de los datos. Asimismo, también permitió identificar patrones y tendencias en cuanto a la efectividad de las BMPs en la reducción de sedimentos y la mejora de la calidad del agua en diferentes áreas de estudio.

La distribución geográfica de las investigaciones en modelación de Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) a nivel global da cuenta del interés que presentan los diversos estados por resolver la problemática de la contaminación difusa proveniente de actividades agropecuarias que, en países de Asia, África y Europa, está siendo debidamente abordado. Sin embargo, es importante destacar que, en el caso de América Latina, este enfoque está comenzando a desarrollarse. Esta información resalta la importancia de fomentar la investigación en América Latina y, más específicamente, en Chile, ya que su representación en la literatura científica puede tener implicancias significativas en la toma de decisiones y la gestión sostenible del recurso hídrico. Esto es especialmente relevante en las regiones de Biobío y La Araucanía, que desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de la industria agrícola nacional.

En el proceso de selección de las BMPs a aplicar, es esencial considerar ciertos factores que son clave. Estos factores incluyen la política regional vigente, el método de labranza empleado, las características climáticas específicas de la región y la perspectiva aportada por agricultores y técnicos locales. Para obtener una selección informada, en otros estudios como Wei et al. (2017) se solicitó la opinión de agricultores y expertos locales con respecto a 8 BMPs que son comúnmente adoptadas en el modelo SWAT. Sin embargo, en el presente estudio, no fue posible seguir esta estrategia debido a restricciones logísticas y económicas, como la disponibilidad limitada de tiempo y recursos, así como la extensa área de estudio involucrada. La participación de estos actores clave en el proceso de selección ha reforzado la pertinencia y la disposición a adoptar las prácticas escogidas, demostrando ser fundamental para el éxito y la sostenibilidad de las BMPs en los casos de estudio que se ha aplicado.

Respecto a la efectividad BMPs, la GW registró individualmente el mejor desempeño en la reducción de sedimentos a la salida de la cuenca a nivel general. El grado de efectividad alcanzado, de 74.70% en el escenario que contempla condiciones de pasto pobres y 86.77% en condiciones óptimas, puede considerarse inusualmente alto si se compara con el valor 42.8%, correspondiente a la media de los estudios analizados. En estudios como el de Makarewicz et al. (2015) y Merriman et al. (2019) se reportaron valores de efectividad desde el 75% con esta BMP, sin embargo, se debe destacar que ambos casos corresponden a cuencas de estudio de menos de 700km² y con amplio porcentaje de superficie agrícola, por lo tanto, al tratarse de una cuenca de 4265 km² como la del río Vergara, es más probable que los valores reportados se hayan visto afectadas por la incertidumbre asociada a la disponibilidad de datos en la calibración y

validación de sedimentos y nutrientes. A pesar de lo anterior, la efectividad de las GW para reducir los niveles de sedimentos por sobre otras BMPs, como la VFS, sí es un aspecto característico de esta, siendo consistente en este punto con estudios como Almendinger & Ulrich (2017), donde se explica que esta diferencia puede ser atribuida al área de aplicación de la BMP, puesto que a diferencia de VFS, que se aplica solo riberas, las GW son corredores de pasto que se construyen dentro del predio agrícola, sobre la línea continua más profunda de un valle por donde podría fluir el agua ante un evento de precipitación. Debido a que las GW pueden atrapar contaminantes que ingresan tanto del flujo lateral (como las VFS) como del flujo concentrado que corre longitudinalmente, las reducciones de contaminantes de las GW pueden superar a las de las VFS, haciendo más efectiva esta BMP.

La VFS de 20 metros registró individualmente la mayor efectividad para la reducción de TP y TN a la salida de la cuenca, alcanzando valores de 63.08% y 43.51% respectivamente; destacando, además, que en todos los escenarios existió una mayor tasa de reducción de TP en comparación con TN bajo el mismo ancho. Esto puede deberse a dos factores; el primero, que el TN es el compuesto dominante de los fertilizantes en el área de estudio, y el segundo; que la contaminación basada en N se transporta típicamente por lixiviación y aguas subterráneas en la cuenca, mientras que la contaminación basada en P se transporta principalmente por erosión y sedimentos desde pendientes empinadas (Jamshidi et al., 2020). Como el mecanismo que utiliza la VFS es principalmente la intercepción física, mediante uso de plantas, transformación microbiana y adsorción del suelo, resulta consistente que exista una mayor retención de fósforo soluble que de nitrógeno soluble mediante la aplicación esta BMP en el área de estudio.

Si bien la efectividad de la FC no destacó para ningún nutriente en particular fue consistente. En términos comparativos la FC obtuvo en todos los escenarios una menor efectividad en la reducción de PT respecto a la de NT, siendo de 2.75% y 3.59% respectivamente, para una reducción del 10% del fertilizante, y de 7.65% y 10.47%, para una reducción del 30% del fertilizante, respectivamente. Esto se debe a que la FC es una BMP no estructural, por lo que reduce el PT y NT desde la fuente, y en relación a la fuente de origen, es posible identificar que la composición de fertilizantes fosforados es mucho menor, en términos de composición y aplicación de fertilizantes nitrogenados en el área de estudio (anexo F), por lo cual, el resultado es coherente con el contexto del manejo agrícola existente en la cuenca del río Vergara.

El efecto de la incertidumbre en las simulaciones del modelo es importante a tener en cuenta, con el fin de obtener un marco confiable para la evaluación de los resultados del modelo, sobre todo cuando los resultados simulados deben facilitar la toma de decisiones con respecto a políticas, regulaciones y evaluaciones de programas de recursos hídricos. Si bien en la calibración de caudales se cuenta con una buena calidad de información, es términos espaciales y temporales, no sucede lo mismo con la información requerida para calibrar sedimentos y nutrientes.

Con los sedimentos, en primera instancia nos encontramos con incertidumbres al definir los usos de suelo y el manejo. En relación a la incertidumbre en los datos de uso de suelos ingresados en el modelo, es fundamental tener presente que estos datos representan un momento puntual, precisamente los años 2014 para la VIII región y 2015 para la IX región. Por consiguiente, no abarcan las condiciones previas ni los cambios posteriores a esa fecha. Para ilustrarlo con un ejemplo hipotético, estos datos no reflejan situaciones como la transformación de un terreno forestal en bosque nativo durante el período de 2003 a 2013, o viceversa. En una segunda instancia está presente la incertidumbre respecto a la cobertura vegetal y el manejo, así como se mencionó que las simulaciones del modelo SWAT son muy sensibles a los datos de entrada sobre rotaciones de cultivos, también se requiere información precisa sobre la cantidad y el momento de la aplicación de fertilizantes, así como el tipo y la fecha de labranza, y se compiló como entrada en el modelo SWAT. Las guías de INIA y ODEPA, utilizadas como referencia para el manejo de cultivos entregan información de carácter muy general y no están orientadas al caso a caso. Esto genera imprecisión al momento de modelar, ya que en lineamientos del tipo "plantación de x cultivo de marzo a mayo" con un rango de fechas de tres meses hace que pierda información relevante y esencial y se deba recurrir a supuestos para ordenar la información y poder seleccionar un día en concreto dentro de esos tres meses, en donde hipotéticamente se realizaría dicha acción, todo con el fin de incorporar el valor en un formato tan específico como el que solicita SWAT para llevar a cabo la modelación. Lo mismo sucede para los demás aspectos del manejo; no todos los años se planta lo mismo porque existen rotaciones en el caso de los cereales y el forraje, y aun tratándose del mismo cultivo, no en todos los predios se labra, se siembra, ni se fertiliza de la misma manera y/o en la misma fecha.

La falta de información pública respecto a la cobertura vegetal de los predios agrícolas y el manejo queda en evidencia cuando, el registro público georreferenciado más actualizado que existe, que incluye información que puede ser utilizada como entrada para el modelo, es el Censo agropecuario de 2007, lo que nuevamente, entrega información de la zona de estudio en un momento puntual, que por ejemplo, no considera las rotaciones de los cultivos, pasadas ni futuras, y la información se encuentra georreferenciada solo a escala comunal, no permitiendo distinguir qué es lo que está siendo cultivado en unidades territoriales más pequeñas, por ejemplo predios en cada comuna. Esta incertidumbre en el modelo afecta de manera notoria a la bondad de ajuste obtenida en la calibración y validación de sedimentos, evidenciable en los estadísticos R^2 y NSE que mostraron ser más sensibles a los desfases de las cargas. Mientras no exista una base de datos pública para centralizar esta información, la recomendación para futuros proyectos sería la de recopilar y centralizar la información del manejo agronómico disponible en los cuadernos de campo de los agricultores y ganaderos de la cuenca, considerando el respectivo el presupuesto que implica este trabajo en terreno.

Respecto a la disponibilidad de datos en mediciones de nutrientes, varios estudios han demostrado que el monitoreo de la calidad del agua con una frecuencia de muestreo mensual (o inferior como en este caso) es insuficiente y está asociado con una alta

incertidumbre en las estimaciones de carga resultantes (Johnes, 2007; Strauch et al., 2013; Ullrich & Volk, 2010; Vandenberghe et al., 2005). En otros estudios como Daneshvar et al. (2017), donde se contaba solo con 28 mediciones de SS y TP disponibles para un período de 1998 a 2005 se utilizó el modelo *LOADEST*, el cual es específico para los EE. UU., y realiza sus estimaciones en base a las series de caudales. En otros casos, como Engebretsen et al. (2019) los datos de monitoreo para TP y SS fueron recopilados por los investigadores cada dos semanas y más intensamente durante episodios de tormenta. Sin embargo, dadas las limitaciones logísticas y voluntades financieras, en el caso de estudio tampoco existen fuentes de monitoreo externas que cuenten con mediciones continuas o por lo menos quinquenales de los parámetros de calidad de agua en la cuenca.

Este trabajo busca ser un primer acercamiento a lo que es la modelación de BMPs en una cuenca predominantemente rural del sur de Chile, permitiendo mostrar las potencialidades de aplicación que puede tener un modelo como este para la mejora de la calidad de agua mediante el control de fuentes de contaminación agrícola difusa. Sin embargo, dada la incertidumbre presente debido a la disponibilidad limitada de datos para los procesos de calibración y validación de nutrientes, así como del manejo de los cultivos en la cuenca del río Vergara, se recomienda tomar con cautela los valores de efectividad proporcionados por el modelo.

La aplicación de un plan de gestión adecuado y viable para una cuenca hidrográfica concreta es necesaria para controlar el transporte y la contaminación de fuentes no puntuales en los cuerpos de agua. En base a las efectividades reportadas en este trabajo, la combinación de BMPs propuesta pretende tener buenos resultados en el área de estudio y puede ser recomendable también para cuencas que muestran características topográficas, de procesos hidrológicos, características de LULC (Uso y cobertura del suelo) y meteorológicas similares a las del área de estudio.

7 Referencias

Abbaspour, K.C. (Junio 17, 2020) SWATCUP “How to do” (5): Validation. SWAT-CUP tricks. [Videoconference]. Water Weather Energy Ecosystem (2W2E GmbH). Disponible en: <https://n9.cl/kabbaspour>

Ahmadi, M., Arabi, M., Hoag, D. L., & Engel, B. A. (2013). A mixed discrete-continuous variable multiobjective genetic algorithm for targeted implementation of nonpoint source pollution control practices. *Water Resources Research*, 49(12), 8344-8356. <https://doi.org/10.1002/2013WR013656>

Almendinger, J. E., & Ulrich, J. S. (2017). Use of SWAT to Estimate Spatial Scaling of Phosphorus Export Coefficients and Load Reductions Due to Agricultural BMPs. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 53(3), 547-561. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12523>

Arabi, M., Frankenberger, J. R., Engel, B. A., & Arnold, J. G. (2007). Representation of agricultural conservation practices with SWAT. *Hydrological Processes*, 22(16), 3042-3055. <https://doi.org/10.1002/hyp.6890>

Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R., Haney, E.B., & Neitsch, S.L. (2013). *Soil and Water Assessment Tool Input/Output Documentation (Version 2012)*. Texas Water Resources Institute

Babaei, H., Nazari-Sharabian, M., Karakouzian, M., & Ahmad, S. (2019). Identification of Critical Source Areas (CSAs) and Evaluation of Best Management Practices (BMPs) in Controlling Eutrophication in the Dez River Basin. *Environments*, 6(2), 20. <https://doi.org/10.3390/environments6020020>

Beck, H.E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Nature Scientific Data*. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

Bracmort, K., Arabi, M., Frankenberger, J., Engel, B., Arnold, J. (2006). Modeling longterm water quality impact of structural BMPs. *Transactions of the ASAE* 49 (2), 367–374. Recuperado de: <https://swat.tamu.edu/media/90119/bracmort2006.pdf>

Briak, H. (2017). *Estimation de l'Érosion des Sols et Modélisation Hydrologique Spatialisée: Cas d'un Bassin Versant Tangérois au Norddu Maroc (Thèse de doctorat)* (p. 210) Maroc: Université Abdelmalek Essaâdi, Faculté des Sciences et Techniques de Tanger.

Briak, H., Mrabet, R., Moussadek, R., & Aboumaria, K. (2019). Use of a calibrated SWAT model to evaluate the effects of agricultural BMPs on sediments of the Kalaya River basin (North of Morocco). *International Soil and Water Conservation Research*, 7(2), 176-183. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.002>

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) & Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2016a). *Catastro frutícola, principales resultados*. Región

del Biobío, julio 2016. Recuperado de:

<https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71154/Catastro-Fruticola-VIII-Biobio-2016.pdf>

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) & Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2016b). Catastro frutícola, principales resultados. Región de La Araucanía, julio 2016. Recuperado de:

<https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/handle/20.500.12650/71151>

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (1999). Estudio agrológico VIII Región. Descripciones de Suelos, Materiales y Símbolos, Estudio Agrológico VIII Región (Tomos I y II). Santiago, Chile: Publicación CIREN N° 121.

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (2002). Estudio agrológico IX Región: descripciones de suelos, materiales y símbolos. Santiago, Chile: Publicación CIREN N° 122.

Chesapeake Bay Program (CBP). (2018). Chesapeake Bay Program Quick Reference Guide for Best Management Practices (BMPs): Nonpoint Source BMPs to Reduce Nitrogen, Phosphorus and Sediment Loads to the Chesapeake Bay and its Local Waters. Recuperado de: https://www.chesapeakebay.net/documents/BMP-Guide_Full.pdf

Clarivate. (2023). Web of Science platform. Consultado: Enero, 2023. Recuperado de: <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2015). La incertidumbre de los recursos hídricos y sus riesgos frente al cambio climático: Herramientas para los tomadores de decisiones de los sectores público y privado. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38274/S1500538_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Compo Expert. (2020). Basacote Plus. Recuperado de: <https://www.compo-expert.com/sites/default/files/2020-08/Basacote%20Plus%20-%20Folleto.pdf>

Corporación Nacional Forestal (CONAF). (s.f.). Elementos guía índice fragilidad suelos forestales. Recuperado de: https://www.conaf.cl/protocolo-plantaciones/Documentos-y-estudios/Proteccion-de-suelos-y-agua/Elementos-guia-indice-fragilidad-suelos-forestales_SFrancke.pdf

Daneshvar, F., Nejadhashemi, A. P., Adhikari, U., Elahi, B., Abouali, M., Herman, M. R., Martinez-Martinez, E., Calappi, T. J., & Rohn, B. G. (2017). Evaluating the significance of wetland restoration scenarios on phosphorus removal. *Journal of Environmental Management*, 192, 184-196

Díaz B., K. (Ed.). (2002). Mejores prácticas de manejo. Cultivos tradicionales de la Zona Centro Sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7840>

Ding, Y., Dong, F., Zhao, J., Peng, W., Chen, Q., & Ma, B. (2020). Non-Point Source Pollution Simulation and Best Management Practices Analysis Based on Control Units in Northern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 868. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030868>

Dirección General de Aguas (DGA). Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Recuperado de: <https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/5096>

Douglas-Mankin, K. R., Srinivasan, R., & Arnold, J. G. (2010). Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model: Current Developments and Applications. *Transactions of the ASABE*, 53(5), 1423-1431. <https://doi.org/10.13031/2013.34815>

Engelbrechtsen, A., Vogt, R. D., & Bechmann, M. (2019). SWAT model uncertainties and cumulative probability for decreased phosphorus loading by agricultural Best Management Practices. *CATENA*, 175, 154-166. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.004>

Engormix. (2009). ¿Cuánto estiércol produce una vaca lechera?. Engormix. Recuperado de: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/foros/estiercol-produce-vaca-lechera-t8188/>

Engormix. (2013). Cómo sostener animales por hectárea. Engormix. Recuperado de: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/como-sostener-animales-hectarea-t26555.htm>

EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). (2021a). Nutrient Pollution: *Sources and Solutions*. Recuperado de: <https://www.epa.gov/nutrientpollution/sources-and-solutions>

EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). (2021b). Contaminación por nutrientes. Recuperado de: <https://espanol.epa.gov/espanol/contaminacion-por-nutrientes>

EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). (2023). Emisiones de óxido nítrico. Recuperado de: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-oxido-nitroso>

EULA. (2014). Recopilación de Información y Metodologías para la Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas en Chile. Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción. Concepción. ID: 608897-68-LE14

EULA. (2020). Centro EULA-CHILE: Evolución y Perspectivas a 30 años de su creación. Universidad de Concepción. Recuperado de: <http://www.eula.cl/wp-content/uploads/2020/04/LIBRO-30-A%C3%91OS-EULA.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2019). Artículo: Detengamos la erosión del suelo para garantizar la seguridad alimentaria en el futuro. Recuperado de: <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1193735/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2021). Mensajes clave. Simposio Mundial sobre la Erosión del Suelo. Recuperado de: <https://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/key-messages/es/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018). Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Bogotá DC, Colombia.

Gerding, V. (1991). Manejo de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile. BOSQUE, 12(2), 3-10.

Giri, S., Nejadhashemi, A. P., Woznicki, S., & Zhang, Z. (2014). Analysis of best management practice effectiveness and spatiotemporal variability based on different targeting strategies. *Hydrological Processes*, 28(3), 431-445. <https://doi.org/10.1002/hyp.9577>

González, U (ed.). (2018). "Comportamiento económico de cultivos anuales en el centro sur de Chile". Boletín INIA N° 358, 130 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.

Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (1999). Status of Automatic Calibration for Hydrologic Models: Comparison with Multilevel Expert Calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(2), 135-143. [https://doi.org/doi:10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1999\)4:2\(135\)](https://doi.org/doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135))

Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K., Martinez, G.F., 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: implications for improving hydrological modelling. *J. Hydrol.* 377, 80-91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>

Haas, M. B., Guse, B., & Fohrer, N. (2017). Assessing the impacts of Best Management Practices on nitrate pollution in an agricultural dominated lowland catchment considering environmental protection versus economic development. *Journal of Environmental Management*, 196, 347-364. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.060>

Haas, M.B., Guse, B., Pfannerstill, M., Fohrer, N., 2015. Detection of dominant nitrate processes in ecohydrological modeling with temporal parameter sensitivity analysis. *Ecol. Model* 314, 62e72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.07.009>

Hernández-Ramos, A., Valdez-Lazalde, J. R., Ángeles-Pérez, G., de los Santos-Posadas, H. M., Hernández-Ramos, J., Peduzzi, A., & Carrero, O. (2020). Medición del índice de área foliar y su dinámica estacional en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63).

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.808>

Himanshu, S. K., Pandey, A., Yadav, B., & Gupta, A. (2019). Evaluation of best management practices for sediment and nutrient loss control using SWAT model. *Soil & Tillage Research*, 192, 42-58. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.016>

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (2016). Producción de carne y leche en sistemas pastoriles: ¿cuánto estiércol produce una vaca lechera?. Biblioteca INIA. Recuperado de: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/30343>

Jang, S. S., Ahn, S. R., & Kim, S. J. (2017). Evaluation of executable best management practices in Haeen highland agricultural catchment of South Korea using SWAT. *Agricultural Water Management*, 180, 224-234.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.008>

Jamshidi, S., Imani, S., & Delavar, M. (2020). Impact Assessment of Best Management Practices (BMPs) on the Water Footprint of Agricultural Productions. *International Journal of Environmental Research*, 14, 641-652.

Lal, R. (2003) Soil Erosion and the Global Carbon Budget. *Environmental International*, 29, 437-450.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00192-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00192-7)

Lam, Q. D., Schmalz, B., & Fohrer, N. (2012). Assessing the spatial and temporal variations of water quality in lowland areas, Northern Germany. *Journal of Hydrology*, 438-439, 137-147. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.011>

Lee, M., Park, G., Park, M., Park, J., Lee, J., & Kim, S. (2010). Evaluation of non-point source pollution reduction by applying Best Management Practices using a SWAT model and QuickBird high resolution satellite imagery. *Journal of Environmental Sciences*, 22(6), 826-833. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60184-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60184-4)

Leh, M. D. K., Sharpley, A. N., Singh, G., & Matlock, M. D. (2018). Assessing the impact of the MRBI program in a data limited Arkansas watershed using the SWAT model. *Agricultural Water Management*, 202, 202-219.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.012>

Liu, R., Zhang, P., Wang, X., Chen, Y., & Shen, Z. (2013). Assessment of effects of best management practices on agricultural non-point source pollution in Xiangxi River watershed. *Agricultural Water Management*, 117, 9-18.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.10.018>

- Liu, Y. Z., Wang, R. Y., Guo, T., Engel, B. A., Flanagan, D. C., Lee, J. G., Li, S. Y., Pijanowski, B. C., Collingsworth, P. D., & Wallace, C. W. (2019). Evaluating efficiencies and cost-effectiveness of best management practices in improving agricultural water quality using integrated SWAT and cost evaluation tool. *Journal of Hydrology*, 577, Article 123965. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.123965>
- López-Ballesteros, A., Senent-Aparicio, J., Srinivasan, R., & Pérez-Sánchez, J. (2019). Assessing the Impact of Best Management Practices in a Highly Anthropogenic and Ungauged Watershed Using the SWAT Model: A Case Study in the El Beal Watershed (Southeast Spain). *Agronomy*, 9(10), 576. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100576>
- Makarewicz, J.C., Lewis, T.W., Winslow, M., Rea, E., Dressel, L., Pettenski, D., Snyder, B.J., Richards, P., & Zollweg, J. (2015). Utilizing intensive monitoring and simulations for identifying sources of phosphorus and sediment and for directing, siting, and assessing BMPs: The Genesee River example. *Journal of Great Lakes Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2015.06.004>
- Malik, W., Jiménez-Aguirre, M.-T., & Dechmi, F. (2020). Coupled DSSAT-SWAT models to reduce off-site N pollution in Mediterranean irrigated watershed. *Science of The Total Environment*, 745, 141000. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141000>
- Martínez-Lagos, J., & Salazar, F. (2015). Balance de nitrógeno en praderas del sur de Chile fertilizadas con fuente orgánica o mineral. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) y Universidad de La Plata. V Congreso Latinoamericano de Agroecología. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/52703/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Merriman-Hoehne, K. R., Daggupati, P., Srinivasan, R., & Hayhurst, B. A. (2019). Assessment of site-specific agricultural Best Management Practices in the Upper East River watershed, Wisconsin, using a field-scale SWAT model. *Journal of Great Lakes Research*, 45(3), 619-641.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being. Synthesis* Island Press. Washington, DC.
- Miller, G. T. (1992). *Living in the Environment: An Introduction to Environmental Science* (7th ed.). Wadsworth Publishing Company, Inc.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Biobío. Recuperado de: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/BioBio.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2014). Recopilación de información y metodologías para la estimación de emisiones de fuentes difusas en Chile. Estudio encargado a: Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2015). Decreto 9: Establece normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío. Recuperado de:
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1084403>

MMA - ONU Medio Ambiente, 2018. Determinación del Servicio Ecosistémico de Purificación del Aire en el Área del Proyecto GEF Montaña. Estudio encargado a: Dr. Marcelo Miranda, Dr. Cynnamon Dobbs, Magdalena Olave & Pilar Olave. Departamento de Ecosistema y Medio Ambiente, Pontificia Universidad Católica de Chile. Financiado en el marco del proyecto GEFSEC ID 5135 Ministerio del Medio Ambiente - ONU Medio Ambiente. Santiago, Chile. 60pp.

Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), 58(6), 1763-1785.
<https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>

Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., Harmel, R. D., & Veith, T. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. Transactions of the ASABE, 50. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>

Motsinger, J., Kalita, P., & Bhattarai, R. (2016). Analysis of Best Management Practices Implementation on Water Quality Using the Soil and Water Assessment Tool. Water, 8(4), 145. <https://doi.org/10.3390/w8040145>

Mtibaa, S., Hotta, N., & Irie, M. (2018). Analysis of the efficacy and cost-effectiveness of best management practices for controlling sediment yield: A case study of the Joumine watershed, Tunisia. Science of the Total Environment, 616, 1-16.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.290>

Munar-Samboní, A. M., Méndez-Pedroza, N. M., & Valbuena-Calderón, O. E. (2021). Modelación hidrodinámica y de calidad del agua en un ecosistema estuarino urbano con incidencia maregráfica y vertimientos de aguas residuales. Entramado, 17(1), 302-320. Epub May 05, 2021. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.7285>

Neitsch, S., Arnold J., Kiniry J., Williams J. (2005). Herramienta de evaluación de suelo y agua documentación teórica. Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural o Agricultural Research Service. Recuperado de:
<https://swat.tamu.edu/media/46964/swat2005-theo-doc-spanish.pdf>

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., & Williams, J.R. (2011). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute. Recuperado de <https://hdl.handle.net/1969.1/128050>

North Carolina Forest Service. (2017). *What are BMPs?* Recuperado de:
https://www.ncforestservice.gov/water_quality/what_are_bmps.htm

- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2013). Ficha técnico-económica Manzano Región del BíoBío. Recuperado de: https://www.odepa.gob.cl/fichas_de_costo/fichas_pdf/manzano_biobio_2012-13.pdf
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2016). Catastro frutícola. Sistema de Consulta Estadístico Territorial. Recuperado de: <https://icet.odepa.gob.cl/>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2016b). Ficha técnico-económica Arándano Región del BíoBío. Recuperado de: https://www.odepa.gob.cl/fichas_de_costo/fichas_pdf/arandano_biobio_2015-16.pdf
- Özcan, Z., Kentel, E., & Alp, E. (2017). Evaluation of the best management practices in a semi-arid region with high agricultural activity. *Agricultural Water Management*, 194, 160-171. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.007>
- Panagopoulos, Y., Makropoulos, C., & Mimikou, M. (2012). Decision support for diffuse pollution management. *Environmental Modelling & Software*, 30, 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.006>
- Peña M., L. (1981). Cultivo en contorno y cobertura mínima de rastrojos en control de erosión en lomajes suaves de trumao. *Agricultura Técnica*, 41(4), 243-247. Recuperado de: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/26598>
- Pimentel, D., Burgess, M. (2013). Soil erosion threatens food production. *Agriculture 3*: 443–463. <https://doi.org/10.3390/agriculture3030443>
- Ponce, V. (1989). *Engineering Hydrology*. Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey.
- Prado, L. do, & Veiga, M. da. (2006). Erosión y pérdida de fertilidad del Suelo. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/t2351s/T2351S06.htm>
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (2014). Primera actualización: Plan Integral de Manejo y Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan (CCMP). Recuperado de: <https://estuario.org/plan-integral-de-manejo-y-conservacion-del-estuario-de-la-bahia-de-san-juan-ccmp/>
- Qiu, J., Shen, Z., Chen, L., & Hou, X. (2019a). Quantifying effects of conservation practices on non-point source pollution in the Miyun Reservoir Watershed, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9), 582. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7747-y>
- Ricci, G. F., D'Ambrosio, E., De Girolamo, A. M., & Gentile, F. (2022). Efficiency and feasibility of Best Management Practices to reduce nutrient loads in an agricultural river basin. *Agricultural Water Management*, 259, 107241. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107241>

Ricci, G. F., Jeong, J., De Girolamo, A. M., & Gentile, F. (2020). Effectiveness and feasibility of different management practices to reduce soil erosion in an agricultural watershed. *Land Use Policy*, 90, Article 104306.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104306>

Sharpley, A. N., Daniel, T., Gibson, G., Bundy, L., Cabrera, M., Sims, T., Stevens, R., Lemunyon, J., Kleinman, P., & Parry, R. (2006). *Best Management Practices to Minimize Agricultural Phosphorus Impacts on Water Quality*; Agricultural Research Service of the United States Department of Agriculture (ARS-163). USDA.

SMA. (2020). Informe técnico de cumplimiento de normas de calidad del agua normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Biobío. Recuperado de: <https://n9.cl/uhymi>

Sommerlot, A. R., Nejadhashemi, A. P., Woznicki, S. A., & Prohaska, M. D. (2013). Evaluating the impact of field-scale management strategies on sediment transport to the watershed outlet. *Journal of Environmental Management*, 128, 735-748.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.010>

Song X., Hansen M., Stehman S., Potapov P., Tyukavina A, Vermote E., Townshend J. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*. 560(7720):639-643.

<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9>

Srinivas, R., Das, B. & Singhal, A. (2022). Integrated watershed modeling using interval valued fuzzy computations to enhance watershed restoration and protection at field-scale. *Stoch Environ Res Risk Assess* 36, 1429–1445. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02151-5>

Stehr, A. (2008). Análisis del comportamiento hidrológico y disponibilidad de agua, bajo escenarios de cambio climático, para dos sub-cuencas del río Biobío incorporando el impacto del aporte nival en la zona cordillerana (Tesis de doctorado) (p.19). Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Ambientales.

Stehr, A., Debels, P., Romero, F., & Alcayaga, H. (2008). Hydrological modelling with SWAT under conditions of limited data availability: evaluation of results from a Chilean case study. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 53(3), 588-601. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.3.588>

Strauch, M., Lima, J. E., Volk, M., Lorz, C., & Makeschin, F. (2013). The impact of best management practices on simulated streamflow and sediment load in a central Brazilian catchment. *Journal of Environmental Management*, 127, S24-S36.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.014>

Teuber K., N., & Romero Y., O. (2000). Manejo sostenible de praderas: su flora y vegetación [Sustainable management of pastures: their flora and vegetation]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Tilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor R. & Polansky S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671–677.
<https://doi.org/10.1038/nature01014>

U.S. Department of Agriculture (USDA), Forest Service. (2012). National Best Management Practices for Water Quality Management on National Forest System Lands. Volume 1: National Core BMP Technical Guide. FS-990a. Washington, DC: USDA Forest Service.

United States Department of Agriculture (USDA). (2006). Best Management Practices to Minimize Agricultural Phosphorus Impacts on Water Quality, pp. 1–52. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/is/np/BestMgmtPractices/Best%20Management%20Practices.pdf>

Universidad de La Frontera. (1994). Cero Labranza. *Frontera Agrícola*, 2(1), 1-16. Recuperado de: https://praderasypasturas.com/documentos/123.-Frontera_Agricola/1994-Volumen_2_numero_1.pdf

Uniyal, B., Jha, M. K., Verma, A. K., & Anebagilu, P. K. (2020). Identification of critical areas and evaluation of best management practices using SWAT for sustainable watershed management. *Science of the Total Environment*, 744, Article 140737.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140737>

Uribe, N. (2010). SWAT (Soil and Water Assessment Tool): Conceptos básicos y guía rápida para el usuario. Recuperado de: <https://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>

Utah State University Extension. (2020). Water Quality: Best Management Practices. Recuperado de: <https://extension.usu.edu/waterquality/protectyourwater/howtoprotectwaterquality/bmps/index>

Wang, Y., Bian, J., Lao, W., Zhao, Y., Hou, Z., & Sun, X. (2019). Assessing the Impacts of Best Management Practices on Nonpoint Source Pollution Considering Cost-Effectiveness in the Source Area of the Liao River, China. *Water*, 11(6), 1241.
<https://doi.org/10.3390/w11061241>

Wang, Y., Bian, J., Zhao, Y., Tang, J., & Jia, Z. (2018). Assessment of future climate change impacts on nonpoint source pollution in snowmelt period for a cold area using SWAT. *Scientific Reports*, 8(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20818-y>

Wang, Y., Jiang, R., Xie, J., Zhao, Y., Yan, D., & Yang, S. (2019). Soil and water assessment tool (SWAT) model: A systemic review. *Journal of Coastal Research*, 93(SI), 22-30. <https://doi.org/10.2112/SI93-004.1>

Wei, P., Ouyang, W., Gao, X., Hao, F., Hao, Z., & Liu, H. (2017). Modified control strategies for critical source area of nitrogen (CSAN) in a typical freeze-thaw watershed. *Journal of Hydrology*, 551, 518-531. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.026>

Winchell, M., Srinivasan, R., Di Luzio, M., & Arnold, J. (2013). ArcSWAT Interface for SWAT2012 User's Guide. Blackland Research and Extension Center, Texas AgriLife Research; Grassland, Soil and Water Research Laboratory, USDA Agricultural Research Service.

Xie, H., Chen, L., & Shen, Z. (2015). Assessment of Agricultural Best Management Practices Using Models: Current Issues and Future Perspectives. *Water*, 7(3), 1088-1108. <https://doi.org/10.3390/w7031088>

Zammali, M. K., Hassanzadeh, E., Shupena-Soulodre, E., & Lindenschmidt, K. E. (2021). A generic approach to evaluate costs and effectiveness of agricultural Beneficial Management Practices to improve water quality management. *Journal of Environmental Management*, 287, Article 112336. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112336>

8 Anexos

8.1 Anexo A

Tabla "lookup" de suelos, incluye valor y nombre para representar las series de suelo

"Value"	"Name"
1	arenales
2	arrayan
3	cauquenes
4	chufquen
5	collipulli
6	constitucion
7	coreo
8	curanipe
9	arenales
10	barbara
11	guadaba
12	vegas
13	vegas
14	sauces
15	mininco
16	mirador
17	nahuelbuta
18	negrete
19	barbara
20	pocillas
21	arenales
22	barbara
23	esteban
24	barbara
25	sofia
26	teresa
27	tijeral
28	victoria

Fuente: Elaboración propia.

8.2 Anexo B

Look up table uso de suelo desde referencia original y uso con el cual fue normalizado en SWAT

Valor	Usos de Suelo de referencia	Uso de SWAT normalizado	Código CPNM
1	Trigo	Winter Wheat	WWHT
2	Ciudades, Pueblos y Zonas Industriales	Residential-Low Density	URLD
3	Bosque nativo (no renoval), Bosque Mixto	Forest Deciduous	FRSD
4	Praderas	Pasture	PAST
5	Lagos, Lagunas, Embalses y Tranques	Water	WATR
6	Matorral	Range Shrubland	RNGB
7	Matorral-Pradera	Range-Grasses	RNGE
8	Matorral	Range Shrubland	RNGB
9	Lagos, Lagunas, Embalses y Tranques	Water	WATR
10	Plantación forestal	Pine	PINE
11	Pradera Perenne	Pasture	PAST
12	Lagos, Lagunas, Embalses y Tranques	Water	WATR
13	Bosque nativo renoval denso	Forest-Evergreen	FRSE
14	Manzanos	Apple	APPL
15	Vegas	Wetlands-Mixed	WETL
16	Vegas	Wetlands-Mixed	WETL
17	Otros Terrenos Húmedos	Winter Pasture	WPAS
18	Cerezo	Apple	APPL
19	Arándano	Irrigated Cropland and Pasture	CRIR
20	Avena	Oats	OATS
21	Maíz	Corn	CORN

Fuente: Elaboración propia.

8.3 Anexo C

Formato de ingreso fuentes puntuales método de cargas anuales promedio

Nombre del campo	Formato del campo	Definición
YEAR	entero i4	Año de datos medidos
FLOYR	punto flotante (f12.3)	Descarga diaria promedio de agua para el año (m3/día)
SEDYR	punto flotante (f12.3)	Descarga diaria promedio de sedimentos para el año (toneladas métricas/día)
ORGNYR	punto flotante (f12.3)	Descarga diaria promedio de N orgánico para el año (kg/día)
ORGPYR	punto flotante (f12.3)	Descarga diaria promedio de P orgánico para el año (kg/día)

Fuente: Winchell et al., 2013

8.4 Anexo D

Formato de ingreso usos de agua consuntivos a escala mensual “WURCH”.

Los datos valores de ingreso corresponde al promedio diario de extracción de agua de la sección (“reach”) durante cada mes (1-12) en unidades de 10^4 m³/día.

Nombre de variable	Número de línea	Posición	Formato valores	Formato F90
WURCH (1)	6	espacio 1-10	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (2)	6	espacio 11-20	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (3)	6	espacio 21-30	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (4)	6	espacio 3 1-40	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (5)	6	espacio 41-50	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (6)	6	espacio 51-60	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (7)	7	espacio 1-10	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (8)	7	espacio 11-20	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (9)	7	espacio 21-30	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (10)	7	espacio 3 1-40	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (11)	7	espacio 41-50	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1
WURCH (12)	7	espacio 51-60	decimal (xxxxxxxx.x)	fIO.1

Fuente: Winchell et al., 2013

8.5 Anexo E

La Ecuación Simplificada de Bagnold

Williams (1980) utilizó la definición de Bagnold (1977) de la energía del arroyo para desarrollar un método para determinar la degradación en función de la pendiente y la velocidad del canal. En esta versión, las ecuaciones se han simplificado y la cantidad máxima de sedimentos que se pueden transportar desde un segmento de alcance es una función de la velocidad máxima del canal. A diferencia de los otros tres métodos (Kodatie, Molinas & Wu y Yang), este método está presente desde la versión 2005 de SWAT. En Neitsch et al (2011) se incorpora la siguiente documentación al respecto:

En la Ecuación Simplificada de Bagnold la velocidad máxima del canal, $v_{ch,pk}$, se calcula:

$$v_{ch,pk} = \frac{q_{ch,pk}}{A_{ch}}$$

donde $q_{ch,pk}$ es la tasa de flujo máximo (m/s) y A_{ch} es el área transversal del flujo en el canal (m). La tasa de flujo máximo se define como:

$$q_{ch,pk} = prf \cdot q_{ch}$$

donde prf es el factor de ajuste de la tasa máxima y q_{ch} es la tasa promedio de flujo (m/s). La cantidad máxima de sedimentos que se pueden transportar desde un segmento de alcance se calcula:

$$conc_{sed,ch,mx} = c_{sp} \cdot v_{ch,pk}^{spexp}$$

donde $conc_{sed,ch,mx}$ es la concentración máxima de sedimentos que puede ser transportada por el agua (kg/L o ton/m³), c_{sp} es un coeficiente definido por el usuario, $v_{ch,pk}$ es la velocidad máxima del canal (m/s) y $spexp$ es un exponente definido por el usuario. El exponente, $spexp$, normalmente varía entre 1.0 y 2.0 y se estableció en 1.5 en la ecuación original de energía del arroyo de Bagnold (Arnold et al., 1995).

La concentración máxima de sedimentos calculada con la ecuación se compara con la concentración de sedimentos en el cauce al comienzo del paso de tiempo, Si $conc_{sed,ch,i} > conc_{sed,ch,mx}$ la deposición es el proceso dominante en el segmento de alcance y se calcula la cantidad neta de sedimentos depositados:

$$sed_{dep} = (conc_{sed,ch,i} - conc_{sed,ch,mx}) \cdot V_{ch}$$

donde sed_{dep} es la cantidad de sedimentos depositados en el segmento de alcance (toneladas métricas), $conc_{sed,ch,i}$ es la concentración inicial de sedimentos en el alcance (kg/L o ton/m³), $conc_{sed,ch,mx}$ es la concentración máxima de sedimentos que puede ser transportada por el agua (kg/L o ton/m³) y V_{ch} es el volumen de agua en el segmento de alcance (m³ H₂O).

Si $conc_{sed,ch,i} < conc_{sed,ch,mx}$ la degradación es el proceso dominante en el segmento de alcance y se calcula la cantidad neta de sedimentos reincorporado:

$$sed_{deg} = (conc_{sed,ch,mx} - conc_{sed,ch,i}) \cdot V_{ch} \cdot K_{CH} \cdot C_{CH}$$

donde sed_{deg} es la cantidad de sedimentos reincorporados en el segmento de alcance (toneladas métricas), es la concentración máxima de sedimentos que puede ser transportada por el agua (kg/L o ton/m³), es la concentración inicial de sedimentos en el alcance (kg/L o ton/m³), V_{ch} es el volumen de agua en el segmento de alcance (m³ H₂O), K_{CH} es el factor de erosión del canal y C_{CH} es el factor de cobertura del canal.

Una vez que se ha calculado la cantidad de deposición y degradación, se determina la cantidad final de sedimentos en el cauce:

$$sed_{ch} = sed_{ch,i} - sed_{dep} + sed_{deg}$$

donde sed_{ch} es la cantidad de sedimentos suspendidos en el cauce (ton), $sed_{ch,i}$ es la cantidad de sedimentos suspendidos en el cauce al comienzo del período de tiempo (ton), sed_{dep} es la cantidad de sedimentos depositados en el segmento de cauce (ton) y sed_{deg} es la cantidad de sedimentos reincorporados en el segmento de cauce (ton). La cantidad de sedimentos transportados fuera del cauce se calcula:

$$sed_{out} = sed_{ch} \cdot \frac{V_{out}}{V_{ch}}$$

donde sed_{out} es la cantidad de sedimento transportado fuera del tramo (ton), sed_{ch} es la cantidad de sedimento suspendido en el tramo (ton), V_{out} es el volumen de salida durante el paso del tiempo (m³ H₂O) y V_{ch} es el volumen de agua en el segmento del tramo (m³ H₂O). En este método, se asume que la erosión está limitada solo por la capacidad de transporte, es decir, el suministro de sedimentos por erosión del canal es ilimitado. Si la carga del lecho que entra en el canal es menor que la capacidad de transporte, entonces se asume que la erosión del canal cumple con este déficit. Por otro lado, si la carga del lecho que entra en el canal es mayor que la capacidad de transporte, la diferencia en la carga se depositará dentro del canal. Por lo tanto, en el método predeterminado, la carga del lecho transportada por el canal está casi siempre cerca de la capacidad máxima de transporte dada por la ecuación simplificada de Bagnold y solo está limitada por los factores de cobertura y erosión del canal. Durante las inundaciones posteriores, los sedimentos depositados serán resuspendidos y transportados antes de la degradación del canal. Si se elige este método para modelar el transporte de sedimentos, no se realiza un seguimiento de la distribución del tamaño de partículas a través de los tramos del canal y se asume que todas son partículas del tamaño de limo. Además, la erosión del canal no se divide entre el banco y el lecho del arroyo y se asume que la deposición ocurre solo en el canal principal; La deposición de sedimentos en las llanuras aluviales tampoco se modela por separado.

8.6 Anexo F

Considerando que:

1. No se encontraron referencias alusivas al uso de unidades de calor para el manejo de cultivos en Chile, y por ende, se tuvo que utilizar el método para establecer la calendarización de operaciones de manejo en días calendario para las zonas con vegetación.
2. SWAT define un manejo por defecto para todos los suelos que no se encuentran desprovistos de vegetación, el que consiste en “sembrar/dar inicio al periodo de crecimiento de la planta” al alcanzar 0.15 unidades de calor y “cosecha y eliminación” a las 1.2 unidades de calor. En el caso de cultivos agrícolas se incorpora una Auto fertilización inicial a las 0.01 unidades de calor.
3. La existencia de la cobertura vegetal y del manejo inicia a partir el período de calentamiento, salvo que se especifique lo contrario.
4. Para coberturas vegetales preexistentes se debe incorporar una serie de parámetros iniciales, para que el modelo considere esa información al momento de ejecutarse, como Índice de Área Foliar inicial (LAI_INIT), Biomasa Seca inicial (Bio_INIT) y Edad en el caso de los árboles (CURYR_MAT).
5. Para coberturas que incluyen la presencia de ganado, se debe ingresar parámetros específicos para la actividad de Pastoreo, los cuales incluyen tipo de estiércol que produce el animal (MANURE_ID), peso en seco del estiércol depositado por hectárea (MANURE_KG), número de días consecutivos en que se desarrolla pastoreo en la HRU (GRZ_DAYS) y peso en seco de la biomasa consumida diariamente por el ganado en kg/ha (BIO_EAT).
6. Las operaciones de manejo en la práctica se ejecutan en un rango flexible de fechas, ya que obedecen a gestiones realizadas por la administración del predio (disponibilidad de semilla/maquinaria/fertilizante según sea el caso) y factores externos, como la probabilidad de lluvia.
7. Gran parte de los fertilizantes utilizados en Chile no calzan con las composiciones N-P-K con ninguno de los propuestos en la base de datos de SWAT, dado que las necesidades de los suelos y de los cultivos en EE. UU. y Chile son diferentes, por lo tanto, se debe recurrir a fichas especializadas por fertilizante empleado en los cultivos de interés, e incorporar de forma manual esa información a la base de datos de fertilizantes de SWAT.

A continuación, se detallan las modificaciones realizadas a los archivos mgt por uso/cobertura de suelo:

FRSD y FRSE

Los bosques nativos no cuentan con manejo, por lo tanto, se elimina la operación de cosecha y eliminación “harvest and kill” y son preexistentes al período de modelación por lo que se establece:

USO	FRSD	FRSE
LAI_INIT	4 ¹	3.6 ²
Bio_INIT	75000 ³	3000 ³
CURYR_MAT	30	20

Elaboración propia.

PINE

Las plantaciones forestales no se siembran de forma directa, sino que los árboles son trasplantados; por lo tanto, se supuso un ejemplar de 1 año al inicio del período de calentamiento (CURYR_MAT=1), considerando además LAI_INIT=2⁴, y Bio_INIT=1300, asumiendo una masa de 1kg por planta y una densidad de acorde a Gerding (1991) que señala que la densidad inicial de plantación varía entre 1000 y 1600 árboles por hectárea en Chile, siendo lo más utilizado 1250 a 1300 árboles por hectárea. Se consideró una rotación de 20 años antes de la tala, incluyendo una poda al cuarto año con la operación “harvest only” como sugiere también Gerding (1991) y una fertilización al primer año con “Basacote Plus 12M”, en cantidad de 120kg/ha, equivalente a dosis media propuesta en Compo Expert (2020).

RNGB y RNGE

Considerando el tipo de vegetación mayoritariamente herbácea presente en los usos de matorral y matorral-pradera, se asignaron índices foliares bajos, y una biomasa seca inicial acorde a la vegetación predominante (como zarzamora y pasto miel). Se eliminó la operación de cosecha y eliminación “harvest and kill” y se tomó como supuesto una preexistencia de 2 años para esta cobertura vegetal, ya que tienen una madurez más temprana y no alcanzan tanto potencial de crecimiento, en comparación a los grandes árboles presentes en otros tipos de cobertura (usos).

USO	RNGB	RNGE
LAI_INIT	2	1
Bio_INIT	5000	100
CURYR_MAT	2	2

Elaboración propia.

1 Referencia: MMA - ONU Medio Ambiente, 2018: Tabla 8 pág. 27 Bosque denso cuenca de Santiago.

2 Referencia: MMA - ONU Medio Ambiente, 2018: Tabla 10 pág. 28 Bosque semidenso cuenca de Santiago.

3 Referencia: Estimado en base biomasa total por Altamirano et al., 2015: Cuadro 2.

4 Referencia: Hernández-Ramos (2020): Figura 4 IAF Óptico para plantación de Eucaliptus de 1 año.

PAST

Para el manejo de praderas perennes se recurrió a diversas fuentes, para plasmar las operaciones agrícolas y ganaderas que es posible desarrollar en este uso de suelo. Se supuso una pradera fertilizada, y se utilizó la carga animal propuesta en INIA (2016) de 3 vacas por hectárea para este tipo de pradera. Considerando la presencia de pastoreo se elimina la operación de “harvest and kill” ya que el consumo de biomasa del ganado cumple un rol similar. Para el tipo de fertilizante y frecuencia de fertilización se usó la referencia de Martínez-Lagos & Salazar (2015). Se establecieron cuatro eventos de pastoreo al año, uno en cada estación, siguiendo las recomendaciones de frecuencia y calendarización propuestas en Teuber & Romero (2000). La extensión en días de estos períodos y la base de consumo diario por animal se estableció en base a Engormix (2013). En tanto, para la producción diaria de estiércol, se siguió la referencia de Engormix (2009), la cual indicaba una deposición de 48 kg de estiércol por vaca al día.

APPL y CRIR

Para las especies frutales se tomó el manejo propuesto por ODEPA (2013 y 2016b) en las fichas técnico-económica para la región del Biobío, utilizando la referencia en términos estrictos para el tipo de fertilizante aplicado y la dosis. Para la calendarización de cada operación los documentos ofrecen lineamientos generales con un rango de fechas de al menos un mes, como SWAT requiere del ingreso en una fecha específica, se analizaron los registros meteorológicos históricos de la estación más cercana a la HRU y se asignaron las fechas en aquellos días que históricamente tuvieran el menor registro de precipitaciones. El manejo quedó establecido de la siguiente forma:

Año	Cultivo*	Operación	Kg/ha	Fecha
1	APPL	Harvest only operation		Feb 15
1	APPL	Fertilizer application - Superfosfato triple	150	May 12
1	APPL	Fertilizer application – Mezcla frutal	300	Ago 17
1	APPL	Begin growing season		Sep 21
1	APPL	Fertilizer application - Urea	260	Oct 18
1	CRIR	Begin growing season		Ago 21
1	CRIR	Fertilizer application – Nitrato de Calcio	100	Sep 14
1	CRIR	Fertilizer application – Nitrato de Potasio	150	Sep 14
1	CRIR	Fertilizer application – Urea	150	Oct 18
1	CRIR	Harvest only operation		Dic 31

*APPL = manzanos/cerezos, CRIR = arándanos.

Fuente: Elaboración propia.

CORN, OATS y WWTH

En base a Gonzáles (2018) y consulta con agricultor local se confeccionó el siguiente manejo para los principales cultivos cereales presentes en la zona de estudio:

Año	Cultivo*	Operación	Kg/ha	Fecha
1	WWHT	Harvest and kill operation		Ene 20
1	WWHT	Burn		Abr 4
1	WWHT	Tillage operation - Generic Fall Plowing Operation		May 7
1	WWHT	Fertilizer application – Mezcla NPK Trigo	300	May 7
1	WWHT	Plant/Begin growing season		May 12
1	WWHT	Auto fertilization initialization – Elemental N	Max. 50	May 12
1	WWHT	Fertilizer application – Supernitro	250	Oct 18
1	CORN	Harvest and kill operation		Abr 20
1	CORN	Tillage operation - Field Cultivator Lt15ft		Oct 18
1	CORN	Fertilizer application – Mezcla NPK Maíz	600	Oct 18
1	CORN	Plant/Begin growing season		Oct 18
1	CORN	Fertilizer application – Urea	600	Nov 30
1	OATS	Harvest and kill operation		Ene 20
1	OATS	Burn		Abr 4
1	OATS	Tillage operation - Generic Fall Plowing Operation		May 7
1	OATS	Fertilizer application – Mezcla NPK Avena	400	May 7
1	OATS	Plant/Begin growing season		May 12
1	OATS	Fertilizer application – Supernitro	250	Oct 18

*WWHT = Trigo de invierno, CORN = Maíz, OATS = Avena.

Fuente: Elaboración propia.

Además, se dispone el detalle de los fertilizantes ingresados manualmente a la base de datos de SWAT para su consulta:

Nombre fertilizante	Composición NPK	Contenido mínimo de N (%)	Contenido mínimo de P (%)	Fracción N orgánico	Fracción NH3-N
Mezcla NPK Avena	11-30-11	0.11	0.132	0	0
Mezcla NPK Maíz	17-20-20	0.17	0.088	0	0
Mezcla NPK Trigo	07-27-08	0.07	0.119	0	0
Nitrato de Ca	12-00-00	0.12	0	0	0
Nitrato de K	13-00-44	0.13	0	0	0
Superfosfato Triple	00-46-00	0	0.202	0	0
Supernitro (N 25%)	25-00-00	0.25	0	0.68	0.32
Mezcla Fertiriego	03-00-00	0.03	0	0.6	0.4
Mezcla frutal	18-19-19	0.18	0.084	0	0

Fuente: Elaboración propia.

8.7 Anexo G

Criterios de evaluación de rendimiento final para medidas de rendimiento estadístico recomendadas para modelos a escala de cuenca y campo.

Measure	Output Response	Temporal Scale ^[a]	Performance Evaluation Criteria			
			Very Good	Good	Satisfactory	Not Satisfactory
Watershed scale						
R ²	Flow ^[b]	D-M-A	R ² > 0.85	0.75 < R ² ≤ 0.85	0.60 < R ² ≤ 0.75	R ² ≤ 0.60
	Sediment/P ^[c]	M	R ² > 0.80	0.65 < R ² ≤ 0.80	0.40 < R ² ≤ 0.65	R ² ≤ 0.40
	N	M	R ² > 0.70	0.60 < R ² ≤ 0.70	0.30 < R ² ≤ 0.60	R ² ≤ 0.30
NSE	Flow	D-M-A	NSE > 0.80	0.70 < NSE ≤ 0.80	0.50 < NSE ≤ 0.70	NSE ≤ 0.50
	Sediment	M	NSE > 0.80	0.70 < NSE ≤ 0.80	0.45 < NSE ≤ 0.70	NSE ≤ 0.45
	N/P ^[c]	M	NSE > 0.65	0.50 < NSE ≤ 0.65	0.35 < NSE ≤ 0.50	NSE ≤ 0.35
PBIAS (%)	Flow	D-M-A	PBIAS < ±5	±5 ≤ PBIAS < ±10	±10 ≤ PBIAS < ±15	PBIAS ≥ ±15
	Sediment	D-M-A	PBIAS < ±10	±10 ≤ PBIAS < ±15	±15 ≤ PBIAS < ±20	PBIAS ≥ ±20
	N/P ^[c]	D-M-A	PBIAS < ±15	±15 ≤ PBIAS < ±20	±20 ≤ PBIAS < ±30	PBIAS ≥ ±30
Field scale						
R ²	Flow	M	R ² > 0.85	0.75 < R ² ≤ 0.85	0.70 < R ² < 0.75	R ² ≤ 0.70
<i>d</i>	Flow	M	<i>d</i> > 0.90	0.85 < <i>d</i> ≤ 0.90	0.75 < <i>d</i> < 0.85	<i>d</i> ≤ 0.75

Fuente: Moriasi et al., 2015.

[a] D, M y A denotan escalas temporales diarias, mensuales y anuales, respectivamente.

[b] Incluye el flujo de arroyos, la escorrentía superficial, el flujo base y el flujo de tejas, según corresponda, para modelos a escala de cuenca y campo.

[c] Donde no hubo diferencias, los PEC se agruparon para las respuestas de salida.

8.8 Anexo H

Fichas bibliográficas confeccionadas para el informe

ID	1		
Nombre del artículo	Impact of BMPs on water quality: a case study in Big Sunflower River watershed, Mississippi		
Autores	Risal, A; Parajuli, PB and Ouyang, Y		
Revista	INTERNATIONAL JOURNAL OF RIVER BASIN MANAGEMENT		
Año y país	2022, Estados Unidos		
Resumen	<p>En este estudio se evaluó el impacto de 2 BMPs individuales, VFS y TRP, en la calidad del agua, utilizando modelos hidrológicos y de calidad del agua Soil and Water Assessment Tool (SWAT) y Hydrologic Simulation Program-Fortran (HSPF) en la cuenca del río Big Sunflower (BSRW) y se evaluó su desempeño en la simulación de la hidrología y la calidad del agua. Ambos modelos simularon caudales, sedimentos y las concentraciones de nutrientes (fósforo total y nitrógeno total) con una eficiencia del modelo superior al 50%. Las VFS redujeron la concentración de TN en un 51% en SWAT y en un 25% en HSPF, mientras que la reducción promedio de la concentración de TN por TRP en SWAT y HSPF fue del 7% y 2%, respectivamente. De manera similar, la reducción promedio de la concentración de TP por VFS en SWAT y HSPF fue del 56% y 31%, respectivamente, y por TRP en SWAT y HSPF fue del 2% y 1%, respectivamente.</p>		
Área de la cuenca (km ²)	10500		
BMPs implementadas (primera fila) y su efectividad de reducción por compuesto (SS, TN, TP)		VFS	CT
	SS	26%	21%
	TN	51%	7%
	TP	56%	2%

ID	2						
Nombre del artículo	Identification of critical areas and Evaluation of best management practices using SWAT for sustainable watershed management						
Autores	Uniyal, B; Jha, MK; Verma, AK; Anebagilu, PK						
Revista	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT						
Año y país	2020, India						
Resumen	Se evalúa la eficacia de 8 diferentes BMPs individuales (agrícolas y estructurales) para controlar la exportación de sedimentos a nivel de cuenca y subcuenca utilizando el modelo SWAT, en la cuenca del Baitarani, este de India; además de generar 3 escenarios de combinación de BMPs. Por último, se evalúa los impactos que tienen los escenarios de combinación de BMPs sobre los componentes del balance hídrico. Se concluye que, si se aplican las ocho BMPs de manera simultánea, la reducción de la producción de sedimentos alcanza valores de 76% y 80% a nivel de subcuenca y de cuenca, respectivamente, en comparación al escenario base.						
Área de la cuenca (km ²)	1776,6						
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	CT	CF	CB	T	GSS	SSS
		2%	3%	7%	6%	25%	70%

Nota: Reducciones tabuladas corresponden a escala de cuenca.

ID	3						
Nombre del artículo	Evaluation of executable best management practices in Haean highland agricultural catchment of South Korea using SWAT						
Autores	Jang, S. S., Ahn, S. R., & Kim, S. J.						
Revista	Agricultural Water Management						

Año y país	2017, Corea del Sur			
Resumen	<p>En este estudio se evaluó la reducción de los altos niveles de exportación de contaminación por fuentes no puntuales (NPS) en la cuenca agrícola de alta montaña de Haeon (62.8 km²) en Corea del Sur, mediante la aplicación de BMPs de instalación de franjas de amortiguación vegetativas (VFS), control de fertilizantes (FC) y acolchado con paja de arroz (RSM) en tierras altas por encima de los 600 m de elevación utilizando SWAT. De los resultados de la modelación, las VFS fueron la BMP que tuvieron el mejor desempeño para reducir el sedimento en un 16.0% para un ancho de franja de 1 m, hasta un 34.8% para un ancho de franja de 5 m y las exportaciones de fósforo total del 5.1% a 21.3% desde las áreas de cultivo de alta montaña. La BMP FC mostró una reducción en las exportaciones del 4.9% para una reducción del fertilizante del 10% hasta el 16.4% para una reducción del fertilizante del 30%. Se indica que debido a las dificultades de ubicar VFS, principalmente por la falta de voluntad de los agricultores, se sugirió la combinación de BMPs de reducción de fertilizantes y acolchado con paja de arroz como una BMP ejecutable para obtener una eficiencia positiva en la eliminación para todas las exportaciones de nutrientes.</p>			
Área de la cuenca (km ²)	62.8			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		VFS	FC	RSM
	SS	26%	0%	4%
	TN	4%	11%	-2%
	TP	16%	4%	3%

ID	4
Nombre del artículo	Evaluation of the Impact of Best Management Practices on Streamflow, Sediment and Nutrient Yield at Field and Watershed Scales
Autores	Risal, A and Parajuli, PB
Revista	Water Resources Management

Año y país	2022, Estados Unidos								
Resumen	En este estudio se evaluó el impacto de las BMPs en la cuenca del río Big Sunflower (BSRW) y una subcuenca de esta: la del Stovall Sherard (SSW), para determinar efectividad a escala de cuenca y de campo utilizando SWAT. El modelo fue calibrado y validado para caudales, producción de sedimentos, nitrógeno total (TN) y fósforo total (TP) a la salida de tres subcuencas de la BSRW y dentro del SSW. Se evaluaron los escenarios BMP de dique de retención, estanque de agua de cola, franjas filtrantes vegetativas (VFS), manejo de nutrientes y manejo de labranza para su eficacia en la reducción del flujo de agua, producción de sedimentos y cargas de nutrientes a nivel de campo y cuenca. Se concluye que la franja de amortiguación (VFS) resultó ser la BMP más efectiva en la reducción de las exportaciones de sedimentos, TN y TP a escalas de cuenca (entre 2 a 38%, 29-87% y 42- 99% de reducción, respectivamente) y subcuenca (8-12%, 71-98% y 72- 99% respectivamente).								
Área de la cuenca (km ²)	10500								
		VFS (10m)	VFS (20m)	VFS (30m)	TRP	NM	CT	ZT	CD
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	12%	33%	38%	27%	0%	1%	2%	12%
	TN	29%	74%	87%	13%	24%	-14%	-26%	9%
	TP	42%	89%	99%	3%	6%	-5%	-13%	2%
Área de la subcuenca(km ²)	120								
		VFS (10m)	VFS (20m)	VFS (30m)	TRP	NM	CT	ZT	CD
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	9%	11%	12%	5%	0%	5%	1%	1%
	TN	71%	88%	99%	16%	0%	15%	-10%	-25%
	TP	73%	89%	100%	15%	6%	11%	2%	0%
Nota:	En verde se representa el promedio de efectividad conseguido por al reducir en un 10%, 20%, 30% respectivamente la aplicación de fertilizantes.								
ID	5								

Nombre del artículo	Assessment of Best Management Practices on Hydrology and Sediment Yield at Watershed Scale in Mississippi Using SWAT			
Autores	Nepal D, Parajuli PB			
Revista	Agriculture			
Año y país	2022, Estados Unidos			
Resumen	<p>En este estudio se desarrolló un modelo SWAT a nivel de cuenca para la cuenca del río Big Sunflower (BSRW), se identificaron áreas de alta producción de sedimentos utilizando el modelo calibrado y validado y se evaluaron los efectos de varias BMPs. Se investigó la efectividad de tres BMPs; GWW, franjas filtrantes vegetativas (VFS) y estructuras de estabilización de grado (GSS), en la reducción de la producción de sedimentos, generando un total de 7 escenarios; 3 individuales y 4 de combinación. La simulación de BMPs individuales reveló que la GWW mostró la mayor reducción en la exportación de sedimentos, seguida por VFS y GSS. En los escenarios de combinación de BMPs se mostró que GSS y GWW tenían el mayor potencial de reducción en la producción de sedimentos mientras que VFS y GSS tenían el menor potencial. De manera similar, una combinación de las tres BMPs redujo la producción de sedimentos hasta en un 50%. Se indica que los hallazgos del estudio ayudarán a la gestión sostenible de cuencas y serán de valor para quienes administren y planifiquen sobre las cuencas.</p>			
Área de la cuenca (km ²)	10500			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	GWW 30%	VFS 25%	GSS 7%

ID	6			
Nombre del artículo	Effectiveness and feasibility of different management practices to reduce soil erosion in an agricultural watershed			
Autores	Ricci, G. F., Jeong, J., De Girolamo, A. M., & Gentile, F.			

Revista	Land Use Policy			
Año y país	2020, Italia			
Resumen	Este estudio tiene como objetivo identificar BMPs eficaces y su viabilidad económica para controlar la erosión del suelo en una cuenca del centro-sur de Italia, donde se cultiva principalmente trigo de invierno. Utilizando el modelo SWAT se implementa un total de 4 escenarios de manejo; 3 individuales y 1 de combinación. Los resultados muestran que la combinación de agricultura de contorno y reforestación fue lo más efectivo, con un 38 % de reducción. Se indica que un programa de medidas puede ser efectivo para controlar la erosión del suelo, pero debe implementarse a largo plazo y requiere inversiones relevantes de los sectores público y privado.			
Área de la cuenca (km ²)	506			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	CF 22%	ZT 29%	RC 15%

ID	7			
Nombre del artículo	Evaluating efficiencies and cost-effectiveness of best management practices in improving agricultural water quality using integrated SWAT and cost Evaluation tool			
Autores	Liu, Y. Z., Wang, R. Y., Guo, T., Engel, B. A., Flanagan, D. C., Lee, J. G., Li, S. Y., Pijanowski, B. C., Collingsworth, P. D., & Wallace, C. W.			
Revista	Agricultural Water Management			
Año y país	2019, Estados Unidos			
Resumen	En este estudio se desarrolló una herramienta de costes de para las BMPs, la cual fue integrada con SWAT, con el objetivo de explorar la eficiencia y la rentabilidad de las BMPs en una subcuenca agrícola del río Maumee en cuanto a las exportaciones de fósforo reactivo disuelto (DRP) y fósforo total (TP). Se explora el uso de las 8 BMPs existentes en SWAT de forma independiente, así como la combinación de todas en forma de serie. Se determina			

que las BMPs implementadas en serie, redujeron las cargas contaminantes más que las BMPs individuales, pero no resultan tan rentables como algunas BMPs individuales									
Área de la cuenca (km ²) 42									
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		ZT	NM	GWW	GSS	VFS	W	BI	CC
TP		4%	4%	6%	0%	15%	78%	0%	62%

ID	8								
Nombre del artículo	Evaluation of best management practices for sediment and nutrient loss control using SWAT model								
Autores	Himanshu, S. K., Pandey, A., Yadav, B., & Gupta, A								
Revista	Soil & Tillage Research								
Año y país	2019, India								
Resumen	El presente estudio evalúa y recomienda BMPs en la cuenca agrícola de Marol utilizando el modelo SWAT, priorizando su aplicación en subcuencas críticas en términos de erosión (CSA). Los resultados mostraron que las pérdidas de nutrientes (NO ₃ , N y P orgánicos) no solían superar el límite tolerable establecido para las subcuencas, sin embargo, en todas las subcuencas críticas el aporte de sedimentos era superior al límite tolerable. Se utilizaron 4 BMPs con las cuales se generan 8 escenarios de manejo individuales y uno de combinación.								
Área de la cuenca (km ²)	5092								
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		ZT	CT	CF	FS				
SS		5%	6,8%	23,8%	25,4%				
TN*		-	-	16,75%	31,40%				

TP*	-	-	15,20%	34,60%
-----	---	---	--------	--------

Nota: *Valores de reducción tabulados corresponden a N y P orgánicos, respectivamente.

ID	9						
Nombre del artículo	Analysis of the efficacy and cost-effectiveness of best management practices for controlling sediment yield: A case study of the Joumine watershed, Tunisia						
Autores	Mtibaa, S; Hotta, N and Irie, M						
Revista	Science of The Total Environment						
Año y país	2018, Túnez						
Resumen	Se utilizó el modelo SWAT para identificar áreas críticas (CSAs) e investigar la efectividad de 6 distintas BMP en la reducción de sedimentos exportados a la cuenca fluvial agrícola de Joumine, norte de Túnez. Se utilizó un análisis coste-beneficio (ACB) para evaluar la relación coste-eficacia de diferentes escenarios de BMP. Los escenarios de combinación resultaron más rentables que el mejor escenario individual. Combinar franjas de amortiguación de 5m con otras BMP en función de la pendiente (> 20% de pendiente: reemplazo con olivares; 10-20%: surcos de contorno; 5-10%: cultivo en franjas de hierba) fue el enfoque más eficaz, consiguiendo reducir en un 61,84% la exportación de sedimentos con una relación beneficio/coste de 1,61.						
Área de la cuenca (km ²)	418						
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		ZT	CT	CF	FS	LUC	VFS (20m)
	SS	10%	59,09%	27%	30%	16,23%	30%
	TN	28%	-	-	-	-	-

Nota: Para SC y ZT fueron tabulados valores aproximados, según interpretación de gráfico en sección resultados del estudio, ya que no son transparentados de forma explícita por el estudio.

ID	10						
----	----	--	--	--	--	--	--

Nombre del artículo	Assessing the impacts of Best Management Practices on nitrate pollution in an agricultural dominated lowland catchment considering environmental protection versus economic development								
Autores	Haas, MB; Guse, B and Fohrer, N								
Revista	Journal of Environmental Management								
Año y país	2017, Alemania								
Resumen	<p>En este estudio se analizaron 4 BMPs basadas en cambios de superficie pequeños y medianos con el modelo SWAT. Se tenía como objetivo reducir las exportaciones de nitrato a la cuenca de The Treene, considerando también la eficacia en cuanto a los costes de aplicación a escala de cuenca, además de la perspectiva de las políticas ecológicas y económicas para la implementación de las BMPs. Se generaron 9 escenarios individuales, además de escenarios de combinación. Los resultados pusieron de manifiesto diferentes respuestas de las BMP. Si bien los períodos críticos en invierno fueron abordados por la mayoría de las BMPs, algunas prácticas como el aumento de tierras de pastoreo deben implementarse en un área mayor para obtener mejores resultados. Además, existe un mayor potencial de reducción de nitratos al combinar BMPs que incluyan reducción de fertilizantes, franjas de amortiguación y cobertura de suelo en invierno. La discusión sobre la eficacia mostró la complejidad al estipular los costos y la relación con la tierra cultivable y las pérdidas de rendimiento.</p>								
Área de la cuenca (km ²)	481								
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		VFS (1.5m)	VFS (3m)	VFS (5m)	VFS (6m)	FC (15%)	FC (30%)	PLI	LUC
	TN*	3,9%	5,4%	8,0%	9,3%	15,1%	25,0%	1,0%	4,3%

Nota: *Valores de reducción tabulados en este estudio corresponden a Nitratos

ID	11
Nombre del artículo	Use of a calibrated SWAT model to evaluate the effects of agricultural BMPs on sediments of the Kalaya river basin (North of Morocco)
Autores	Briak, H., Mrabet, R., Moussadek, R., & Aboumaria, K.

Revista	International Soil and Water Conservation Research			
Año y país	2019, Marruecos			
Resumen	En este estudio se evaluaron los efectos de 3 BMPs en los sedimentos, utilizando un modelo SWAT en la cuenca del río Kalaya en el norte de Marruecos para recomendar la práctica más adecuada. Este estudio se basó en la implementación de tres prácticas factibles en la zona: cultivos de contorno, cultivo en franjas y aterrazamiento, con un modelo SWAT calibrado. Los parámetros generales del modelo se modificaron para reflejar la implementación de las diferentes BMPs agrícolas utilizadas. Se concluye que de las tres opciones, el aterrazamiento es lo más eficaz para reducir las exportaciones de sedimentos (28%) y limitar la erosión del suelo, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas.			
Área de la cuenca (km ²)	38			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	T 28%	SC 9%	CF 31%

ID	12			
Nombre del artículo	Evaluation Of Non-Point Source Pollution Reduction By Applying Best Management Practices In Dongliao River Watershed Using Swat Model			
Autores	Zhang, L; Lu, WX; An, YL; Li, D; Gong, L			
Revista	FRESENIUS ENVIRONMENTAL BULLETIN			
Año y país	2013, China			
Resumen	Se identificó las áreas críticas de la cuenca del río Dongliao y se evaluó el efecto de reducción de la contaminación de fuentes no puntuales (NPS) analizando el comportamiento de 7 BMPs con el modelo SWAT. Los resultados mostraron que, entre las siete BMP simuladas, la franja de amortiguación (FS) tenía la mayor tasa de reducción de sedimentos, alcanzando un 63,24%. La labranza de conservación, las terrazas, el cultivo en contorno, la franja de amortiguación y la gestión de residuos mostraron una reducción significativa de las cargas de TN y TP, alcanzando una tasa de reducción de alrededor de un 30% para ambos nutrientes. La BMP canal de			

<p>césped (GWW) tuvo un beneficio mínimo en los niveles de TP y TN, pero tuvo un efecto significativo en la reducción de sedimentos. Se concluye que las BMP tienen efectos significativos en la reducción de las cargas contaminantes de fuentes no puntuales y en la mejora de la calidad del agua, y los resultados proporcionarán una base científica para la protección y mejora de la calidad del agua en el río Dongliao.</p>										
Área de la cuenca (km ²)		10136								
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		CF	CT	T	VFS (5m)	VFS (10m)	VFS (15m)	GWW	GSS	RM
	SS	12,10%	5,38%	18,26%	63,24%	63,26%	63,27%	33,45%	4,68%	25,92%
	TN	21,92%	28,41%	30,11%	33,83%	39,23%	42,90%	3,69%	2,19%	33,76%
	TP	29,86%	26,48%	28,25%	31,45%	36,63%	40,17%	4,14%	1,03%	22,47%

ID	13
Nombre del artículo	Impact Assessment of Best Management Practices (BMPs) on the Water Footprint of Agricultural Productions
Autores	hidi, S; Imani, S and Delavar, M
Revista	International Journal of Environmental Research
Año y país	2020, Irán
Resumen	<p>Este estudio propone una metodología integrada para evaluar los impactos de las BMP en la huella hídrica (HH) de las producciones agrícolas. En primer lugar, se utiliza SWAT para modelar la reducción de TN y TP en cuenca del lago Zrebar, junto con hacer el cálculo de los datos necesarios para la evaluación de la HH. En segundo lugar, se cuantifican y comparan las HH de las producciones agrícolas en diferentes escenarios de BMP, entre los que se incluyen reducción de fertilizantes y riego (FIR) y la aplicación de franjas de amortiguación (VFS). La modelización SWAT muestra que FIR y VFS son más eficaces en la reducción de TN y TP, respectivamente. Se estima que estas BMPs combinadas tienen el potencial de reducir un 60% las concentraciones de TN y TP del lago en 8 años. Al respecto de la HH de las</p>

producciones agrícolas, no se redujeron de forma significativa con las BMPs, ya que la huella hídrica de aguas grises (GWF) -que es la que cuantifica TN y TP- sólo constituye el 4,2% de la HH en esta cuenca.		
Área de la cuenca (km ²)	90	
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TN	FIR (25%) 19,00%
	TP	5,00%

Nota: Los valores tabulados fueron aproximados según interpretación de gráfico en sección resultados del estudio, ya que no se transparenta de forma explícita en el estudio.

ID	14
Nombre del artículo	Analysis of Best Management Practices Implementation on Water Quality Using the Soil and Water Assessment Tool
Autores	Motsinger, J; Kalita, P and Bhattarai, R
Revista	Water
Año y país	2016, Estados Unidos
Resumen	<p>En este estudio se cuantificó mediante un modelo SWAT validado la reducción en las exportaciones de nitrato en la cuenca de característica "tile-drained" del río Little Vermillion (LVR) en el centro-este de Illinois. Las BMPs analizadas fueron: labranza cero (ZT), cultivos de cobertura (CC), franjas de amortiguación y humedales. Los mejores resultados se obtuvieron con el uso de centeno como cultivo de cobertura, con una reducción media anual de 54,5% en las exportaciones de nitratos.</p> <p>La combinación de ZT y CC con centeno tuvo resultados variables para el periodo simulado, pero la reducción media de nitratos fue mejor que con el uso de cultivos de CC considerando una labranza convencional, obteniendo una reducción media anual de las exportaciones de nitratos del 60,5% (una mejora del 13% respecto al uso de centeno por si solo).</p>
Área de la cuenca (km ²)	489

BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TN*	CC	FS	ZT	W
		54,50%	1,50%	43,00%	1,30%

Nota: *Valores de reducción tabulados en este estudio corresponden a Nitratos.

ID	15
Nombre del artículo	Assessment of site-specific agricultural Best Management Practices in the Upper East River watershed, Wisconsin, using a field-scale SWAT model
Autores	Merriman, KR; Daggupati, P; Srinivasan, R; Hayhurst, B
Revista	JOURNAL OF GREAT LAKES RESEARCH
Año y país	2019, Estados Unidos
Resumen	<p>En este estudio se creó un modelo SWAT para determinar la eficacia de las BMPs agrícolas financiadas a través de la Iniciativa de Restauración de los Grandes Lagos, para reducir la aportación de sedimentos y nutrientes (DRP, TP y TN) procedentes de actividad agrónoma en cultivos de cereales y campos lecheros en la cuenca del Upper East River. Se calcularon las reducciones de sedimentos y nutrientes a escala de campo y de cuenca, implementando 8 BMPs individuales para generar 74 escenarios. Los resultados de la modelación indicaron que la práctica más eficaz para reducir el DRP y el TP en los campos lecheros fue una combinación de 5 BMP diferentes: cultivos de cobertura (CC), rotación de cultivos (CRT), gestión de nutrientes (NM), labranza reducida (CT) y VFS. La cubierta vegetal de conservación (CVC) fue la práctica individual más eficaz para reducir la producción de sedimentos y nutrientes. Las cargas de sedimentos y nutrientes disminuyeron a escala de cuenca a medida que aumentaba la cantidad y la cobertura de las BMP. Cuando se simularon todas las BMPs existentes a escala de cuenca, las cargas de sedimentos se redujeron en un 2%, mientras que las cargas de TP, DRP, TN y nitratos se redujeron en un 20%, 9%, 24% y 17%, respectivamente. También se indica que el almacenamiento de estiércol durante el invierno es importante para mantener los nutrientes solubles fuera de los cursos de agua.</p>
Área de la cuenca (km ²)	116,5

BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		CC	CRT	CVC	GWW	NM	ZT	
	SS	2%	19%	100%	98%	1%	19%	
	TN	15%	34%	96%	60%	13%	3%	
	TP	-9%	24%	95%	67%	11%	4%	
	CC	CRT	CVC	FS	GWW	NM	ZT	CT
	21%	10%	99%	99%	96%	9%	13%	6%
	34%	19%	90%	64%	55%	11%	2%	-1%
11%	13%	92%	71%	62%	13%	1%	0%	

Nota: En este estudio el análisis de efectividad de las BMPs se realizó a escala de campo y no de cuenca, la escala de campo es un concepto que no está definido formalmente y sirve para referirse un área particular determinada por los investigadores; en este caso la efectividad fue modelada en zonas de cultivo de cereales comerciales y para zonas dedicadas a la actividad lechera. Los primeros 6 registros corresponden a los valores de efectividad de cada BMP para la zona de cultivo de cereales, mientras que los siguientes 7 (se agrega CT) corresponden a las BMPs aplicadas en la zona dedicada a lechería.

ID	16
Nombre del artículo	Evaluation of the best management practices in a semi-arid region with high agricultural activity
Autores	Ozcan, Z; Kentel, E and Alp, E
Revista	Agricultural Water Management
Año y país	2017, Turquía
Resumen	<p>En este estudio se aplica el modelo SWAT para evaluar la eficacia de 5 BMPs agrícolas en dos subcuencas del Lago Mogán, situado en una región semiárida. Se generaron un total de 11 escenarios y se determinó que el escenario más eficaz fue aquel donde se combinaron 30% de reducción de fertilizantes (FC), labranza cero y aterrazamiento; logrando reducciones medias anuales del 9,3%, 8,6%, 8,0% y 11,1%, en sedimentos, nitrato, nitrógeno total y fósforo total, respectivamente, para la subcuenca del Yavrucak. Incluso con el mejor escenario de combinación no se alcanzaron niveles elevados de reducción de nutrientes, ya que la mayor parte del área de estudio es predominantemente abarcada por agricultura de secado y arroyos intermitentes de bajo caudal. Los resultados sugieren que deben desarrollarse soluciones integradas para mejorar la calidad del agua del lago Mogán. Se pretende que este estudio ayude a los responsables de la toma de</p>

decisiones a aplicar BMPs eficaces en cuencas hidrográficas que presenten características similares con la zona de estudio.					
Área de la cuenca (km ²)	50 (aprox)				
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		FC	ZT	CT	T
	SS	0,35%	0,28%	-	9,18%
	TN	6,02%	1,35%	0,84%	0,96%
	TP	0,51%	4,50%	1,74%	6,63%

ID	17
Nombre del artículo	Evaluating the Effectiveness of Best Management Practices On Soil Erosion Reduction Using the SWAT Model: for the Case of Gumara Watershed, Abbay (Upper Blue Nile) Basin
Autores	Gashaw, T; Dile, YT; Worqlul, AW; Bantider, A; Zeleke, G; Bewket, W; Alamirew, T
Revista	ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
Año y país	2021, Etiopía
Resumen	<p>En este estudio se evalúa la eficacia de las BMPs para reducir la erosión del suelo en la cuenca de Gumara, utilizando el modelo SWAT. El modelo se calibró de 1995-2002 y se validó de 2003-2007 utilizando SWAT-CUP, basándose en registros observados de caudal y concentración de sedimentos observados en la desembocadura de la cuenca. Se contemplaron cuatro escenarios individuales de BMP; con filtros de amortiguación (FS), barreras de piedra/suelo (CB), cursos de agua con césped (GWW) y reforestación de tierras de cultivo (RC), y tres escenarios de BMP combinadas. La mayor eficiencia de reducción del 34% se consiguió con la aplicación del escenario CB y GWW. El estudio concluye los escenarios de combinación de CB & GWW, así como GWW & RC pueden aplicarse para reducir la elevada erosión del suelo en la cuenca de Gumera y en cuencas agroecológicas similares de Etiopía. En los casos en los que no sea posible aplicar los escenarios combinados, el escenario CB puede reducir significativamente la erosión del suelo.</p>
Área de la cuenca (km ²)	1250

BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	FS 13,70%	CB 30,50%	GWW 16,20%	LUC 25,90%
--	----	--------------	--------------	---------------	---------------

ID	18				
Nombre del artículo	Calibration of a Field-Scale Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model with Field Placement of Best Management Practices in Alger Creek, Michigan				
Autores	Merriman, KR; Russell, AM; Rachol, CM; Daggupati, P; Srinivasan, R; Hayhurst, B; Stuntebeck, TD.				
Revista	Sustainability				
Año y país	2018, Estados Unidos				
Resumen	<p>En este estudio se creó un modelo SWAT para la cuenca Alger Creek, una subcuenca de la cuenca del río Saginaw en Michigan para estimar el efecto de las BMPs sobre los sedimentos, TP, nitratos y fósforo reactivo disuelto (DRP) a escalas de cuenca y "de campo" (el área concreta en que se situaron las BMPs implementadas). A escala de campo, la BMP más efectiva para reducir sedimentos, TP y DRP fue la siembra directa (ZT), seguida de los cultivos de cobertura (CC); por su parte, los CC fueron la BMP más efectiva en la reducción de nitratos. Las combinaciones más eficaces de BMPs incluyen las bandas filtrantes, que pueden tener un efecto considerable en la reducción de exportaciones de sedimentos y fósforo. A escala de cuenca hidrográfica, los resultados del modelo indican que las actuales prácticas de gestión de las cuencas hidrográficas dan lugar a reducciones mínimas de sedimentos y nutrientes (<10%).</p>				
Área de la cuenca (km ²)	50				
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	CC 34%	NM -1%	ZT 50%	CT 23%
	TN*	6%	5%	2%	-4%
	TP	31%	1%	33%	18%

Nota: *Valores de reducción tabulados en este estudio corresponden a Nitratos. Reducciones a escala de campo.

ID	19				
Nombre del artículo	Calibration of a Field-Scale Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model with Field Placement of Best Management Practices in Alger Creek, Michigan				
Autores	Merriman, KR; Russell, AM; Rachol, CM; Daggupati, P; Srinivasan, R; Hayhurst, B; Stuntebeck, TD.				
Revista	Sustainability				
Año y país	2018, Estados Unidos				
Resumen	<p>En este estudio se creó un modelo SWAT para la cuenca Alger Creek, una subcuenca de la cuenca del río Saginaw en Michigan para estimar el efecto de las BMPs sobre los sedimentos, TP, nitratos y fósforo reactivo disuelto (DRP) a escalas de cuenca y "de campo" (el área concreta en que se situaron las BMPs implementadas). A escala de campo, la BMP más efectiva para reducir sedimentos, TP y DRP fue la siembra directa (ZT), seguida de los cultivos de cobertura (CC); por su parte, los CC fueron la BMP más efectiva en la reducción de nitratos. Las combinaciones más eficaces de BMPs incluyen las bandas filtrantes, que pueden tener un efecto considerable en la reducción de exportaciones de sedimentos y fósforo. A escala de cuenca hidrográfica, los resultados del modelo indican que las actuales prácticas de gestión de las cuencas hidrográficas dan lugar a reducciones mínimas de sedimentos y nutrientes (<10%).</p>				
Área de la cuenca (km ²)	50				
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		NM	IM	CT	ZT
	SS*	-	33,5%	20,5%	21,0%
	TP	5,1%	12,8%	10,0%	9,1%

Nota: *Valores de reducción tabulados en este estudio corresponden a sólidos suspendidos

ID	20				
Nombre del artículo	SWAT model uncertainties and cumulative probability for decreased phosphorus loading by agricultural Best Management Practices				
Autores	Engebretsen, A; Vogt, RD and Bechmann, M				

Revista	CATENA
Año y país	2019, Noruega
Resumen	<p>En este estudio se realizó el proceso inverso, para una cuenca del sureste de Noruega donde ya se aplicaban BMPs se desarrolló un modelo SWAT, el cual consideraba las medidas actuales como escenario base y fue comparado mediante modelación con un escenario donde se quitan las prácticas implementadas. El objetivo de esto es comprender la incertidumbre asociada, tanto a la calibración/validación (línea de base) como a los escenarios de exportación de TP basados en BMPs. La disminución modelada de TP por BMPs se evaluó comparando el resultado de la línea base simulada con el resultado en el que se eliminó el conjunto de acciones de reducción. El modelo se calibró con registros observados de caudales diarios, sedimentos y TP. Se realizaron simulaciones con y sin el conjunto de medidas de mitigación (BMPs) aplicadas. El conjunto de medidas base incluían reducción de fósforo como fertilizante; franjas de amortiguación a lo largo de los arroyos; construcción de humedales en cursos de agua; ausencia de labranza en otoño; y eliminación de fuentes puntuales de TP procedentes de viviendas dispersas. La calibración del modelo y la estimación de la incertidumbre se realizaron mediante el algoritmo de ajuste secuencial de incertidumbre (SUFI-2). Se evaluó el riesgo probabilístico para determinadas magnitudes de aumento en la exportación de TP si no se aplicaban las BMPs. Utilizando este enfoque fue posible afirmar, con un nivel de confianza del 80%, que la exportación media anual de TP habría sido un 26% mayor si no se hubieran aplicado BMPs en la cuenca.</p>
Área de la cuenca (km ²)	67,7
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	En este caso no se entregan resultados de reducción por BMP, sino que se aborda el proceso de modelación de VFS, W, NM y ZT; y el ajuste e incertidumbre asociada sobre estos sistemas ya estando operativos en el área de estudio.

ID	21
Nombre del artículo	The impact of Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment
Autores	Strauch, M; Lima, JEFW; Volk, M; Lorz, C; Makeschin, F

Revista	Journal of Environmental Management			
Año y país	2013, Brasil			
Resumen	<p>Este estudio investiga en qué medida las Buenas Prácticas de Manejo (BMPs) agrícolas pueden contribuir a la gestión sostenible de los recursos hídricos y a la protección del suelo en la cuenca de cultivo intensivo del río Pipiripau. Se utilizó la herramienta SWAT para estudiar el impacto de dichas prácticas en el caudal y la exportación de sólidos suspendidos. El modelo se calibró y se validó con caudales medidos y cargas de sedimentos derivadas de la turbidez. Mediante simulación de escenarios, se determinó que las BMPs estructurales, como terrazas paralelas y pequeñas cuencas de sedimentación ("Barraginhas"), pueden dar lugar a reducciones de hasta 40% en la exportación de sedimentos. La aplicación de estas medidas no afectó negativamente al rendimiento hídrico. Por el contrario, medidas como múltiples rotaciones de cultivos, incluyendo cultivos de regadío de temporada seca, resultaron ser desventajosas en términos de disponibilidad de agua al reducir significativamente el caudal de los arroyos durante los periodos de bajo caudal. El estudio tiene en cuenta la incertidumbre pluviométrica del conjunto de datos de precipitación utilizado, pero a pesar de las incertidumbres existentes, se concluye que los resultados del modelo son útiles para que los gestores de recursos hídricos elaboren estrategias de protección del agua y suelo para la cuenca del río Pipiripau, así como cuencas hidrográficas de características similares.</p>			
Área de la cuenca (km ²)	188			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS*	T 31,00%	BAR 21,74%	CRT 20,73%

Nota: *Valores de reducción tabulados en este estudio corresponden a sólidos suspendidos.

ID	22
Nombre del artículo	Assessing the Impact of Best Management Practices in a Highly Anthropogenic and Ungauged Watershed Using the SWAT Model: A Case Study in the El Beal Watershed (Southeast Spain)
Autores	Lopez-Ballesteros, A; Senent-Aparicio, J; Srinivasan, R; Perez-Sanchez, J
Revista	Agronomy

Año y país	2019, España					
Resumen	<p>En el presente estudio se creó un modelo SWAT para la cuenca hidrográfica de El Beal, una cuenca antropogénica y no aforada situada en el sureste de España que drena en una laguna costera de alto valor ambiental. Se cuantificó la eficacia de cinco BMPs (cultivos de contorno, franjas de amortiguación, reforestación, control de fertilizantes y restauración de diques de contención), tanto individualmente como en combinación, para comprobar su impacto en la reducción de sedimentos y nutrientes. Para los procesos de calibración y validación se utilizaron datos de evapotranspiración real (AET) obtenidos a partir de un conjunto de datos de teledetección denominado Global Land Evaporation Amsterdam Model (GLEAM). El modelo SWAT alcanzó un buen rendimiento en el periodo de calibración, con valores estadísticos de 0,78 para la KGE, 0,81 para el coeficiente de determinación (R²), 0,58 para la NSE y 3,9% para el PBIAS; así como en el periodo de validación (KGE = 0,67, R-2 = 0,83, NS = 0,53 y PBIAS = -25,3%). Los resultados muestran que la restauración de los diques de contención es la BMP más eficaz, con una reducción del 90% en la producción de sedimentos, 15% para nitrógeno total (TN) y 22% en fósforo total (TP) a escala de cuenca, seguida por la reforestación (S = 27%, TN = 16% y TP = 20%). Todos los valores de efectividad mejoraron cuando las BMPs se evaluaron en forma combinada. Los resultados de este estudio podrían orientar a los responsables de la toma de decisiones en el desarrollo de posibles soluciones para los problemas ambientales de una laguna costera.</p>					
Área de la cuenca (km ²)	6					
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		CD	RC	CF	FS	NM
	SS	90,00%	27,00%	6,00%	5,00%	
	TN	15,00%	16,00%	10,00%	10,00%	2,00%
	TP	22,00%	20,00%	8,00%	7,00%	

ID	23
Nombre del artículo	Evaluation of best management practices for non-point source pollution based on the SWAT model in the Hanjiang River Basin, China
Autores	Li, S; Li, JK; Hao, GR; Li, YJ

Revista	Water Supply								
Año y país	2021, China								
Resumen	<p>En este estudio se utiliza el modelo SWAT para identificar la distribución espacial y temporal de la contaminación por fuentes no puntuales (NPS) y determinar las áreas de fuente críticas (CSA) en la cuenca del río Hanjiang en estación Ankang. Se implementan 8 BMPs individuales y 3 escenarios de combinación en las CSA; evaluando sus beneficios ambientales e integrales para el control de TN y TP. Los resultados muestran que la intensidad en las exportaciones de TN y TP tiene una fuerte correlación en su distribución con la escorrentía y la intensidad en la erosión de sedimentos, respectivamente; por lo tanto, la exportación de TN y TP en la estación de crecidas es significativamente superiores a la de la estación seca. Entre las 8 BMP individuales, se obtuvieron tasas de reducción relativamente altas con la cobertura de rastrojos (CVC), canales de césped (GWW) y la conversión de terrenos de cultivo en terrenos forestales(LUC), siendo la CVC la BMP que consigue los mejores resultados. Entre los 3 escenarios combinados, la combinación "CVC+ GWW + LUC (en pendientes superiores a 25 grados)" obtiene el mayor índice de reducción. En general, las BMPs como la cobertura de rastrojos, los canales de césped y la reconversión de terrenos agrícolas en terrenos forestales pueden adoptarse alternativamente para controlar la contaminación por NPS en la cuenca del río Hanjiang.</p>								
Área de la cuenca (km ²)	35347								
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		FC (20%)	ZT	CVC	VFS	GWW	CF	T	LUC
	TN	1,65%	5,8%	39%	24%	65,62%	31,17%	24%	45,16%
	TP	9,46%	-	69%	32%	66,77%	44,74%	17%	59,53%

ID	24
Nombre del artículo	Assessment of the best management practices under a semi-arid basin using SWAT model (case of M'dez watershed, Morocco)
Autores	Boufala, M; El Hmaid, A; Essahlaoui, A; Chadli, K; El Ouali, A; Lahjouj, A
Revista	Modeling Earth Systems and Environment

Año y país	2022, Marruecos		
Resumen	<p>En este estudio se cuantificó el balance hídrico, la erosión del suelo y su distribución espacial, utilizando el modelo hidroagrícola SWAT, seguido de la evaluación de las Buenas Prácticas de Manejo (BMPs), tales como: agricultura de contorno (CT); aterrazamiento (T); líneas de piedra (CB) y reforestación (LUC). El balance hídrico muestra que a nivel de cuenca la precipitación media anual fue de 382 mm, de los cuales un 79,9% se perdió por evapotranspiración y un 3,6% se transformó en escorrentía superficial. Los resultados de la aplicación de BMPs en zonas agrícolas mostraron que el escenario de agricultura de contorno fue el más eficiente, con una contribución de flujo de base a flujo superficial de un 7,8% aproximadamente, y una infiltración en aguas subterráneas de aproximadamente 48,2%, lo que supone una mejor preservación de los recursos hídricos superficiales. En cuanto a las pérdidas de suelo, la reducción fue significativa, logrando un 64,90% menos de pérdida. A nivel de cuenca, el escenario de agricultura de contorno junto con una estrategia de forestación de las subcuencas. Finalmente, el estudio demuestra que la modelación hidrológica con SWAT acoplado a BMPs ayudará en la gestión integrada de los recursos hídricos y edáficos a escala de cuenca.</p>		
Área de la cuenca (km ²)	3350		
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	CT	T	CB
	SS*	9,85%	4,55%
			5,30%

Nota: *Valor para sedimentos aproximado según interpretación de gráfico en sección resultados, no se transparenta de forma explícita en el estudio.

ID	25
Nombre del artículo	Efficiency and feasibility of Best Management Practices to reduce nutrient loads in an agricultural river basin
Autores	Ricci, GF; D'Ambrosio, E; De Girolamo, AM; Gentile, F
Revista	Agricultural Water Management
Año y país	2021, Italia

Resumen	Este documento es la continuación de un estudio anterior (Ricci et al., 2020), se utilizó SWAT para modelar fuentes de nutrientes puntuales y difusas en la cuenca de Carapelle (Apulia, Italia) y simular 5 escenarios de BMPs. Se simuló la agricultura en contorno (CF), labranza cero (ZT), la reforestación (RC) y dos escenarios adicionales, incluyendo la reducción del 20% de fertilizantes en CF y ZT, (CFR) y (ZTR), siguiendo la estrategia EUGD. La CF y la ZT aumentaron los niveles de N-NO3 tanto en la escorrentía superficial como en términos de lixiviación. Por el contrario, la RC mostró una reducción de las exportaciones de NNO3. Los escenarios CFR y ZTR disminuyeron los niveles de N-NO3 tanto en escorrentía superficial como en lixiviación en un 20%. CFR y ZTR representaron la mejor alternativa entre los escenarios analizados tanto por sus menores costes de producción, como por sus resultados en la disminución de pérdidas de nutrientes y suelo. La RC fue económicamente rentable en las áreas de mayor pendiente, estableciéndose como una BMPs que puede ser implementada en combinación con otras prácticas para tener un mayor impacto a escala de cuenca. Los resultados de este estudio proporcionan una base científica para la toma de decisiones en materia de agricultura y gestión de cuencas hidrográficas.			
Área de la cuenca (km ²)	506			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		CF	ZT	RC
	TN*	15,00%	19,00%	12,00%
	TP	9,10%	-2,20%	4,50%

Nota: *Valores de reducción tabulados en este estudio corresponden a N orgánico.

ID	26
Nombre del artículo	Assessing the Impacts of Best Management Practices on Nonpoint Source Pollution Considering Cost-Effectiveness in the Source Area of the Liao River, China
Autores	Wang, Y; Bian, JM; Lao, WM; Zhao, YS; Hou, ZY; Sun, XQ
Revista	Water
Año y país	2019, China

Resumen	<p>En este estudio, se implementaron escenarios de BMPs que incluían Franjas de amortiguación (FS), reducción de fertilizantes (FC), aumento de tierras forestales (RC), aumento de praderas (GLI), y su combinación en la cuenca del río Liao, suroeste de China. Se evalúa la rentabilidad utilizando un algoritmo de costos empírico, mientras que los efectos de las BMPs sobre la contaminación de fuentes no puntuales se simulan con un modelo SWAT. Los resultados mostraron que las BMPs combinadas tienen mejores efectos de control que escenario individual, siendo la combinación “FS20 (ancho de 20 m) + FC15 (reducción de la fertilización en un 15%) + RC” la de mayor reducción de las exportaciones en los periodos críticos. Desde las perspectivas ambiental y económica, la rentabilidad de las medidas de interceptación es superior a la de las medidas de control desde la fuente. Los resultados indicaron que la FS era la práctica más respetuosa con el medio ambiente y la FC la más rentable económicamente de todas. En cuanto a los cambios de uso del suelo, el RC fue más respetuoso ambientalmente y GLI el más eficaz desde el punto de vista económico. Finalmente, las BMPs más económicas y eficaces fueron FS1,5 (ancho de 1,5 m) y FC15.</p>										
Área de la cuenca (km ²)	11283										
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		FS (1.5m)	FS (3m)	FS (5m)	FS (10m)	FS (15m)	FS (20m)	FC (5%)	FC (10%)	FC (15%)	RC
	TN	16.14%	28,91%	41,44%	50,41%	56,59%	58,99%	13,74%	19,79%	24,89%	28,40%
	TP	19.42%	32,08%	45,10%	53,82%	60,06%	63,54%	11,93%	17,89%	21,65%	31,89%

Nota: *En este estudio, la LUC se aplicó en terrenos agrícolas con pendientes >5%.

ID	27
Nombre del artículo	Assessment of effects of best management practices on agricultural non-point source pollution in Xiangxi River watershed
Autores	Liu, R., Zhang, P., Wang, X., Chen, Y., & Shen, Z
Revista	Agricultural Water Management
Año y país	2013, China

Resumen	<p>En este estudio se mide la efectividad de 3 BMPs para reducir la contaminación del agua en la cuenca del río Xiangxi utilizando un modelo SWAT. Los resultados revelaron que cuando las tierras de cultivo se forestaron, tanto la escorrentía como exportación de contaminantes desde fuentes no puntuales (NPS) mostraron una clara tendencia a la baja y alcanzando esta última una disminución de 20% o más en comparación a los niveles de 2007. Además, la labranza de conservación y la agricultura en contorno pueden ayudar a reducir la escorrentía en un 15,99% y un 9,16%, el nitrógeno total (TN) en un 8,99% y un 8%, y el fósforo total (TP) en un 7% y un 5%, respectivamente. La labranza de conservación tiene un mayor efecto en el control de las pérdidas de suelo, agua y nutrientes que la agricultura en contorno. Basándose en las condiciones de fertilización de 2007, se puede establecer que las exportaciones contaminantes de NPS por nitrógeno (N) y fósforo (P) fueron directamente proporcionales a la cantidad de fertilizante químico aplicado. En general, los resultados de este estudio pueden facilitar el desarrollo de planes de uso del suelo respetuosos con el medio ambiente por parte de los gestores locales, y permitir a los agricultores gestionar la agricultura y los fertilizantes de forma más eficiente, logrando en última instancia el objetivo de reducir la contaminación del agua.</p>				
Área de la cuenca (km ²)	3099				
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		CT	CF	FC (20%)	FC (50%)
	TN	8,99%	8,00%	10,00%	28,02%
	TP	7,00%	5,00%	15,00%	35,00%

ID	28
Nombre del artículo	Identification of Critical Source Areas (CSAs) and Evaluation of Best Management Practices (BMPs) in Controlling Eutrophication in the Dez River Basin
Autores	Babaei, H; Nazari-Sharabian, M; Karakouzian, M; Ahmad, S
Revista	Environments
Año y país	2019, Irán

Resumen	En este estudio se utilizó la herramienta SWAT para modelar la cuenca del río Dez en Khuzestan, Irán, altamente eutrofizada debido al uso excesivo de fertilizantes y pesticidas. En esta cuenca, la agricultura de secano y de regadío producen el 77,34% y el 6,3% de la carga total de nitrógeno (TN); y el 83,56% y el 4,3% de la carga total de fósforo (TP), respectivamente. Además, los usos residenciales, de pastoreo y forestales representan conjuntamente el 16,36% de la carga de TN y el 12,14% de la de TP en esta zona. Se evaluó la aplicabilidad de 3 BMPs, además de la eliminación de fuentes puntuales, para reducir la exportación de contaminantes a la cuenca. El análisis de sensibilidad y la calibración/validación del modelo se realizaron utilizando el algoritmo SUFI-2 en el Programa de Incertidumbres de Calibración de SWAT (SWAT-CUP). Las CSA se identificaron utilizando índices individuales (sedimento, TN, TP) y combinados, basados en la cantidad de contaminación producida. Entre las BMPs aplicadas, la franja de amortiguación de 10 m fue la más eficaz para reducir la exportación de TN (42,61%), y la carga de TP (39,57%).							
Área de la cuenca (km ²)	556							
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		FS (5m)	FS (10m)	FS (5m)	FS (5m)	RL (20%)	RL (50%)	WCF
	TN	31,48%	42,61%	16,75%	29,34%	3,12%	6,34%	41,78%
	TP	33,28%	39,57%	17,98%	29,09%	0,29%	0,43%	30,01%

Nota: *Las primeras 2 FS listadas (efectividad para TN de 31.48 y 42.61%) se aplicaron en conjunto con agricultura de regadío; FS(5m) con efectividad 16.75% para TN se aplicó en un área residencial y la FS(5m) de efectividad 29.34% para TN fue simulada en agricultura de secano.

ID	29
Nombre del artículo	Pasture BMP effectiveness using an HRU-based subarea approach in SWAT
Autores	Sheshukov, AY; Douglas-Mankin, KR; Sinnathamby, S; Daggupati, P
Revista	Journal of Environmental Management
Año y país	2016, Estados Unidos
Resumen	Este estudio se llevó a cabo para evaluar impactos sobre la calidad del agua y la efectividad de dos BMPs ampliamente utilizadas en una pradera de ganado: establecer bebederos alejados del cauce y cercar el cauce. Se construyó un modelo SWAT para la cuenca del cauce Pottawatomie, este de Kansas, siendo calibrado de forma independiente, a la salida de la cuenca para caudal y en una pradera para la

escorrentía de nutrientes y sedimentos. El modelo fue empleado para simular las exportaciones de contaminantes en una pradera de ganado. La pradera se dividió en subzonas que incluían el cauce, la zona ribereña y dos zonas de pastoreo. Se simularon cinco escenarios, aplicados tanto a la pradera de ganado como a la cuenca en su totalidad, para evaluar las combinaciones de las BMPs utilizadas en praderas de pastoreo: (1) condiciones de referencia con un acceso abierto al cauce, (2) bebederos fuera del cauce instalados en subáreas individuales del prado, y (3) cercado del cauce o de la zona ribereña con bebederos fuera del cauce. Los resultados indicaron que las exportaciones contaminantes aumentan con el incremento de la carga ganadera, mientras que alejar los bebederos del cauce y/o cercar este reducen el tiempo que el ganado pasa en el cauce y con ello la exportación de nutrientes. Estas dos BMPs redujeron las exportaciones de P y N orgánicos en más de un 59% y las de nitratos en un 19%, pero las exportaciones de SST y de P adherido a los sedimentos permanecieron prácticamente inalteradas. Un índice de efectividad (EI) cuantificó los impactos de las distintas combinaciones de lugares de redistribución de los bebederos y cercado en todos los escenarios. La contribución de las riberas a las exportaciones contaminantes no se tuvo en cuenta en la metodología debido a las limitaciones del modelo SWAT, pero puede incorporarse al planteamiento si se conoce la pérdida de suelo de riberas para diferentes tasas de carga ganadera.

Área de la cuenca (km ²)	897						
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>IBAC</td> </tr> <tr> <td>TN*</td> <td>85,00%</td> </tr> <tr> <td>TP*</td> <td>59,00%</td> </tr> </table>		IBAC	TN*	85,00%	TP*	59,00%
	IBAC						
TN*	85,00%						
TP*	59,00%						

Nota: *Valores de reducción tabulados en este estudio corresponden a N y P orgánicos. Alejar los bebederos del arroyo fue la única BMP cuya efectividad se cuantificó de forma individual en el estudio.

ID	30
Nombre del artículo	SWAT modeling of best management practices for Chungju dam watershed in South Korea under future climate change scenarios
Autores	Park, JY; Yu, YS; Hwang, SJ; Kim, C; Kim, SJ
Revista	Paddy and Water Environment

Año y país	2014, Corea del Sur					
Resumen	En este estudio se utilizó un modelo SWAT calibrado para evaluar los escenarios actuales y futuros implementando BMPs adecuadas para la cuenca hidrográfica de la presa de Chungju, Corea del Sur, que incluye zonas de arrozales y cultivos de tierras altas. Las BMPs actuales (1981-2010) y futuras (años 2040 y 2080) incluyen estabilización de riberas, construcción de estructuras de recarga, presas filtrantes y agricultura en terrazas y contornos se examinaron individualmente en términos de reducción de exportaciones de contaminantes de fuentes no puntuales, aplicando los escenarios MIROC3.2 HiRes A1B y B1. La estabilización de riberas consiguió las mayores reducciones de sedimentos y TN, y la agricultura en terrazas y en contorno fue un BMP muy eficaz para la eliminación de sedimentos y TP, tanto para las condiciones climáticas actuales como futuras.					
Área de la cuenca (km ²)	6642					
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		SSS	BRS	CD	T	CF
	SS	97,20%	0,30%	49,30%	86,20%	0,80%
	TN	75,40%	-4,00%	-2,50%	-4,80%	1,00%
	TP	43,60%	-6,00%	-2,30%	69,80%	0,60%

Nota: *Para tabular se consideran los datos del escenario actual "Baseline" del estudio.

ID	31
Nombre del artículo	Meeting updated phosphorus reduction goals by applying best management practices in the Grand River watershed, southern Ontario
Autores	Hanief, A and Laursen, AE
Revista	Ecological Engineering
Año y país	2019, Estados Unidos
Resumen	En este estudio se investigó el impacto de distintas BMPs en la reducción de la tasa de exportación de sedimentos y fósforo total en diversas escalas espaciales y temporales en la cuenca del Grand River (GRW), importante zona agrícola del sur de Ontario, donde los cambios en el uso de suelo durante el siglo pasado han dado lugar a una hidrología alterada y una mayor exportación de sedimentos y de nutrientes al

<p>lago Erie. Es en el contexto del Acuerdo sobre la calidad del agua de los Grandes Lagos que se elabora un modelo SWAT para los años 2001-2010 para simular las diferentes BMPs a evaluar. Con respecto a la reducción de las exportaciones de sedimentos y TP en el lago Erie, la implementación de amplias franjas de amortiguación dio lugar a una disminución de 23% y 50%, respectivamente. La estabilización de las riberas dio lugar a una reducción de la exportación de sedimentos y TP del 38% y el 36%, mientras que las vías fluviales con césped dieron lugar a reducciones del 15% y el 17%, respectivamente.</p>						
Área de la cuenca (km ²)	6800					
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		FS (7.6m) +CT	SSS	GWW	RC	CC
	SS	23,00%	38,00%	15,00%	9,00%	5,00%
	TP	50,00%	36,00%	17,00%	9,00%	11,00%

Nota: *El criterio para establecer RC en el estudio no fue por pendiente, sino en que solo subcuencas que tuvieran usos de suelo "AGRL" o "FRST", en este caso se extendía la forestación a esa subcuenca en un 15% adicional. La CC se aplicó solo durante el invierno.

ID	32
Nombre del artículo	Assessing the effectiveness of potential best management practices for science-informed decision support at the watershed scale: The case of the Mar Menor coastal lagoon, Spain
Autores	Lopez-Ballesteros, A; Trolle, D; Srinivasan, R; Senent-Aparicio, J
Revista	Science of The Total Environment
Año y país	2023, España

Resumen	<p>En este estudio, la cuenca altamente antropogénica y compleja de la laguna costera Mar Menor, conocida como Campo de Cartagena (1244 km²), se modeló con SWAT para analizar sus posibles opciones de recuperación. El modelo se utilizó para simular varias Buenas Prácticas de Manejo (BMP) propuestas por la reciente normativa de Mar Menor, como franjas de amortiguación vegetativa, amortiguadores de la línea de costa, agricultura de contorno, eliminación de la agricultura ilegal, gestión de la rotación de cultivos, restauración de la vegetación de los cursos de agua, gestión de los fertilizantes y recogida de agua de lluvia en invernaderos. En este estudio se analizaron dieciséis escenarios de BMPs individuales y combinadas. Se observó que, como medidas individuales, las franjas de amortiguación vegetal y la agricultura en contorno eran las más eficaces en la reducción de nutrientes: aproximadamente un 30% para el nitrógeno total (TN) y un 40% para el fósforo total (TP). Además, la restauración de la vegetación en los cursos de agua mostró la mayor reducción de sedimentos (S), aproximadamente un 20%. Sin embargo, la combinación de BMPs demostró claros efectos sinérgicos, reduciendo la exportación de S en un 38%, el TN en un 67% y el TP en un 75%. La selección de las BMPs más apropiadas para ser implementadas a escala de cuenca requiere un enfoque holístico que considere la efectividad en la reducción de las exportaciones de contaminación por NPS y los costes de implementación de las BMPs.</p>						
Área de la cuenca (km ²)	1244						
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		VFS (2m)	VFS (3m)	CF	CR	GWW	FC (20%)
	SS	6.5%	7.2%	14.1%	4.1%	20.4%	-
	TN	27.0%	30.3%	29.2%	14.3%	2.0%	7.7%
	TP	36.9%	41.3%	43.2%	25.2%	2.3%	12.4%

ID	33
Nombre del artículo	Coupled DSSAT-SWAT models to reduce off-site N pollution in Mediterranean irrigated watershed
Autores	Malik, W; Jimenez-Aguirre, MT and Dechmi, F
Revista	Science of The Total Environment
Año y país	2020, España

Resumen	<p>En este estudio se hace uso de dos modelos acoplados, DSSAT y SWAT, para reducir la contaminación por nitrógeno (N) fuera del sitio (off-site) en una cuenca mediterránea irrigada. El modelo DSSAT simula el crecimiento de los cultivos y el balance de N en el suelo, mientras que el modelo SWAT simula el transporte de N en la escorrentía superficial y subsuperficial. Los autores calibraron y validaron el modelo SWAT en la cuenca de La Violada (España) y evaluaron diferentes escenarios de BMPs previamente probadas a escala de campo con el modelo DSSAT. Se utilizó SWAT-CUP para el análisis de sensibilidad, calibración y validación de las variables medidas después de la calibración manual del rendimiento de los principales cultivos. Se compararon tres escenarios de gestión con las condiciones actuales (línea base): (i) fertilización N recomendada, (ii) riego óptimo y: (iii) la combinación de i y ii. El escenario combinado de BMPs se consideró más eficiente en la reducción de la carga de NO₃-N (51%) que la fertilización N recomendada (36%) y el riego óptimo (12%) por separado, al tiempo que incluía todos los beneficios adicionales para el medio ambiente y los agricultores de ambos escenarios individuales. En estos escenarios combinados, todos los rendimientos de los cultivos se mantuvieron o aumentaron, y la reducción total del agua de riego y de la aplicación de fertilizantes minerales N fue de aproximadamente el 5% y el 27%, respectivamente. Sin embargo, es necesario seguir trabajando para considerar BMPs adicionales para limitar las pérdidas residuales de N del suelo durante el periodo sin cultivo. La metodología aplicada puede ser una buena alternativa para mejorar la calidad del agua en cuencas de regadío similares.</p>		
Área de la cuenca (km ²)	205,24		
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TN*	IM 12,00%	FC 36,00%

Nota: *Valores corresponden reducciones porcentuales de nitratos

ID	34
Nombre del artículo	Non-Point Source Pollution Simulation and Best Management Practices Analysis Based on Control Units in Northern China
Autores	Ding, Y; Dong, F; Zhao, JY; Peng, WQ; Chen, QC; Ma, B
Revista	International Journal of Environmental Research and Public Health

Año y país	2020, China					
Resumen	<p>En este estudio, se introduce el método de división de unidades de control y se analizan las características de distribución espacial y temporal de la contaminación por NPS en la cuenca del río Guishui, norte de China, utilizando el modelo SWAT. Se diseñaron cinco escenarios de BMP para realizar análisis en las materias de mejora ambiental y rentabilidad. Los resultados muestran que las pérdidas de nitrógeno total (TN) y fósforo total (TP) se concentran en la estación lluviosa, y se distribuyen principalmente en los tramos medio y bajo de la corriente principal del río Guishui. En cuanto a los resultados, el escenario de franjas de amortiguación obtuvo los mejores beneficios ambientales, con una eficacia media de reducción de TN y TP del 63,4% y el 62,6%, respectivamente. El escenario de canales con césped fue la medida más rentable, con valores de coste-beneficio (CE) de TN y TP de 1798,13 g/€ y 601,56 g/€. Se concluye que la investigación sobre contaminación NPS mediante unidades de control permite identificar más claramente las áreas de fuentes críticas de contaminación en comparación a otros métodos, y proporciona apoyo técnico a los responsables de la gestión de cuencas hidrográficas.</p>					
Área de la cuenca (km ²)	724.6					
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto (una efectividad negativa indica un aumento)		GWW	VFS (5m)	FC (10%)	FC (20%)	ZT
	TN	31.5%	63.4%	2.4%	4.7%	0.2%
	TP	33.7%	62.6%	4.4%	8.0%	0.8%

ID	35
Nombre del artículo	Use of SWAT to estimate spatial scaling of phosphorus export coefficients and load reductions due to agricultural BMPs
Autores	Almendinger, JE and Ulrich, JS
Revista	Journal of The American Water Resources Association
Año y país	2017, Estados Unidos

Resumen	En este estudio se usa el modelo SWAT para estimar la reducción en las exportaciones de fósforo mediante BMPs agrícolas y determinar cómo los coeficientes de exportación de fósforo varían con el área contribuyente. El estudio se realizó en la cuenca del río Sunrise en Minnesota, EE. UU., que tiene problemas de eutrofización y erosión. Dentro de los resultados, menciona que las BMP agrícolas, como las franjas de amortiguación, los cauces herbáceos y la reducción de las concentraciones de fósforo en el suelo, redujeron la carga de fósforo entre un 4 y un 20%, con reducciones porcentuales similares a escala de campo y de cuenca. En cuanto a los coeficientes de exportación de fósforo, se indica que desde las tierras de cultivo en rotación con maíz, soja y alfalfa disminuyeron como una función potencial negativa del área contribuyente, desde un promedio de 2.12 kg/ha/año a escala del campo elevado (~0.6 km ²) hasta 0.17 kg/ha/año a escala regional (~3000 km ²).				
Área de la cuenca (km ²)	991				
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TP	ZT 4,00%	VFS 12,00%	GWW 18,00%	NM 20,00%

ID	36
Nombre del artículo	Efficiencies of best management practices in reducing nitrate pollution of the Sebdoou River, a semi-arid Mediterranean agricultural catchment (North Africa)
Autores	Zettam, A., Briak, H., Kebede, F., Ouallali, A., Hallouz, F., & Taleb, A.
Revista	RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS
Año y país	2022, Argelia
Resumen	Este estudio aborda el problema del deterioro de la calidad del agua en Argelia debido a los nutrientes provenientes de las actividades agrícolas. Para mitigar los efectos de la agricultura y mejorar la calidad del agua, el estudio consideró el impacto de diferentes BMPs en las pérdidas de nitrato en la cuenca del Sebdoou, una cuenca mixta semiárida mediterránea. Las BMPs incluían agricultura de contorno, franjas de amortiguación y terrazas paralelas, las cuales contribuyen a reducir la erosión del suelo y retener el agua lluvia. Se utilizó el modelo SWAT para simular los escenarios actuales y futuros con las diferentes BMPs y evaluar su eficiencia y sostenibilidad. Los resultados mostraron que la máxima reducción de nitrato se

observó con el uso de terrazas paralelas, que redujeron el nitrato en del suelo en un 17% (41 kg/ha) y disminuyeron la exportación de nitrato por debajo de 133t/año (una reducción de alrededor del 11%).				
Área de la cuenca (km ²)	640			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TN*	CF	SC	T
		8,72%	8,72%	10,74%

Nota: *Valores corresponden a reducciones porcentuales de Nitrato, se calcularon considerando el valor línea base del estudio, equivalente a 149t de N al año, a la salida de la cuenca.

ID	37
Nombre del artículo	Scenario-testing of agricultural best management practices in Lake Erie watersheds
Autores	Bosch, NS; Allan, JD; Selegean, JP; Scavia, D
Revista	JOURNAL OF GREAT LAKES RESEARCH
Año y país	2013, Estados Unidos
Resumen	<p>En este estudio se utiliza SWAT para probar diversas estrategias de reducción de las exportaciones de sedimentos y nutrientes, incluyendo la aplicación de BMPs y la reducción de fuentes en diferentes combinaciones para seis cuencas hidrográficas. Estas cuencas corresponden a Huron, Raisin, Maumee, Sandusky, Cuyahoga y Grand y juntas comprenden el 53% del área binacional de la cuenca del lago Erie. Los niveles prístinos de nutrientes, tras eliminar todas las influencias antropogénicas, se estimaron en un orden de magnitud inferior a los niveles actuales, lo que subraya la necesidad de implementar acciones de gestión más robustas. Sin embargo, los cultivos de cobertura, las franjas filtrantes y la no labranza, cuando se aplicaron a niveles considerados viables, fueron mínimamente eficaces, reduciendo la exportación de sedimentos y nutrientes sólo entre un 0 y un 11% en relación con los valores actuales; obteniendo los mejores resultados en las cuencas con mayor superficie agrícola. La reducción en la producción de sedimentos fue mayor que la de nutrientes, y el mejor resultado se obtuvo cuando las tres BMPs se aplicaron de manera simultánea. La mayor reducción de nutrientes se consiguió cuando las medidas se aplicaron en sitios específicos y no al azar, mientras que la reducción de sedimentos fue mayor cuando las</p>

medidas se aplicaron cerca de la desembocadura del río. Por otro lado, una reducción moderada de las fuentes de nutrientes resultó mínimamente eficaz para reducir las exportaciones de estos. Los resultados indican que se necesita una estrategia "all-of-above" para reducir sustancialmente las exportaciones de nutrientes y que las BMPs deberían aplicarse de forma mucho más amplia.

Área de la cuenca (km²) Huron: 2379 Raisin: 2784 Maumee: 17030 Sandusky: 3455 Cuyahoga: 2100 Grand: 1896

BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	Cuenca: Huron	ZT	CC	FS
	SS	0,0%	0,0%	0,0%
	TN	1,29%	4,52%	1,29%
	TP	0,45%	1,82%	0,00%
	Cuenca: Raisin	ZT	CC	FS
	SS	7,7%	0,61%	0,36%
	TN	2,9%	3,05%	3,02%
	TP	2,9%	1,83%	1,15%
	Cuenca: Maumee	ZT	CC	FS
	SS	3,2%	-2,96%	-1,01%
	TN	7,0%	4,24%	4,84%
	TP	3,0%	2,96%	2,73%
	Cuenca: Sandusky	ZT	CC	FS
	SS	0,0%	3,94%	1,70%
	TN	2,9%	5,91%	5,55%
	TP	0,0%	3,33%	2,70%
	Cuenca: Cuyahoga	ZT	CC	FS
	SS	0,0%	-0,36%	0,19%
	TN	0,3%	0,09%	0,05%
	TP	0,0%	0,45%	0,05%

Cuenca: Grand	ZT	CC	FS
SS	0,8%	0,4%	0,0%
TN	1,75%	1,00%	1,00%
TP	1,49%	1,05%	1,35%

Nota: Resultados no se entregan de forma explícita como porcentaje, pero se calcularon uno a uno con los valores de la línea base y los obtenidos después de aplicar las BMPs (tabla 4 del estudio).

ID	38
Nombre del artículo	Optimizing Agricultural Best Management Practices in a Lake Erie Watershed
Autores	Pyo, J; Baek, SS; Kim, M; Park, S; Lee, H; Ra, JS; Cho, KH
Revista	Journal of The American Water Resources Association
Año y país	2017, Estados Unidos
Resumen	<p>En este estudio se explora el equilibrio, entre los resultados ambientales, la viabilidad económica y la familiaridad de las partes interesadas, es decir, factores que repercuten en la aceptabilidad de las BMPs en la cuenca del río Raisin. Se desarrolló un sistema de apoyo a la toma de decisiones multiobjetivo para asignar el tipo y la ubicación de las BMPs mediante el acoplamiento de SWAT con un algoritmo genético no dominado que minimiza las exportaciones de fósforo total (TP) de las HRUs y los costes, mientras se utiliza la familiaridad con las BMPs de las partes interesadas como una restricción; se exploraron la labranza convencional, la no labranza, la gestión de nutrientes, las zonas de amortiguación ribereñas y el cultivo en contorno, por si solos y combinados en un total de 15 escenarios. Utilizando restricciones que representaban las condiciones actuales, la optimización dio como resultado una reducción de entre el 59,6% y el 81,0% en la exportación de TP agrícola desde las HRU, con costes que oscilaban entre 0,8 y 5,3 millones de dólares. La optimización restringida tendió a seleccionar principalmente BMPs individuales o como máximo dos BMPs para una HRU dada debido a que estas BMPs tenían una mayor aceptabilidad para las partes interesadas. Por el contrario, en el caso no restringido, que representa la familiaridad total, se seleccionaron aplicaciones de 2 y 3 BMPs. Hubo poca diferencia en los costes entre los casos restringidos y los no restringidos de una reducción bajo el 80% en la exportación de TP; sin embargo, se</p>

encontraron diferencias significativas en reducciones mayores, lo que apoya el valor de la educación de las partes interesadas y los esfuerzos de extensión.					
Área de la cuenca (km ²)	2780				
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TP	ZT 13%	NM 3%	FS 72%	CF 81%

Nota: Los valores tabulados fueron aproximados según interpretación de gráfico en sección resultados del estudio.

ID	39
Nombre del artículo	Efficiency assessment of best management practices in sediment reduction by investigating cost-effective tradeoffs
Autores	Wu, L; Liu, X; Chen, JL; Li, JF; Yu, Y; Ma, XY
Revista	Agricultural Water Management
Año y país	2022, China
Resumen	<p>En este estudio se evalúa la eficacia y la rentabilidad de seis BMPs en la cuenca del río Yanhe, China. Para ello, se integró un método de ponderación de entropía con el modelo calibrado SWAT. Los resultados demuestran que (i) el uso híbrido del modelo SWAT y el método de ponderación de entropía puede ayudar de forma asequible a refinar las BMPs existentes y futuras. Los planes de gestión de las cuencas hidrográficas deben ajustarse en función de la estación húmeda y de las áreas fuente críticas (CSAs), ya que todas las BMPs muestran diferencias en la eficiencia de reducción de la erosión del suelo bajo diferentes estaciones hidrológicas y CSAs. (ii) Las BMPs agrícolas y la plantación de árboles pueden controlar eficazmente la erosión del suelo. La reducción de la erosión del suelo en la estación húmeda fue 17,62 veces superior a la de la estación seca. (iii) Los efectos de reducción de la erosión del suelo de varias BMPs en diferentes CSAs son diferentes. El mayor índice de evaluación global tanto de la eficacia como de la relación coste-eficacia entre las seis BMPs lo obtuvo la labranza de cobertura con residuos, por lo cual se recomienda masificar su implementación en las CSAs de la cuenca de estudio. En áreas con diferentes intensidades de erosión, el cultivo en franjas también fue altamente eficiente, es decir, el coste fue bajo, y el efecto de reducción adecuado; por lo tanto, también es adecuada para su popularización a gran escala.</p>

	Algunas tierras cultivadas en la pendiente > 15° pueden ser reforestadas selectivamente con árboles, complementando con prácticas de labranza de conservación como cultivo en franjas, cobertura vegetal de rastrojos y la agricultura de contorno.						
Área de la cuenca (km ²)	7725						
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	ZT	CF	SC	CVC	RC (>15%)	RC (>25%)
		3,18%	8,75%	16,43%	25,06%	32,16%	8,96%

ID	40
Nombre del artículo	Assessment of water quality and evaluation of best management practices in a small agricultural watershed adjacent to Coral Reef area in Japan
Autores	Sith, R; Watanabe, A; Nakamura, T; Yamamoto, T; Nadaoka, K
Revista	Agricultural Water Management
Año y país	2019, Japón
Resumen	<p>En el presente estudio se pretende evaluar la hidrología y la calidad del agua aplicando un modelo de cuenca a datos de seguimiento de alta resolución a largo plazo, y evaluar la reducción de la contaminación de fuentes no puntuales mediante la aplicación de BMPs en una pequeña cuenca agrícola del suroeste de Japón. Se acopló la herramienta SWAT a un modelo de aguas subterráneas (MODFLOW) para simular el caudal de los arroyos, así como sedimentos y vertidos de nutrientes. Los resultados revelaron que el modelo predecía con éxito el caudal horario, los sedimentos y las concentraciones de nutrientes (nitrato y fosfato) en la cuenca estudiada y que el modelo podía seguir utilizándose para evaluar escenarios de BMPs. Este es el primer intento de cuantificar los impactos de múltiples medidas de mitigación agrícola en la calidad del agua a largo plazo para sedimentos, nitratos y fosfatos en una resolución horaria. A partir de los resultados del modelo, los escenarios de conversión de especies de cultivo y el acolchado lograron una reducción significativa en los sedimentos, seguidos por los escenarios de cultivos de cobertura, labranzas de conservación y franjas de amortiguación. Además, la conversión de toda la caña de azúcar de verano en prados y los escenarios de control de fertilizantes tuvieron la mayor reducción en la exportación de nitrato, mientras otros escenarios fueron mínimamente eficaces. Por otra parte, la mayoría de los escenarios</p>

lograron reducir significativamente la carga de fosfatos. Los resultados indicaron además que las BMPs recomendadas en este estudio que lograron la reducción significativa de todas las exportaciones de NPS. Aunque este estudio reveló algunas medidas de mitigación eficaces para mejorar la calidad del agua en la cuenca de estudio, la aplicación real de las correctas puede ser un reto práctico a menos que también se tengan en cuenta otros riesgos ambientales y económicos, mencionando posibles situaciones como un aumento de otros contaminantes y/o la reducción de la productividad agrícola.									
Área de la cuenca (km ²)	12,4								
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		CT	FC	LCC	LCC	LCC	LCC	PLI	PLI
	SS		0,0%	33,3%	18,8%	44,1%	75,0%	61,0%	86,1%
	TN*	0,0%	39,0%	-	-	-	-	25,4%	53,5%
	TP*	10,4%	-	-	13,1%	59,8%	65,0%	37,7%	51,5%
		FS (1m)	FS (3m)	CVC	CVC	CC	CC	CC	
	SS	7,5%	18,9%	62,5%	70,5%	-	26,1%	17,4%	
	TN*	0,9%	2,4%	0,9%	1,1%	18,8%	15,2%	-	
TP*	27,6%	38,2%	35,4%	41,8%	-	21,1%	14,2%		

Nota: *Valores de nutrientes corresponden a reducciones de Nitratos y Fosfatos. Las LCC corresponden, en orden de aparición, a los escenarios S4; S6; S8 y S10. Misma situación para LIC, s12-s13; CVC, s16-17; y CC, s19-s21. Para este estudio se definió la CT con un 50% de "mixing efficiency" (RT).

ID	41
Nombre del artículo	Impacts of climate variability on water quality with best management practices in sub-tropical climate of USA
Autores	Jayakody, P; Parajuli, PB and Cathcart, TP
Revista	Hydrological Processes
Año y país	2014, Estados Unidos

Resumen	<p>En este estudio se investigó los impactos del cambio climático en el transporte de sedimentos y nutrientes, y la BMPs, en la cuenca alta del Río Pearl (UPRW), Mississippi. Se realizó un modelo SWAT de la UPRW utilizando datos observados de caudal, sedimentos y nutrientes. Se recogieron muestras de la calidad del agua en tres estaciones del estudio geológico estadounidense. El modelo se calibró y validó con éxito para un rango temporal diario (eficiencia de Nash Sutcliffe y coeficiente de determinación - R-2 hasta 0,7) utilizando métodos manuales y automáticos (ajuste secuencial de incertidumbres versión 2) desde febrero de 2010 hasta mayo de 2011. Los escenarios meteorológicos futuros se simularon utilizando el modelo LARS-WG, un generador de tiempo estocástico, con el Community Climate System Model, modelo climático global, que fue desarrollado por el National Center for Atmospheric Research de EE.UU. Basándose en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones A1B, A2 y B1 del Grupo IPCC, se simularon escenarios de cambio climático para mediados (2046-2065) y finales (2080-2099) de siglo. Se evaluó la eficacia de cuatro BMPs (amortiguación ribereña, vallado de arroyos, aplicaciones subsuperficiales de estiércol y franjas de amortiguación) en la reducción de sedimentos y nutrientes en las condiciones climáticas actuales y futuras. Los resultados muestran que las exportaciones de sedimentos, nitrógeno y fósforo aumentarán hasta un máximo del 26,3%, 7,3% y 14,3%, respectivamente, en las condiciones climáticas futuras (sin implementar ningún tipo de medida). Además, la eficacia de las BMPs en la eliminación se reducirá en las condiciones climáticas futuras para los sedimentos, en el caso del nitrógeno esta aumentará, mientras que para el fósforo permanecerá invariable.</p>			
Área de la cuenca (km ²)	7588			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		SF	NM	VFS
	SS	0.10%	-0.50%	54.00%
	TN	1.50%	14.70%	24.70%
	TP	-0.20%	7.00%	87.10%

Nota: Los valores tabulados corresponden a la efectividad de las BMPs en el "presente" del estudio, respecto del escenario base.

ID	42
Nombre del artículo	Assessing the Impact of Site-Specific BMPs Using a Spatially Explicit, Field-Scale SWAT Model with Edge-of-Field and Tile Hydrology and Water-Quality Data in the Eagle Creek Watershed, Ohio
Autores	Merriman, KR; Daggupati, P; Srinivasan, R; Toussant, C ; Russell, AM; Hayhurst, B
Revista	Water

Año y país	2018, Estados Unidos								
Resumen	<p>En el contexto de la Iniciativa de Restauración de los Grandes Lago (EE.UU.) en este estudio se construyó y calibró un modelo SWAT para la cuenca de Eagle Creek, predominantemente agrícola, incorporando BMPs NCP y datos de monitoreo en la salida de la cuenca, un borde del campo (EOF), y "tile monitoring sites". En la salida de la cuenca, se lograron estadísticas de calibración satisfactorias a muy buenas durante un periodo de calibración de 2 años, y se encontraron estadísticas satisfactorias en el periodo de validación de 2 años. SWAT fija los parámetros que controlan los nutrientes principalmente a nivel de cuenca; se indica que un refinamiento de estos parámetros a menor escala podría mejorar la calibración a nivel de campo. Los resultados de la modelación a escala de campo indican que las franjas de amortiguación (FS) son la BMP más efectiva para reducir el fósforo reactivo disuelto, y normalmente reducen sedimentos y nutrientes cuando se añaden a cualquier combinación de BMPs. Los cultivos de cobertura fueron la BMP más eficaz para reducir las exportaciones de nutrientes durante los meses de invierno. Los resultados a escala de cuenca indican que las BMPs pueden reducir los sedimentos y nutrientes, pero las reducciones debidas a las BMPs NCP en la cuenca de Eagle Creek para todos los constituyentes de la calidad del agua fueron inferiores al 10%. También se menciona que los escenarios simulados con mayores superficies de BMP indican que una mayor inversión en la BMP adecuada o en una combinación de BMP puede reducir las exportaciones a nivel de cuenca.</p>								
Área de la cuenca (km ²)	125								
		CC	CRT	CVC	FS	GWW	NM	PG	UW
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	22,00%	9,00%	98,00%	97,00%	60,00%	0,00%	9,00%	99,00%
	TN	12,00%	21,00%	97,00%	13,00%	9,00%	2,00%	0,00%	0,00%
	TP	21,00%	9,00%	88,00%	63,00%	39,00%	1,00%	2,00%	90,00%
Nota: *El estudio menciona que los valores de reducción son a escala de campo.									
ID	43								
Nombre del artículo	Effect of best management practice implementation on sediment and phosphorus load reductions at subwatershed and watershed scale using SWAT model								

Autores	Lamba, J; Thompson, AM; Karthikeyan, KG; Panuska, JC; Good, LW		
Revista	International Journal of Sediment Research		
Año y país	2016, Estados Unidos		
Resumen	<p>En este estudio se utiliza un modelo SWAT para identificar CSAs a nivel de subcuenca y evaluar el impacto de BMPs alternativas en la reducción de sedimentos y fósforo total (TP) en la cuenca de Pleasant Valley en el centro sur de Wisconsin (EE.UU.). La eficacia de Nash-Sutcliffe, el porcentaje de sesgo y el coeficiente de determinación oscilaron entre 0,58 y 0,71, -12,87 y 38,33, y 0,67 y 0,79, respectivamente, lo que indica que SWAT fue capaz de predecir el caudal, los sedimentos y las exportaciones de TP en un rango temporal mensual con suficiente precisión. Basándose en los resultados de la simulación SWAT, la exportación media anual (2006-2012) de sedimentos y TP para la subcuenca osciló entre 0,06 y 3,14 t/ha y entre 0,04 y 1,9 kg/ha al año, respectivamente. Las tierras de cultivo fueron la principal fuente de sedimentos y TP en esta cuenca ($\leq 84\%$). La reducción de las exportaciones de sedimentos y TP osciló entre el 66% y el 99% a nivel de subcuenca tras la conversión de las tierras de cultivo en praderas del Programa de Reserva de Conservación (CRP) en las subcuencas identificadas como CSA. Por otra parte, la reducción en la exportación de sedimentos y TP con la aplicación de prácticas de siembra directa osciló entre 14% y 25%. En la desembocadura de la cuenca, la reducción en la exportación de sedimentos y TP fue $\leq 15\%$ tras la conversión de las tierras de cultivo en praderas CRP y la aplicación de prácticas de siembra directa debido a que sólo alrededor del 8% de la superficie de la cuenca fue elegible para implementar BMPs, además de considerar el fenómeno de resuspensión de sedimentos depositados en el lecho del arroyo, con potencial de enmascarar la mejora en la calidad del agua aguas abajo.</p>		
Área de la cuenca (km ²)	50		
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		ZT	LCC
	SS	2,00%	9,00%
	TP	3,00%	15,00%
Nota: Se consideraron los resultados para las condiciones climáticas actuales, "short-term", del estudio.			
ID	44		

Nombre del artículo	Comparative Water Environment Simulation Study of Two Typical Models with BMPs in a Karst Basin						
Autores	Zhang, J; Zhang, PQ and Song, YY						
Revista	AGRICULTURE-BASEL						
Año y país	2022, China						
Resumen	<p>En este estudio se combinaron tres series de registros meteorológicos con el modelo SWAT y el modelo HSPF, para simular por separado los procesos hidrológicos y de calidad del agua en la cuenca del río Lijiang, zona de típico de concentración kárstica. Se eligieron el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), el coeficiente de determinación (R2), la relación error cuadrático medio-desviación estándar de las observaciones (RSR) y el error medio absoluto (MAE) como estadísticos utilizados para evaluar los modelos. Se dividieron las zonas kársticas y no kársticas para analizar sus diferencias en cuanto al balance hídrico, el transporte de sedimentos y niveles de contaminación. Los resultados indicaron que el modelo SWAT proporciona un rendimiento más preciso que el modelo HSPF en las simulaciones de caudal, nitrógeno amoniacal (NH3-N) y oxígeno disuelto (OD). Además, se identificaron las principales CSAs en la cuenca del río Lijiang, junto con evaluar el efecto de reducción de la contaminación de las Buenas Prácticas de Manejo (BMPs) sobre la contaminación de origen superficial y proponer algunas contramedidas de control de la contaminación. Cada escenario, especialmente la reforestación de las tierras de cultivo y la creación de zonas de amortiguación con vegetación, redujeron la carga contaminante de NH3-N y DO.</p>						
Área de la cuenca (km ²)	5444						
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	ZT	CVC	FS (10m)	GWW	CH	RC (>15%)	
	TN*	7,41%	14,81%	28,40%	23,46%	24,69%	34,57%
Nota: *Valores de reducción tabulados en este estudio corresponden a Nitratos. El estudio menciona que los valores de reducción son a escala de subcuenca.							
ID	45						

Nombre del artículo	Cost-effectiveness and cost-benefit analysis of BMPs in controlling agricultural nonpoint source pollution in China based on the SWAT model							
Autores	Liu, R; Zhang, P; Wang, X; Wang, J; Yu, W; Shen, Z							
Revista	Environmental Monitoring and Assessment							
Año y país	2014, China							
Resumen	El estudio evaluó siete escenarios de BMP en un gran afluente del embalse de las Tres Gargantas (TGR) en China. Los resultados indicaron que la reforestación fue la BMP más económicamente eficiente y amigable con el medio ambiente. La práctica sin labranza y la labranza en contorno también fueron efectivas y económicamente eficientes. Reducir el nivel local de fertilizantes a 0.8 veces menos que en 2010 puede generar una eficiencia ambiental y económica satisfactoria. Las relaciones costo-beneficio (CB) de las BMP fueron las siguientes: reforestación (207%) > labranza en contorno (129%) > sin labranza (114%) > gestión de fertilizantes (96% y 89%). Las BMP más económicas y efectivas fueron la BMP1 (conversión de tierras cultivables con pendientes >25° a bosques), BMP2 (implementar no labranza en tierras cultivables con pendientes <15°) y BMP5 (0.8 veces menos que en 2010).							
Área de la cuenca (km ²)	3099							
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		RC (>25%)	ZT	CT	FC (50%)	FC (20%)	FC (+30%)	FC (+50%)
	TN	30,2%	32,0%	26,0%	50,0%	22,0%	-20,0%	-43,0%
	TP	44,6%	21,9%	18,9%	40,1%	30,8%	-33,1%	-52,0%

Nota: ZT y CT se aplicaron en pendientes <15%. Los escenarios FC con un signo "+" antepuesto implican lo contrario a la naturaleza de esta BMP, es decir, un aumento en la aplicación de fertilizante en la cantidad descrita; es decir FC (+50%)=150% de la dosis suministrada inicial. Este estudio considera 2 líneas base, una para el uso de suelo de bosques, que aplica para RC y otra para las tierras de cultivo.

ID	46
Nombre del artículo	A Soil Water Assessment Tool (SWAT) Modeling Approach to Prioritize Soil Conservation Management in River Basin Critical Areas Coupled with Future Climate Scenario Analysis
Autores	Pandey, A; Bishal, KC; Kalura, P; Chowdary, VM; Jha, CS; Cerda, A

Revista	AIR SOIL AND WATER RESEARCH							
Año y país	2021, India							
Resumen	Este estudio utilizó el modelo SWAT para priorizar las áreas críticas de la cuenca del río Tons, en los estados centrales de India junto con el análisis de escenarios climáticos futuros (2030-2050) utilizando los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. El modelo fue calibrado y validado para simular el caudal y la producción de sedimentos. Los resultados mostraron que la exportación anual promedio de sedimentos podría aumentar en el futuro. Se consideraron varias medidas de conservación del suelo y el agua (BMPs), como estructuras de recarga, cultivo en contorno, franjas de amortiguación de 3 y 6 m, tapones porosos para zanjas, labranza cero y operaciones de labranza de conservación. La estructura de recarga fue la BMP la más efectiva con una reducción máxima del sedimento en un 38.98%.							
Área de la cuenca (km ²)	17500							
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	BRS	FS (3m)	FS (6m)	CF	CD	ZT	CT
		38,98%	21,90%	26,54%	22,63%	12,00%	6,57%	4,53%

Nota: Se consideran los valores de reducción del escenario presente del estudio, "Baseline", para tabular.

ID	47
Nombre del artículo	Modeling and Prioritizing Interventions Using Pollution Hotspots for Reducing Nutrients, Atrazine and <i>E. coli</i> in a Mixed-Use Watershed
Autores	Abimbola, O., Mittelstet, A., Messer, T., Berry, E. & van Griensven, A.
Revista	Sustainability
Año y país	2021, Estados Unidos
Resumen	En este estudio se utilizó un modelo hidrológico y de calidad del agua (SWAT) para identificar y priorizar las zonas más contaminadas por nutrientes, atrazina y <i>E. coli</i> en una cuenca hidrográfica de uso mixto en Nebraska. Se evaluaron diferentes escenarios de intervención basados en el uso de BMPs como filtros ribereños, terrazas y rotación de cultivos. Los resultados mostraron que las intervenciones redujeron significativamente las exportaciones de contaminantes en la cuenca y que las zonas más contaminadas

fueron las más sensibles a las BMPs. El estudio proporciona una metodología útil para la planificación y el diseño de estrategias de restauración ambiental a nivel de cuenca hidrográfica.			
Área de la cuenca (km ²)	1610		
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		FS	GWW
	SS	-	97,00%
	TN	20,00%	53,00%
	TP	23,50%	65,00%

Nota: Para la efectividad, se consideraron los valores reportados como “Best-Case Annual Reduction” en el estudio.

ID	48
Nombre del artículo	Assessment of BMPs by Estimating Hydrologic and Water Quality Outputs Using SWAT in Yazoo River Watershed.
Autores	Venishetty, V., & Parajuli, P. B.
Revista	Agriculture
Año y país	2022, Estados Unidos
Resumen	<p>En este estudio se evaluó la calidad del agua en la cuenca del río Yazoo en Mississippi utilizando el modelo SWAT para cuantificar los parámetros de calidad del agua. El modelo fue calibrado y validado para el caudal de los ríos, sedimentos y nutrientes totales (TN y TP) en las estaciones de medición USGS en la cuenca. La eficiencia del modelo se evaluó con el Coeficiente de Determinación (R²) y el índice de Eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE). Se implementaron BMPs en toda la cuenca para simular el impacto de las BMPs en el caudal del río, los sedimentos y las exportaciones de nutrientes. Se probaron Franjas Filtrantes Vegetativas (VFS), zonas de amortiguación ribereña, una combinación de VFS y zonas de amortiguación ribereña y Cultivos de Cobertura (CC) para evaluar la BMP más efectiva para mejorar la calidad del agua. Los resultados mostraron que las VFS, zonas de amortiguación ribereña y su combinación (VFS + ribereñas) no tuvieron efecto sobre el caudal del río, pero fueron capaces de disminuir las exportaciones de sedimentos, TN y TP. El escenario con ambos VFS y zona de amortiguación ribereña tuvo la mayor capacidad de reducción según el ancho variable (5, 10, 15 y 20 m). Para CC se utilizaron pasto centeno,</p>

cebada invernal y trigo invernal (WW), siendo el pasto centeno el que tuvo una mayor reducción del 5.3% en el caudal del río. WW tiene la mayor reducción total de nitrógeno que es del 25.4%. CC también tiene una reducción significativa entre 10% a 11% para TP.								
Área de la cuenca (km ²)	50800							
		VFS (5m)	VFS (10m)	VFS (15m)	VFS (20m)	CC ₁	CC ₂	CC ₃
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	4,50%	5,80%	7,00%	8,00%	-	-	-
	TN	21,00%	26,90%	31,00%	34,60%	16,30%	14,40%	25,40%
	TP	22,10%	27,20%	30,70%	33,40%	10,60%	10,60%	10,40%

Nota: CC₁, CC₂ y CC₃ corresponden a CC con centeno, cebada y trigo respectivamente.

ID	49
Nombre del artículo	Discharge permit market and farm management nexus: an approach for eutrophication control in small basins with low-income farmers
Autores	Imani, S., Niksokhan, M. H., Jamshidi, S., & Abbaspour, K. C.
Revista	Environmental Monitoring and Assessment
Año y país	2017, Irán
Resumen	En este estudio se propone una perspectiva que integra un mercado de permisos de descarga de múltiples contaminantes con las prácticas de manejo agrícola, con el objetivo de encontrar una forma de asignar la carga de contaminación (WLA) a las fuentes no puntuales (NPS) que sea más económica e incentive a los responsables de estas fuentes a reducir sus emisiones. La zona de estudio fue la cuenca del lago Zrebar en el oeste de Irán y se utilizó el modelo SWAT para simular los escenarios de control de la eutrofización. Los coeficientes de exportación (ECs), la efectividad de las BMPs y el rendimiento de los cultivos se calcularon mediante este software. Estas variables muestran que los agricultores de bajos ingresos difícilmente pueden invertir en BMPs en una WLA típica. Por el contrario, un mercado de permisos de descarga presenta una solución más rentable. Este método ahorra un 64% en los costos totales de abatimiento y motiva a los agricultores al ofrecerles beneficios económicos. Un análisis de

mercado reveló que los permisos de nitrógeno cubren la mayoría de las transacciones con un precio óptimo que oscila entre \$6 y \$30 por kilogramo. Sin embargo, los permisos de fósforo son limitados para el comercio y su precio supera los \$60 por kilogramo. Este enfoque también enfatiza el establecimiento de una institución regional para el monitoreo del mercado, la fijación dinámica de precios, la redistribución justa de fondos, la información a los participantes y la garantía de sus ingresos. Con estos conjuntos de estrategias, una WLA al borde del fracaso puede convertirse en una política rentable y sostenible para el control de la eutrofización en cuencas pequeñas.			
Área de la cuenca (km ²)	89		
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		FS (10m)	FS (25m)
	TN*	60,00%	85,00%
	TP*	50,00%	60,00%

Nota: *Valores de reducción tabulados en este estudio corresponden a fosfato y nitratos. FS fue la única BMP que se analizó de forma individual en el estudio, por lo cual puede ser tabulada.

ID	50
Nombre del artículo	Developing a decision support tool for assessing land use change and BMPs in ungauged watersheds based on decision rules provided by SWAT simulation
Autores	Qi, J., Li, S., Bourque, C. P.-A., Xing, Z., & Meng, F.-R.
Revista	Hydrology and Earth System Sciences
Año y país	2018, Canadá
Resumen	En este estudio se presenta un enfoque para desarrollar una herramienta de apoyo a la decisión (DST) simple para que los tomadores de decisiones y economistas evalúen los impactos multianuales del cambio de uso del suelo y las BMPs sobre la cantidad y calidad del agua para cuencas hidrográficas no medidas. El ejemplo de DST desarrollado en el presente estudio se basó en ecuaciones estadísticas derivadas de simulaciones de SWAT y se aplicó a una pequeña cuenca experimental en el noroeste de New Brunswick. Posteriormente, el DST fue probado contra mediciones de campo y simulaciones SWAT para una cuenca más grande. Los resultados del DST pudieron reproducir tanto los datos de campo como las simulaciones del modelo de cuadal anual y exportaciones de sedimentos y nutrientes. El error relativo de la descarga

	<p>anual media, sedimentos, nitrato de nitrógeno y fósforo soluble fue de -6%, -52%, 27% y -16%, respectivamente, para la simulación a largo plazo. En comparación con SWAT, DST tiene menos requisitos de entrada y puede aplicarse a múltiples cuencas sin calibración adicional. Además, los análisis escénicos con DST pueden realizarse directamente para diferentes combinaciones de uso del suelo y BMPs sin procedimientos complejos de configuración del modelo.</p>	
Área de la cuenca (km ²)	380	
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	CT 26,79%
	TN*	0,00%
	TP*	-11,36%

Nota: *Valores de reducción tabulados en este estudio corresponden a fósforo soluble y nitratos (cálculo con valores de Tabla 6 del estudio)

ID	51
Nombre del artículo	Managing Saltwater Intrusion and Agricultural Practices along the Boğaçay River, Turkey: Effects from Excavation and Land Source Pollution
Autores	Akiner, M.E. & Lačnjevac, C.
Revista	Journal of Coastal Research
Año y país	2022, Turquía
Resumen	<p>En este estudio se exploran las acciones que podrían realizarse para combatir la intrusión de agua salada y la contaminación por nutrientes en el río Boğaçay en Turquía. Se utilizó modelación para estimar hasta qué punto las BMPs serían eficientes en la reducción de las exportaciones de contaminantes. En el modelado de BMPs con SWAT, se anticipa una disminución del 39%, 38% y 38% en la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO5), fósforo total y exportaciones totales de nitrógeno Kjeldahl, respectivamente. Se observó erosión costera de hasta 25 m desde el inicio de un proyecto de excavación en la zona hasta el presente. Se identificó un nivel de contaminación sustancial proveniente de fuentes difusas. Se comenta además que el municipio está intentando remediar este problema mediante cosechas periódicas, lo cual tras la investigación se concluye una opción excesivamente costosa e ineficaz.</p>
Área de la cuenca (km ²)	850

BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TP	T + FS 38%
--	----	---------------

Nota: Resultado de (T+FS) corresponde a la aplicación de BMPs terrazas en combinación con FS de 30 metros.

ID	52			
Nombre del artículo	Evaluation of nutrient retention in vegetated filter strips using the SWAT model			
Autores	Elçi, A.			
Revista	Water Science & Technology			
Año y país	2017, Turquía			
Resumen	En este estudio se evaluó el impacto de la aplicación de la BMP franjas de amortiguación con vegetación (VFS) . Para este propósito, se eligió SWAT para evaluar la calidad del agua y se aplicó en la cuenca del río Nif en Turquía. El modelo fue calibrado con un procedimiento automatizado contra datos mensuales medidos de descarga. Las cargas de nutrientes para cada subcuenca se estimaron considerando datos sobre el uso de fertilizantes químicos y estiércol en toda la cuenca, datos poblacionales para efluentes sépticos e información sobre la cobertura del suelo. Las cargas de nutrientes para 19 subcuencas se predijeron anualmente. Las cargas promedio totales de nitrógeno y fósforo se estimaron en 47.85 t/año y 13.36 t/año para toda la cuenca. Los resultados muestran que la aplicación VFS en una subcuenca ofrece una retención limitada de nutrientes y que una selección de ancho del filtro de 20 m es más efectiva desde una perspectiva costo-beneficio.			
Área de la cuenca (km ²)	981			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		VFS (10m)	VFS (20m)	VFS (30m)
	TN	1.30%	4.20%	5.70%
	TP	3.30%	7.80%	9.60%

ID	53			
Nombre del artículo	Assessing the impact of the MRBI program in a data limited Arkansas watershed using the SWAT model			
Autores	Leh, M. D. K., Sharpley, A. N., Singh, G., & Matlock, M. D.			

Revista	Agricultural Water Management						
Año y país	2018, Estados Unidos						
Resumen	<p>En este estudio se evaluó la efectividad del programa MRBI en la cuenca del lago Conway Point Remove (LCPR) utilizando el modelo SWAT. El programa MRBI (Mississippi River Basin Healthy Watersheds Initiative) es una iniciativa desarrollada por el USDA-NRCS para mejorar la salud, la calidad del agua y el hábitat de la vida silvestre dentro de la cuenca del río Mississippi. Se modelaron siete BMPs (estanque, humedal, estanque y humedal, cultivos de cobertura, franjas filtrantes vegetativas, vías de agua con césped y plantación de forraje y biomasa) bajo cuatro estrategias de colocación: colocación aleatoria en el 30% de la cuenca, colocación aleatoria en el 30% de las unidades hidrológicas (HRUs) del código hidrológico (HUCs) prioritario alto, colocación en el 30% superior del HUCs prioritario alto y el 30% superior del HRUs en los HUCs cerca del desagüe de la cuenca. De las BMPs evaluadas, las vías con césped resultaron ser la BMP más efectiva para reducir las exportaciones de sedimentos y nutrientes provenientes de campos agrícolas (soya) y pastizales. Las reducciones en la salida de la cuenca variaron entre 0-1% para el flujo, 0.28-14% para sedimentos, 0.3-10% para TP y 0.3-9% para TN. Se observaron reducciones relativamente mayores a nivel subcuenca: las reducciones del flujo variaron entre 0-51%, las reducciones del sedimento entre -1 a 79%, TP de -1 a 65% y TN de -0.37 a 66%, dependiendo del tipo de BMP utilizada.</p>						
Área de la cuenca (km ²)	2950						
		TRP	W	CC	VFS	GWW	RC
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	31,00%	27,70%	27,00%	25,80%	25,00%	27,30%
	TN	27,80%	27,70%	26,80%	26,60%	25,90%	26,80%
	TP	89,00%	88,20%	85,00%	85,20%	82,80%	86,50%

Nota: *Reducciones promedio (aparentemente a escala de campo), obtenidas en el Escenario A del estudio (100% de implementación de las BMPs de manera aleatoria en un 30% de los códigos de unidad hidrológica de 8 dígitos).

ID	54
Nombre del artículo	Effect of conservation practices implemented by USDA programs at field and watershed scales
Autores	Her, Y., Chaubey, I., Frankenberger, J., & Smith, D.
Revista	Journal of Soil and Water Conservation
Año y país	2016, Estados Unidos

Resumen	<p>En este estudio se evaluaron los efectos de BMPs implementadas en la reducción de cargas de sedimentos y nutrientes a nivel de campo y cuenca. En el marco del Objetivo Prioritario de la Agencia del USDA para Proyectos Piloto de Agua, se obtuvo información sobre las BMPs implementadas en la cuenca del río St. Joseph. Los resultados del modelo indicaron que muchas de las BMPs redujeron las cargas contaminantes entre un 10% y un 50% a nivel de campo, con una alta variabilidad entre las prácticas. La mayoría de las BMPs redujeron menos del 1% de las cargas cuando se calcularon a nivel de toda la cuenca, pero la reducción fue significativa y se esperaba que sus efectos acumulativos a largo plazo sean significativos. La rotación de cultivos y la no labranza fueron las BMPs más ampliamente aplicadas en la cuenca estudiada y proporcionaron la mayor reducción en cargas sedimentarias. La rotación de cultivos de conservación y los cultivos de cobertura redujeron la mayor cantidad de nutrientes. La rotación de cultivos de conservación, los cultivos de cobertura, la no labranza y los rastrojos a veces aumentaron las cargas de nutrientes solubles, lo que resultó en una disminución general en su efectividad. Los hallazgos del estudio demostraron una efectividad distinta de las BMPs en diferentes escalas espaciales, sugiriendo que el área de aplicación, la efectividad a nivel de campo y la ubicación son igualmente críticos para lograr una mejora en la calidad del agua a nivel cuenca. Nota: los porcentajes que fueron tabulados más abajo corresponden la efectividad de las BMPs implementadas por el estudio a escala de cuenca.</p>							
Área de la cuenca (km ²)	2808							
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		CVC	CRT	ZT	CC	FS	NM (10%)	NM (20%)
	SS	0.37%	1.22%	1.00%	1.10%	0.33%	0.00%	0.00%
	TN	0.30%	1.24%	0.29%	0.82%	0.20%	0.15%	0.29%
	TP	0.43%	1.87%	0.18%	1.21%	0.36%	0.29%	0.57%

ID	55
Nombre del artículo	Modified control strategies for critical source area of nitrogen (CSAN) in a typical freeze-thaw watershed
Autores	Wei, P., Ouyang, W., Gao, X., Hao, F., Hao, Z., & Liu, H.
Revista	Journal of Hydrology
Año y país	2017, China
Resumen	<p>En este estudio se utilizó el modelo SWAT para simular las exportaciones difusas de N en cuencas hidrográficas y se propuso una estrategia modificada para abordar los desafíos en la gestión de áreas críticas de nitrógeno de origen difuso (CSANs). Este estudio tiene como objetivo mejorar el control de la</p>

<p>contaminación difusa en áreas frías y mejorar la comprensión sobre cómo responde la eficiencia en la eliminación del nitrógeno por parte de BMPs a variaciones en condiciones hidrológicas. Se consideraron las variaciones espaciales y temporales de las CSANs causadas por diferencias en la precipitación y las estaciones del año. Además, se seleccionaron BMPs según su rendimiento y sus características estacionales en el control del N difuso. Las exportaciones difusas de N formadas durante las estaciones de congelación-descongelación representan aproximadamente el 50% del total anual. La exportación difusa de N a los ríos fue mayor en condiciones húmedas que secas durante las estaciones de congelación-descongelación y crecimiento. La distribución espacial de las CSANs fue más sensible a las diferencias entre estas estaciones. Las BMPs franjas de amortiguación (FS), labranza cero (NT) y reducción del uso de fertilizantes nitrogenados (RNFA) mostraron diferencias en su eficiencia para eliminar el N difuso bajo diferentes condiciones hidrológicas y estacionales. Las operaciones de reforestación no fueron afectadas por estos factores. Este estudio tiene como objetivo mejorar el control de la contaminación difusa en áreas frías y mejorar la comprensión sobre cómo responde la eficiencia en la eliminación del nitrógeno por parte de BMPs a variaciones en condiciones hidrológicas.</p>						
Área de la cuenca (km ²)	142,9					
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TN	FS (5m) 47%	FS (10m) 60%	ZT 6,37%	FC (10%) 5,70%	FC (20%) 10,70%

Nota: Se consideraron los resultados de efectividad de las BMPs para lo que en el estudio se describe como "normal conditions", durante la temporada de crecimiento de los cultivos (Growing-season). Para ZT se realizó un cálculo aproximado de los valores, bajo el supuesto de que las aportaciones de área de cada CSAN son equitativas y para las FS se utilizó el mismo supuesto bajo valores interpretados de la Figura 12 del respectivo estudio.

ID	56
Nombre del artículo	Quantifying effects of conservation practices on non-point source pollution in the Miyun Reservoir Watershed, China
Autores	Qiu, J., Shen, Z., Chen, L., & Hou, X.
Revista	Environmental Monitoring and Assessment
Año y país	2019, China
Resumen	En este estudio se utilizó el modelo SWAT para evaluar las cargas de contaminación por fuentes no puntuales y la efectividad de BMPs en dos subcuencas dentro de la cuenca del embalse de Miyun (MRW). Se analizaron las distribuciones espaciales de los tipos de suelo y los usos del suelo, así como los cambios en la precipitación y la aplicación de fertilizantes, para dilucidar la distribución de la contaminación en esta

<p>cuenca desde 1990 hasta 2010. Los resultados demostraron que las pérdidas de nutrientes se vieron significativamente afectadas por las propiedades del suelo y fueron mayores tanto en tierras agrícolas como en terrenos baldíos. La distribución temporal de la exportación de contaminantes fue consistente con la distribución de la precipitación. La erosión del suelo y las pérdidas de nutrientes aumentarían los riesgos de eutrofización del agua y degradación del ecosistema en el embalse de Miyun. El modelo SWAT bien calibrado se utilizó para evaluar los efectos de varias BMPs, incluyendo franjas filtrantes, vías fluviales con césped, humedales construidos, cuencas de retención, forestación de tierras agrícolas, gestión de nutrientes del suelo, labranza de conservación, cultivo en contorno y cultivo en franjas. Las tasas de eliminación de esas BMPs oscilaron entre el 1.03 y el 38.40% para el nitrógeno total (TN) y entre el 1.36 y el 39.34% para fósforo total (TP). La eficiencia de las BMPs dependía de los parámetros de diseño y factores locales y variaba en diferentes subcuencas. Este estudio reveló que ninguna BMP individual podría lograr los objetivos de mejora de la calidad del agua y destacó la importancia de una configuración óptima de combinaciones de BMPs a escala subcuenca. Los hallazgos presentados aquí proporcionan información valiosa para desarrollar estrategias sostenibles para la gestión de cuencas hidrográficas.</p>											
Área de la cuenca (km ²)	5892.97 y 9030.98										
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		CF	FC (20%)	FC (30%)	FS (5m)	FS (10m)	FS (15m)	GWW	BAR	W	SC
	TN	24,09%	8,22%	8,73%	23,89%	37,23%	40,42%	32,67%	38,36%	28,03%	24,04%
	TP	21,15%	9,74%	10,20%	37,01%	39,34%	41,69%	35,02%	32,60%	37,83%	21,10%

ID	57
Nombre del artículo	Modeling runoff-sediment influx responses to alternative BMP interventions in the Gojeb watershed, Ethiopia, using the SWAT hydrological model
Autores	Anteneh, Y., Alamirew, T., Zeleke, G., & Kassawmar, T.
Revista	Environmental Science and Pollution Research
Año y país	2023, Ethiopia
Resumen	En este estudio se utilizó el modelo SWAT para evaluar los procesos hidrológicos de la cuenca de Gojeb en Etiopía, las exportaciones de sedimentos aguas abajo hacia la presa Gibe III y las ubicaciones de las zonas de erosión crítica. Se simularon diferentes escenarios de intervención en la cuenca utilizando BMPs para evaluar su efecto en la exportación de sedimentos y la escorrentía superficial. Los resultados de la simulación indican una clara tendencia creciente en la producción de sedimentos. Temporalmente, la máxima cantidad de sedimentos exportados se da entre junio y septiembre, y el mínimo en febrero. Se

	<p>observa una tendencia similar claramente definida entre la precipitación, la escorrentía superficial y la exportación de sedimentos en el paisaje. Espacialmente, el máximo de sedimento transportado fuera de la cuenca proviene de HRUs agrícolas con pendiente superior a 50%, precipitación anual superior a 1592 mm y escorrentía superficial superior a 151mm. Se indica que la cuenca está bajo una seria amenaza de erosión debido a la pérdida de vegetación, la actividad agrícola en pendientes empinadas y la alta escorrentía superficial. A pesar de ello, la aplicación de BMPs en áreas críticas propensas a la erosión puede apoyar la reducción general de la exportación total de sedimentos y la escorrentía superficial.</p>				
Área de la cuenca (km ²)	6982				
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	T 52,66%	FS (1m) 39,68%	FS (2m) 47,76%	RC 21,50%

Nota: El estudio menciona que los valores corresponden a reducciones promedio en las CSAs

ID	58
Nombre del artículo	Utilizing intensive monitoring and simulations for identifying sources of phosphorus and sediment and for directing, siting, and assessing BMPs: The Genesee River example
Autores	Makarewicz, J.C., Lewis, T.W., Winslow, M., Rea, E., Dressel, L., Pettenski, D., Snyder, B.J., Richards, P., & Zollweg, J.
Revista	Journal of Great Lakes Research
Año y país	2015, Estados Unidos
Resumen	<p>En este estudio se realizó una evaluación de las concentraciones y exportaciones de sedimentos y fósforo en el río Genesee y sus cuatro principales afluentes (Canaseraga, Honeoye, Black y Oatka Creeks), se identificaron las fuentes de fósforo y se evaluó la efectividad de BMPs en el cauce principal (Upper Genesee River, Lower Genesee River). El análisis de asignación de exportación de P indicó que el 60% de la exportación total de fósforo en el lago Ontario se debe a fuentes antropogénicas y solo el 40% a fuentes naturales. Con una exportación de P de 412,505 kg P/año, el río Genesee lleva la segunda exportación más alta, después del río Niagara, al lago Ontario. Se empleó SWAT para probar la efectividad de las BMPs y determinar la concentración mínima potencial de fósforo esperada en las subcuencas. Las simulaciones de BMPs en fuentes puntuales y no puntuales indicaron que el fósforo podría mantenerse efectivamente dentro de la cuenca y fuera del lago Ontario, donde la elevada cantidad de fósforo estimula la producción de algas y está influyendo en el cierre de playas en el AOC Rochester Embayment. Utilizando el escenario simulado más efectivo de vías fluviales con césped y la actualización de plantas de tratamiento de aguas residuales a tratamiento terciario, se predijo una reducción del 32.9% (135,714 kg P/año) en la</p>

exportación de P en la zona cercana a la costa del lago Ontario. Con esta reducción en P se lograría alcanzar el objetivo de 65 µg TP/L discutido en NYS.

Área de la cuenca (km²)

Cuenca: 6407.63; Subcuenca Upper Genesee at Portageville (UGP): 2548.42; Subcuenca Canaseraga Creek at Shaker's Crossing (CCSC): 892.4; Subcuenca Black Creek at Lower BC (BC): 572.25; Subcuenca Oatka Creek (OC): 555.9; Subcuenca Honeoye Creek at Honeoye Falls (HCHF): 694.78

BMPs implementadas y su efectividad de reducción por subcuenca y compuesto

Cuenca	FS	CT	GWW	CF	T	SC	RC	CC	NM (100%)	AMO	SSS
SS*	0.5%	-0.10%	-0.20%	-0.30%	-0.3%	-0.30%	8.70%	0.00%	0%	0.10%	28.8%
TP	11.6%	-6.30%	23.40%	8.30%	14.3%	8.30%	30.00%	18.00%	2.4%	7.10%	11.6%
UGP	FS	CT	GWW	CF	T	SC	RC	CC	NM (100%)	AMO	
SS*	5.5%	3.5%	17.3%	1.8%	2.9%	0.8%	17.9%	5.5%	0.0%	0.1%	
TP	23.3%	4.2%	52.1%	17.3%	32.1%	11.3%	54.3%	26.8%	3.8%	9.7%	
CCSC	FS	CT	GWW	CF	T	SC	RC	CC	NM (100%)	AMO	
SS*	0.5%	1.0%	4.5%	2.4%	4.8%	1.9%	13.8%	5.4%	0.0%	-0.1%	
TP	11.6%	-18.4%	44.8%	30.1%	37.8%	28.0%	34.8%	31.2%	3.1%	14.1%	
BC	FS	CT	GWW	CF	T	SC	RC	CC	NM (100%)	AMO	
SS*	35.0%	39.0%	50.0%	19.0%	28.0%	5.0%	59.0%	14.0%	0.0%	0.0%	
TP	17.0%	27.0%	28.0%	2.0%	6.0%	0.0%	37.0%	5.0%	23.0%	21.0%	
OC	FS	CT	GWW	CF	T	SC	RC	CC	NM (100%)	AMO	
SS*	2.1%	1.4%	-4.3%	-3.3%	-3.7%	-3.3%	4.9%	-2.3%	0.0%	2.0%	
TP	8.4%	-29.5%	42.3%	6.4%	8.8%	5.5%	17.1%	3.2%	3.2%	9.7%	
HCHF	FS	CT	GWW	CF	T	SC	RC	CC	NM (100%)	AMO	
SS*	89.0%	38.0%	75.0%	31.0%	56.0%	25.0%	70.0%	65.0%	0.0%	-6.0%	
TP	10.0%	-3.0%	26.0%	6.0%	13.0%	4.0%	42.0%	17.0%	2.0%	2.0%	

Nota: *Valores de reducción corresponden a sólidos suspendidos. Los resultados fueron tabulados en primer lugar a escala de cuenca y a continuación, a partir de la segunda área, corresponden a reducciones a escala de subcuenca, cuyo respectivo nombre se encuentra especificado en el campo Área de la cuenca. El estudio no especifica la longitud de las FS ni la pendiente utilizada como criterio para la RC.

ID	59	
Nombre del artículo	Impact of conservation tillage on nitrogen and phosphorus runoff losses in a potato crop system in Fuquene watershed, Colombia	
Autores	Uribe, N., Corzo, G., Quintero, M., van Griensven, A., & Solomatine, D.	
Revista	Agricultural Water Management	
Año y país	2018, Colombia	
Resumen	<p>En este estudio se utilizó el modelo SWAT para evaluar los impactos del cambio de labranza intensiva (IT) a labranza de conservación (CT) en las pérdidas de nitrógeno (N) y fósforo (P) por escorrentía superficial del cultivo de papa en la cuenca de Fuquene. Esto se hizo a nivel de campo y cuenca. Un estudio de dos años cuantificó los cambios en los contaminantes de la escorrentía superficial para tres ciclos de cultivo de papa bajo la práctica tradicional IT y la práctica CT, que incluía reducción de la labranza, abono verde y cobertura permanente del suelo, en doce parcelas de escorrentía instaladas en la cuenca de Fuquene. Esta información se utilizó para construir, calibrar y validar el modelo SWAT. Los resultados sugieren que CT para la cuenca de Fuquene puede reducir hasta un 26% de las exportaciones de sedimentos y un 11% de la escorrentía superficial en comparación con IT, lo que significa una reducción general de la exportación. El principal efecto CT sobre las pérdidas de nutrientes en la escorrentía es un aumento del N y P total (del 2% al 18% respectivamente) en comparación con IT.</p>	
Área de la cuenca (km ²)	784	
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		CT
	SS	25.93%
	TN	-1.78%
	TP	18.18%

ID	60	
----	----	--

Nombre del artículo	Mitigating lake eutrophication through stakeholder-driven hydrologic modeling of agricultural conservation practices: A case study of Lake Macatawa, Michigan							
Autores	Iavorivska, L., Veith, T. L., Cibin, R., Preisendanz, H. E., & Steinman, A. D.							
Revista	Journal of Great Lakes Research							
Año y país	2021, Estados Unidos							
Resumen	<p>En este estudio se utilizó un modelo SWAT y escenarios de prácticas de manejo agrícola (BMPs) para guiar el manejo de la tierra y el control de la contaminación del agua en la cuenca del lago Macatawa. El modelo validado se utilizó para evaluar la influencia de las BMPs en la calidad del agua del lago e identificar qué prácticas son necesarias para cumplir con el Carga máxima diaria total (TMDL) de fósforo. El modelo mostró que eliminar las aplicaciones de estiércol tendría un pequeño efecto en frenar la exportación de TP, pero la no labranza continua y el residuo alto combinado con la aplicación de estiércol subterránea ya utilizada produciría reducciones notables de TP. Lograr una reducción del TP del 72% según lo ordenado por el TMDL es posible mediante una adopción generalizada de múltiples BMPs (no-till continuo con residuo alto, cultivos de cobertura, franjas filtrantes y conversión de algunas tierras marginales a pastos perennes) en todos los cultivos en hileras de la cuenca. El estudio destaca cómo se integró la orientación de una comunidad local interesada en mejorar la cuenca con el modelado hacia abordar la eutrofización con un manejo informado de la cuenca. El caso del lago Macatawa presenta un sistema manejable desde el cual se podrían transferir soluciones de gestión a cuencas similares pequeñas agrícolas con drenaje por tejas y altos niveles de P en el suelo en la cuenca de los Grandes Lagos.</p>							
Área de la cuenca (km ²)	440							
		CC	ZT	CT	FC (25%)	RM	CVC (15%)	CVC (35%)
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	53,10%	3,10%	1,10%	0,00%	0,50%	11,60%	35,10%
	TN	13,90%	1,00%	0,10%	2,70%	8,60%	5,60%	13,10%
	TP	41,70%	11,30%	1,50%	1,30%	3,80%	12,50%	32,80%

Nota: El valor porcentual (%) junto a CVC corresponden al porcentaje de cultivos en hileras cambiados por hierbas perennes en subcuencas identificadas como "de alta prioridad" en el estudio. El valor de CC se corresponde con el valor de CC-WW en el estudio, CT con CT-WW, CVC (15%) con SWG-15-NH y ZT se corresponde con NT-WW.

ID	61
Nombre del artículo	Research on optimal control of non-point source pollution: a case study from the Danjiang River basin in China
Autores	Li, H., Zhou, X., Huang, K., Hao, G., & Li, J.
Revista	Environmental Science and Pollution Research
Año y país	2022, China
Resumen	<p>En este estudio se simularon las características de la contaminación de fuentes no puntuales (NPS) en la cuenca del río Danjiang. Se analizó la distribución espacial y temporal y se identificaron las áreas de fuente críticas (CSA) según la intensidad de la pérdida de nutrientes. Se establecieron 9 BMPs individuales y tres BMPs combinadas en las CSA, y se evaluaron los efectos de reducción de la exportación de contaminación NPS de las BMPs a escala HRU y subcuenca. Las principales conclusiones del estudio son las siguientes: (1) Basándose en los datos medidos de calidad y cantidad del agua de Danfeng desde 2011 hasta 2019, se utilizó el método de concentración media y el método de división de la escorrentía para estimar la exportación de contaminación NPS en la sección Danfeng. Las exportaciones de contaminación NPS del fósforo total (TP), nitrógeno amoniacal (NH₃-N) y COD representan una gran proporción en las exportaciones totales, siendo 60.95-75.91%, 39.43-56.40% y 59.37-74.37%, respectivamente. (2) En cuanto a la distribución temporal, el impacto en la exportación de contaminación NPS se clasifica como escorrentía > sedimento > lluvia. En cuanto a la distribución espacial, el sedimento tiene un gran impacto en la exportación de contaminación NPS de nitrógeno y fósforo. (3) Se utilizó el método del índice de exportación por unidad de área y el método de clasificación del punto natural para identificar las CSA en la cuenca. El método de toma de decisiones multi atributo basado en entropía informacional para evaluar el valor costo-beneficio de las medidas de gestión muestra que las medidas preferenciales utilizan BMPs combinadas y el valor atributivo costo-beneficio integral alcanza por encima del 0.8. Al utilizar una sola BMP, el valor atributivo integral de la reforestación de terrenos de cultivo alcanza el 0.62, lo que es adecuado para el control de la contaminación NPS en una pequeña área; para el control a gran escala de la contaminación NPS, el aterrazamiento, complementado con cobertura residual y vías fluviales con césped serían el camino más efectivo en la cuenca del río.</p>
Área de la cuenca (km ²)	7086

BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		FC (20%)	ZT	CVC	CF	FS (5m)	GWW	CH	T	RC (>25%)
	TN	9,12%	7,14%	13,76%	9,28%	-	-	16,30%	23,67%	55,83%
	TP	0,00%	6,16%	22,24%	16,73%	36,07%	41,72%	22,66%	45,05%	19,92%

Nota: Valores corresponden a reducciones a escala de subcuenca.

ID	62
Nombre del artículo	Simulation of targeted pollutant-mitigation-strategies to reduce nitrate and sediment hotspots in agricultural watershed
Autores	Teshager, A.D., Gassman, P. W., Secchi, S., & Schoof, J. T.
Revista	Science of The Total Environment
Año y país	2017, Estados Unidos
Resumen	<p>En este estudio se utilizó el modelo ecohidrológico SWAT para evaluar la efectividad de las estrategias de mitigación de contaminantes en la cuenca del río Raccoon (RRW) en el centro-oeste de Iowa, EE. UU. Se analizaron catorce escenarios de gestión basados en combinaciones sistemáticas de cinco estrategias: gestión de fertilizantes / estiércol, cambio de tierras de cultivo en hilera a pasto perenne, franjas filtrantes vegetativas, cultivos de cobertura y sistemas de drenaje de azulejos más superficiales, específicamente destinados a reducir las exportaciones de nitrato y sedimento total suspendido de áreas críticas en el RRW. Además, se evaluaron las implicaciones del cambio climático en las prácticas de gestión y los impactos de las prácticas de gestión en la disponibilidad de agua, la exportación del cultivo en hilera y la producción agrícola total. Los resultados indican que una reducción suficiente de la exportación de nitrato puede requerir la implementación de múltiples prácticas de gestión (38.5% con la configuración actual) o la conversión de áreas extensas en pasto perenne (hasta 49.7%) para cumplir y mantener el estándar del agua potable. Sin embargo, el cambio climático puede socavar la efectividad de las prácticas de gestión, especialmente a finales del siglo XXI, reduciendo la reducción hasta en un 65% para el nitrato y más para las cargas de sedimentos.</p>
Área de la cuenca (km ²)	9393

BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		LUC
	SS*	66,70%
	TN*	49,70%

Nota: * Valores corresponden a reducciones Sólidos suspendidos y NO3 respectivamente. La LUC se llevó a cabo en HRUs de cultivo críticas para NO3 y sólidos suspendidos y se transformaron en zonas con pasto perenne.

ID	63	
Nombre del artículo	Evaluating the significance of wetland restoration scenarios on phosphorus removal	
Autores	Daneshvar, F., Nejadhashemi, A. P., Adhikari, U., Elahi, B., Abouali, M., Herman, M. R., Martinez-Martinez, E., Calappi, T. J., & Rohn, B. G.	
Revista	Journal of Environmental Management	
Año y país	2017, Estados Unidos	
Resumen	<p>En este estudio se evaluó el impacto de la implementación de humedales naturales en la reducción del fósforo total tanto a nivel de cuenca como de subcuenca. El área de estudio fue la cuenca del río Saginaw, Michigan. Se evaluaron las exportaciones de fósforo en humedales de cuatro diferentes tamaños (2, 4, 6 y 8 ha) dentro del área de estudio, mediante la implementación de un humedal a la vez en áreas identificadas con mayor potencial para la restauración de humedales. Las exportaciones de fósforo a nivel de subcuenca se obtuvieron a partir de un modelo SWAT calibrado. Estas exportaciones se incorporaron luego en un modelo de humedal (SUSTAIN) para evaluar la reducción del fósforo a nivel de subcuenca y luego el modelo se utilizó nuevamente para enrutar el transporte del fósforo hasta la salida de la cuenca. Se realizaron análisis estadísticos para evaluar el impacto espacial del tamaño y la ubicación de los humedales en la reducción del fósforo. En general, el rendimiento de los humedales de 2 ha en la reducción del fósforo total fue significativamente menor que el de los de mayor tamaño, tanto a nivel de subcuenca como de cuenca. En cuanto a los sitios de implementación, los humedales ubicados en las cabeceras y aguas abajo tuvieron una reducción significativamente mayor del fósforo que los ubicados en el medio de la cuenca.</p>	
Área de la cuenca (km ²)	16126	
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		W
	TP	0,16%

Nota: El porcentaje de reducción en este caso, es a escala de cuenca y corresponde a la implementación de un solo humedal. Si bien en el estudio se simulan 9172 humedales (4 diferentes tamaños para 2293 subcuencas) todos constituyen escenarios individuales y no se

analiza un hipotético impacto combinado o sinérgico; ya que el objetivo del estudio se orienta a analizar en promedio los kg de P que pueden reducir humedales de ciertas dimensiones específicas en determinado lugar de la cuenca.

ID	64			
Nombre del artículo	Impacts of land use/land cover change on stream flow and sediment yield of Gojeb watershed, Omo-Gibe basin, Ethiopia			
Autores	Choto, M., & Fetene, A.			
Revista	Remote Sensing Applications: Society and Environment			
Año y país	2019, Etiopía			
Resumen	<p>En este estudio se utilizó el modelo SWAT para examinar los efectos del cambio de la cobertura y uso de suelo (LULC) en el proceso hidrológico de la cuenca de Gojeb en Etiopía. El rendimiento del modelo se evaluó mediante análisis de sensibilidad, incertidumbre, calibración y validación. Los resultados mostraron que, durante el período de estudio, la mayor parte de los terrenos forestales se transformaron en terrenos agrícolas, aumentando un 14.97% en el período de estudio y provocando un aumento en el caudal y la producción de sedimentos en 8.6 m³/s y 41.07 ton/km² respectivamente. Para las subcuencas críticas, se diseñaron y desarrollaron tres escenarios de BMPs: E1 (franja filtrante), E2 (terraza) y E3 (reforestación). Los hallazgos mostraron reducciones en la generación de sedimentos en magnitudes de 22.9%, 29.4% y 32.3% para la implementación de E1, E2 y E3 respectivamente. Se concluye que la implementación del E3 es la mejor estrategia de gestión en comparación con otras opciones y, por lo tanto, dicha intervención debe fomentarse a mayor escala para reducir de manera eficaz los sedimentos de la cuenca de Gojeb.</p>			
Área de la cuenca (km ²)	7325,67			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	FS 22,90%	T 29,40%	RC 32,30%

ID	65		
----	----	--	--

Nombre del artículo	Addressing the spatial disconnect between national-scale total maximum daily loads and localized land man							
Autores	Amin, M. G. M., Veith, T. L., Shortle, J. S., Karsten, H. D., & Kleinman, P. J. A.							
Revista	Journal of Environmental Quality							
Año y país	2020, Estados Unidos							
Resumen	<p>En este estudio se utilizó la modificación Topo-SWAT del modelo SWAT para simular dos escenarios de adopción de BMP en la cuenca de Spring Creek, Pensilvania. El objetivo fue determinar si el aprovechamiento de la heterogeneidad espacial a pequeña escala para ubicar BMPs podría lograr la misma reducción de nutrientes y sedimentos (o mejor) a un menor costo que las recomendaciones de adopción de BMP del plan de implementación (WIP) a nivel estatal. Topo-SWAT se inicializó con información detallada sobre el uso del suelo y las prácticas de manejo, se calibró sistemáticamente y se validó con 12 años de datos observados. Después de determinar la rentabilidad individual de cada BMP, los resultados se clasificaron para diseñar un escenario de adopción de BMP rentable que lograra una reducción de exportación igual o mayor que el escenario WIP con un 74% del costo, utilizando ocho BMP basadas en la gestión: no labranza, inyección de estiércol, cultivos de cobertura, zonas de amortiguación ribereña, retiro de tierras, aplicación del estiércol en primavera, restauración de humedales y gestión del nitrógeno (reducción del 15% de N). Se indica que los resultados demostraron el potencial de utilizar modelos de cuenca a escalas de inferencia más finas para mejorar las recomendaciones en la implementación de BMPs para alcanzar los objetivos de reducción de descargas diarias en la Bahía Chesapeake.</p>							
Área de la cuenca (km ²)	370							
		FS	PLI	CC	ZT	W	AMO	FC (15%)
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	3,8%	17,8%	27,8%	29,9%	34,6%	34,6%	34,2%
	TN	1,7%	7,7%	11,7%	12,0%	13,8%	13,9%	23,0%
	TP	2,7%	18,4%	25,2%	23,2%	29,0%	30,0%	29,8%

Nota: AMO en este estudio corresponde a Inyección de estiércol; El estiércol líquido se inyectó a poca profundidad en el suelo, con aproximadamente el 90% del estiércol por debajo de los primeros 10 mm del suelo. Se agregó un dispositivo de mezcla personalizado en SWAT, con eficiencia de mezcla = 15%; profundidad de mezcla = 100 mm y rugosidad aleatoria = 10 mm, para simular correctamente la

inyección. En el caso particular de este estudio, la PLI implica una conversión de tierras de cultivo bajas a heno o pasto sin enmiendas de nutrientes.

ID	66			
Nombre del artículo	Analysis of ambo water supply source diversion weir sedimentation and assessing impact of land management practice through hydrological studies			
Autores	Duguma, T. A., Wakigari, S. A., & Dilgasa, E. A.			
Revista	Sustainable Water Resources Management			
Año y país	2020, Etiopía			
Resumen	En este estudio se aplicó el modelo ArcSWAT para determinar la exportación y la producción de sedimentos de la cuenca del río Huluka, el cual no posee una estación de para medir directamente estos parámetros. En su lugar, el estudio utilizó el método de transferencia de parámetros para estimar estos valores utilizando el modelo ArcSWAT calibrado y validado en otra estación de la cuenca del río Guder (659km ²) del cual Huluka es afluente. Se evaluaron tres BMPs para determinar su efectividad en la subcuenca. La reducción de la exportación de sedimentos con estas BMPs osciló entre el 58 y el 62% en la estación hidrográfica Guder con un período de simulación de 1998-2014. Y se indica que la producción sedimentos disminuyó fuertemente al 76% con estos BMPs en la cuenca superior del Huluka.			
Área de la cuenca (km ²)	152			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	SS	CF 62,00%	SC 58,00%	T 62,00%

Nota: El estudio menciona que los valores de reducción son a escala de subcuenca.

ID	67		
Nombre del artículo	Simulating Land Management Options to Reduce Nitrate Pollution in an Agricultural Watershed Dominated by an Alluvial Aquif		
Autores	Cerro, I., Antigüedad, I., Srinavasan, R., Sauvage, S., Volk, M., & Sanchez-Perez, J. M.		

Revista	Journal of Environmental Quality		
Año y país	2014, España		
Resumen	<p>En este estudio se utilizó el modelo SWAT para encontrar opciones que permitan reducir la contaminación por nitratos en una cuenca agrícola dominada por un acuífero aluvial. El objetivo principal del estudio fue encontrar opciones de gestión para reducir la contaminación del agua mediante el uso de sistemas de modelación. En un primer paso, el modelo SWAT se aplicó para simular la descarga y la exportación de nitratos en el flujo del cauce principal a la salida de la cuenca durante el período comprendido entre octubre de 2009 y junio de 2011. Se lograron resultados satisfactorios de simulación para la descarga y las exportaciones de nitratos en escalas de tiempo mensuales y diarias. Los resultados revelaron variaciones claras en las estaciones: exportaciones más altas de nitratos para el invierno (20,000 kg mo⁻¹ NO₃-N) y se simularon exportaciones más bajas de nitratos para el período de verano (<1000 kg mo⁻¹ NO₃-N). En un segundo paso, el modelo calibrado se utilizó para evaluar los efectos a largo plazo de las BMPs durante un período de 50 años manteniendo las prácticas agrícolas actuales, reduciendo la aplicación de fertilizantes en un 20%, dividiendo las aplicaciones (misma cantidad total de N pero aplicada durante el período de crecimiento) y reduciendo el 20% del fertilizante aplicado y dividiendo las dosis de fertilizante. Las BMP se evaluaron sobre la base de la experiencia local y la interacción con los agricultores. Los resultados mostraron que reducir las cantidades de fertilizantes en un 20% podría llevar a una reducción del 50% del número de días que superan el valor límite de concentración de nitratos (50 mg L⁻¹) establecido por la Directiva Marco del Agua Europea.</p>		
Área de la cuenca (km ²)	113		
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TN	FC (20%) 34,00%	NM 3,00%
<p>Nota: Es importante puntualizar que en este estudio se evalúa la exportación de N a las aguas subterráneas de la cuenca. En este caso, la gestión que se hace en NM corresponde a aplicar el fertilizante solo durante la etapa de crecimiento.</p>			
ID	68		
Nombre del artículo	Meeting Water Quality Goals under Climate Change in Chesapeake Bay Watershed, USA		

Autores	Bosch, D. J., Wagena, M. B., Ross, A. C., Collick, A. S., & Easton, Z. M.			
Revista	JAWRA Journal of the American Water Resources Association			
Año y país	2018, Estados Unidos			
Resumen	<p>En este estudio se utilizaron dos modelos de cambio climático y el promedio del conjunto de siete modelos climáticos (Ensemble Mean), un modelo de predicción de producción (SWAT-VSA) y un modelo económico agrícola para estimar de qué manera el cambio climático afectaría al rendimiento de los cultivos y a los costos de reducción de la exportación de nitrógeno (N) en una subcuenca agrícola (WE-38) de la Bahía de Chesapeake. Se estimaron los costos para cumplir con los objetivos de calidad del agua en función de la reducción en los rendimientos netos de la granja debido a los límites en las exportaciones de N bajo escenarios climáticos históricos y futuros. Los costos estimados para cumplir con los objetivos de calidad del agua aumentan bajo el escenario futuro para uno de los dos modelos climáticos y para el Ensemble Mean. Las principales razones para el aumento de los costos son una mayor exportación prevista de N procedente de los cultivos, junto a mayores reducciones en la exportación de N que deben lograrse bajo este futuro contexto del clima. La granja cumpliría con los límites de exportación de N eliminando el trigo y reduciendo la producción de maíz y soja, así como aumentando el uso de BMPs sugeridas por el Programa de Reserva de Conservación.</p>			
Área de la cuenca (km ²)	7.3			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		ZT	FS	IBAC
	SS	35.0%	52.0%	10.0%
	TN	10.5%	32.0%	5.0%
	TP	10.8%	39.0%	8.0%

ID	69
Nombre del artículo	Impacts of climate change on watershed systems and potential adaptation through BMPs in a drinking water source area
Autores	Qiu, J., Shen, Z., Leng, G., Xie, H., Hou, X., & Wei, G.
Revista	Journal of Hydrology

Año y país	2019, China							
Resumen	<p>En este estudio se cuantificaron los impactos del cambio climático en los procesos hidrológicos y la calidad del agua de la cuenca del embalse Miyun (MRW), se evaluó la eficiencia de las BMPs y los posibles efectos del cambio climático, y se configuraron BMPs rentables a escala de subcuenca utilizando un método de optimización multiobjetivo para mitigar los efectos del clima en el recurso hídrico. Se utilizó el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) para simular los posibles efectos del cambio climático en los procesos hidrológicos y de calidad del agua y las opciones de adaptación en la cuenca.</p> <p>El cambio climático tuvo impactos significativos en componentes del balance hídrico, como la precipitación, la escorrentía y la evapotranspiración (ET), y en componentes de calidad del agua, como las exportaciones de sedimentos y nutrientes. Se encontró que la eficiencia de las BMPs tendió a disminuir bajo la variabilidad climática, especialmente las de las BMP estructurales, ya que estas prácticas controlan componentes de calidad del agua interceptando la escorrentía, que disminuirá en el futuro. Por ejemplo, una franja de filtro FS5m tuvo tasas medias de eliminación del 15.22%, 15.64% y 13.49% para la exportación de sedimentos en los tres períodos futuros, pero una tasa del 17.64% bajo el clima base. Sin embargo, cuando se aumentó el ancho, las eficiencias de la franja de filtro en el futuro se acercaron a las del caso base. Los resultados destacan la importancia de una configuración óptima de BMPs específicas en cada sitio a escala de subcuenca para adaptarse al cambio climático. También se indica que los métodos y hallazgos presentados son prometedores para mejorar la resiliencia del sistema de cuencas al cambio climático actual y futuro.</p>							
Área de la cuenca (km ²)	14923.95							
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		RC (>15%)	RC (>25%)	FC (20%)	FC (30%)	RM	CF	SC
	SS	14.68%	11.19%	1.05%	1.46%	6.84%	13.14%	14.10%
	TN	7.91%	7.66%	14.46%	14.99%	6.70%	11.08%	16.83%
	TP	7.32%	7.23%	13.64%	14.16%	6.29%	13.74%	13.92%
		CT	FS (5m)	FS (10m)	FS (15m)	W	GWW	BAR
	SS	7.84%	17.64%	29.17%	35.96%	33.04%	21.62%	40.70%
	TN	3.85%	24.37%	28.63%	39.86%	26.07%	32.01%	39.74%
	TP	3.99%	30.25%	29.42%	41.62%	34.36%	33.92%	32.41%

ID	70		
Nombre del artículo	Assessing the effectiveness of split fertilization and cover crop cultivation in order to conserve soil and water resources and improve crop productivity		
Autores	Maharjan, G.R., Ruidisch, M., Shope, C.L., Choi, K., Huwe, B., Kim, S.J., Tenhunen, J., & Arnhold, S.		
Revista	Agricultural Water Management		
Año y país	2016, Corea del Sur		
Resumen	<p>En este estudio se evaluó la efectividad de tres escenarios de BMP (fertilización segmentada, cultivos de cobertura y ambos en combinación) para reducir la exportación de sedimentos y nitratos, así como aumentar la producción de cuatro cultivos principales en tierras de secano (col, papa, rábano y soja). Se utilizó el modelo SWAT para simular los posibles efectos del cambio climático en los procesos hidrológicos, así como en la calidad del agua y las opciones de adaptación en la cuenca del embalse Haeon (HAW). Los resultados mostraron que la fertilización dividida y los cultivos de cobertura pueden ser efectivos para reducir la exportación de sedimentos y nitratos y aumentar la producción de cultivos. Además, la combinación de ambos enfoques puede ser aún más efectiva. Los autores también discuten cómo estos enfoques pueden ser una forma rentable y sostenible de mejorar la gestión agrícola y conservar los recursos hídricos y del suelo.</p>		
Área de la cuenca (km ²)	67,2		
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		NM	CC
	SS	0,0%	19,0%
	TN*	4,0%	7,0%

Nota: *Valores TN corresponden a nitratos. La NM que se lleva a cabo en este estudio corresponde a la segmentación de la fertilización, o fertilización dividida, consistente en que la aplicación de fertilizantes se divide en varias aplicaciones más pequeñas en lugar de una sola aplicación grande.

ID	71		
----	----	--	--

Nombre del artículo	Quantifying the effects of conservation practice implementation on predicted runoff and chemical losses under climate change					
Autores	Wallace, C. W., Flanagan, D. C., & Engel, B. A.					
Revista	Agricultural Water Management					
Año y país	2017, Estados Unidos					
Resumen	<p>En este estudio se utilizó el modelo SWAT junto con datos meteorológicos generados utilizando el generador de archivos meteorológicos MarkSim para evaluar el impacto de la implementación, a largo plazo, de prácticas de conservación sobre la escorrentía, sedimentos, atrazina, nitrógeno (N) y pérdidas de fósforo (P) en una cuenca agrícola ubicada en el noreste de Indiana. En el contexto del Proyecto de Evaluación de Efectos de Conservación, se requiere la evaluación de estas prácticas para proporcionar información sobre cómo su implementación está beneficiando al medio ambiente. Los resultados indican que las prácticas de conservación individuales fueron efectivas en reducir una exportación contaminante en particular y las prácticas combinadas fueron más efectivas en reducir múltiples exportaciones contaminantes de manera. De las BMPs individuales evaluadas, la no labranza fue la más efectiva en reducir múltiples exportaciones contaminantes (redujo la escorrentía superficial en un promedio del 25%, los sedimentos en un 46%, la atrazina en un 46%, el N total en un 9%, el P soluble en un 16% y el P total en un 29%). Cuando se combinaron las BMPs, las reducciones de exportación contaminante aumentaron significativamente (con $\alpha = 0.05$) para todos los contaminantes, bajo escenarios climáticos actuales y futuros. Las reducciones en la escorrentía y exportación de contaminantes para cada década del clima futuro variaron del 15 al 25% para la escorrentía superficial, del 32 al 68% para la pérdida de sedimentos, del 37 al 60% para la pérdida de atrazina, del 5 al 13% para la pérdida de N soluble, del 12 al 35% para la pérdida de N total, del 9 al 41% para la pérdida de P soluble y del 33 al 60% para la pérdida de P total.</p>					
Área de la cuenca (km ²)	42					
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto		ZT	VFS	GWW	BI	NM
	SS	43,3%	28,0%	1,0%	0,2%	-0,5%
	TN	8,3%	6,9%	8,2%	0,1%	2,9%
	TP	29,4%	13,0%	13,3%	0,2%	23,0%

Nota: A diferencia de los demás estudios, en este se especifica también que la significancia en las reducciones de los contaminantes con un alfa=0.05. En este caso todos los valores de los contaminantes de interés de esta revisión bibliográfica cuyo % de reducción fue menor a al equivalente porcentual (6.9%) se consideró no significativo.

ID	72			
Nombre del artículo	Restructuring the P Index to Better Address P Management in New York			
Autores	Ketterings, Q. M., Cela, S., Collick, A. S., Crittenden, S. J., & Czymmek, K. J.			
Revista	Journal of Environmental Quality			
Año y país	2017, Estados Unidos			
Resumen	En este estudio se tuvo como objetivo desarrollar un nuevo enfoque de Índice de Fósforo (PI), que incentivara la implementación de BMPs en zonas donde el riesgo de transporte de P es alto. Esto se logró mediante la retroalimentación de planificadores certificados (encuesta), el análisis de una base de datos y la modelación del impacto de las BMPs en la exportación de P utilizando datos de una granja CAFO (Con Alimentación de Animales Concentrada) en el centro de Nueva York. Se propone una nueva estructura para el Índice de fósforo en Nueva York (NY-PI), que identifica el riesgo de transporte de P impulsado por el paisaje al aplicar P en la superficie cuando los cultivos no están creciendo activamente, se obtiene una puntuación PI bruta que se multiplica por créditos (factores ≤ 1.0) para la implementación de BMPs efectivas en reducir el riesgo de transporte de P. En este enfoque "Transporte \times BMP", el P del suelo se utiliza como límite para la aplicación de P. Este enfoque podría reducir las barreras para la regionalización de los PIs, ya que los estados podrían identificar factores de riesgo del paisaje, límites del suelo y BMPs mientras mantienen las mismas categorías de manejo.			
Área de la cuenca (km ²)	42			
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TP	NM ₁ 48%	NM ₂ 53%	CC 19%

Nota: En este estudio la NM₁ aplicada corresponde a incorporación del estiércol, mientras que NM₂ corresponde a un proceso de inyección del estiércol. Los valores fueron calculados en base a tabla 2 del estudio aludido, considerando el valor de la pérdida/exportación relativa de P total en los los escenarios donde la cantidad de fertilizantes se mantuvo igual en aplicación.

ID	73		
Nombre del artículo	Integrated watershed- and farm-scale modeling framework for targeting critical source areas while maintaining farm economic viability		
Autores	Ghebremichael, L. T., Veith, T. L., & Hamlett, J. M.		
Revista	Journal of Environmental Management		
Año y país	2013, Estados Unidos		
Resumen	<p>En este estudio se desarrolló un marco de modelación que integra la economía agrícola y los variables ambientales a través del uso conjunto de modelos a escala de cuenca y de campo en un bucle cerrado. La integración de modelos en un bucle cerrado proporciona una forma de evaluar los cambios ambientales con respecto al impacto en los aspectos prácticos de la gestión y economía agrícola, ajustados o reformulados según sea necesario, y reevaluados con respecto a la efectividad de la mitigación ambiental a nivel de granja y cuenca. En el estudio también describe los pasos necesarios para extraer información importante relacionada con las áreas críticas (CSAs) de un modelo de cuenca para ayudar a informar en las decisiones de focalización a nivel de granja. El marco de modelado se demuestra con dos estudios de caso únicos en el noreste de Estados Unidos (Nueva York y Vermont), con datos de apoyo de otros estudios publicados en específico para cada ubicación, tanto a nivel de cuenca como de campo. Se concluye que utilizando el marco de modelación integrado, puede ser posible comparar los costos y beneficios (en términos de objetivos medibles de mejora en la calidad del agua) al implementar las BMPs dirigidas.</p>		
Área de la cuenca (km ²)	71		
BMPs implementadas y su efectividad de reducción por compuesto	TP	ZT*	CC
		15,00%	9,00%
			27,00%

Nota: El * en ZT y CC indica efectividad en reducciones a escala de campo ("granja-R"; 0.71 km²), mientras el caso contrario corresponde a escala de cuenca (Rock River, 71km²).

8.9 Anexo I

El proceso de calibración se realizó de manera semiautomática, procurando establecer siempre dentro de cada iteración, un rango de posibles valores dentro del límite absoluto que establece SWAT a los parámetros para el correcto funcionamiento del modelo. A continuación, se presentan los parámetros utilizados en la calibración de Q, SS, NT y PT.

Parámetros utilizados para la calibración de caudales (Q)

Parámetro	Archivo	Descripción del parámetro	Rango inicial
SURLAG	.bsn	Coefficiente de retraso del escurrimiento superficial	3 - 4
SFTMP	.bsn	Temperatura de caída de nieve (°C)	-10 - 10
SMTMP	.bsn	Temperatura base de fusión de nieve (°C)	-10 - 10
TIMP	.bsn	Factor de retraso de temperatura de fusión de nieve	0 - 1
SMFMX	.bsn	Factor de fusión para la nieve el 21 de junio (mm)	0 - 10
SMFMN	.bsn	Factor de fusión para la nieve el 21 de diciembre (mm)	0 - 10
ALPHA_BF	.gw	Factor alfa de flujo base (días)	0.008 - 0.87
GW_DELAY	.gw	Retraso del agua subterránea (días)	5.68 - 94
GWQMN	.gw	Profundidad umbral de agua en el acuífero somero requerida para que ocurra el flujo de retorno (mm)	3.75 - 1000
GW_REVAP	.gw	Coefficiente "REVAP" del agua subterránea	0.02 - 0.178
RCHRG_DP	.gw	Fracción de percolación del acuífero profundo	0.0165 - 0.97
REVAPMN	.gw	Profundidad umbral de agua en el acuífero somero para que ocurra la "revap" (mm)	0 - 750
ESCO	.hru	Factor de compensación de evaporación del suelo	0.044 - 0.99
EPCO	.hru	Factor de compensación de captación de las plantas	0.14875 - 1
SLSUBBSN	.hru	Longitud promedio de la pendiente	0.86 - 121.95
OV_N	.hru	Valor "n" de Manning para el flujo superficial	0.01 - 0.365
HRU_SLP	.hru	Pendiente promedio de la cuenca	-0.2 - 0.2
CN2	.mgt	Valor inicial de CN II del SCS	-0.25 - 0.25
SOL_K	.sol	Conductividad hidráulica saturada	0.21 - 266.8
SOL_AWC	.sol	Capacidad de agua disponible de la capa del suelo	0 - 0.44

Parámetros utilizados para la calibración de fósforo total (PT)

Parámetro	Archivo	Descripción del parámetro SWAT	Rango inicial
PHOSKD	.bsn	Coeficiente de partición de fósforo en el suelo	100 - 200
PPERCO	.bsn	Coeficiente de percolación de fósforo	10 - 17.5
P_UPDIS	.bsn	Parámetro de distribución de captación de fósforo	0 - 100
SOL_ORGP	.chm	Concentración inicial de P orgánico en la capa superficial del suelo	0 - 100
PSP	.bsn	Coeficiente de sorción de fósforo	0.01 - 0.7
ERORGP	.hru	Proporción de enriquecimiento de P orgánico	0 - 5
RS5	.swq	Coeficiente de tasa de sedimentación de un constituyente no conservativo arbitrario en el tramo a 20°C [1/día]	0.001 - 0.1
BC4	.swq	Tasa de sedimentación bentónica para P mineral en el tramo a 20°C	0.01 - 0.7
SOL_SOLP	.chm	Concentración inicial de P lábil (soluble) en la capa superficial del suelo (mg/kg)	0 - 100
RS2	.swq	Tasa de fuente bentónica para NH ₄ -N en el tramo a 20°C [mg/(m ³ día)]	0.001 - 0.1
GWSOLP	.gw	Concentración de fósforo soluble en la contribución de agua subterránea al flujo del canal (mg P/l)	0 - 1000
CH_OPCO_BSN	.bsn	Concentración de fósforo orgánico en el canal en la cuenca (ppm)	0 - 100
LAT_ORGP	.gw	Fósforo orgánico en el flujo de base (mg/l)	0 - 200

Parámetros utilizados para la calibración de nitrógeno total (NT)

Parámetro	Archivo	Descripción del parámetro SWAT	Rango inicial
CDN	.bsn	Coeficiente de tasa exponencial de desnitrificación	0 - 3
SDNCO	.bsn	Contenido de agua umbral para la desnitrificación	0 - 1
RSDCO	.bsn	Coeficiente de descomposición de residuos	0.02 - 0.1
N_UPDIS	.bsn	Parámetro de distribución de captación de nitrógeno	0 - 100
CMN	.bsn	Factor de tasa para la mineralización de nitrógeno orgánico activo	0.001 - 0.003
NPERCO	.bsn	Coeficiente de percolación de nitrógeno	0 - 1
ANION_EXCL	.sol	Fracción de porosidad (espacio vacío) de la que están excluidos los aniones	0.01 - 1
SOL_NO3	.chm	Concentración inicial de NO ₃ en la capa del suelo	0 - 100
ERORGN	.hru	Proporción de enriquecimiento de N orgánico	0 - 5

Parámetros utilizados para la calibración de sedimentos (SS)

Parámetro	Archivo	Descripción del parámetro SWAT	Rango inicial
CH_ERODMO	.rte	Factor de erodabilidad del canal	0 - 1
CH_COV2	.rte	Factor de cobertura del canal	-0.001 - 1
CH_COV1	.rte	Factor de erodibilidad del canal	-0.05 - 0.6
CH_N2	.rte	Valor "n" de Manning para el canal principal	-0.01 - 0.3
PRF_BSN	.bsn	Factor de ajuste de tasa máxima para enrutamiento de sedimentos en el canal principal	0 - 2
CH_K2	.rte	Conductividad hidráulica efectiva en los aluviones del canal principal	-0.01 - 500
ALPHA_BNK	.rte	Factor alfa de flujo base para almacenamiento en el banco	0 - 1
SPEXP	.bsn	Parámetro exponencial para el cálculo de sedimentos reentrantes en el enrutamiento de sedimentos del canal [NO OPERATIVO]	1 - 2
SPCON	.bsn	Parámetro lineal para el cálculo de la cantidad máxima de sedimentos que se pueden reentrar durante el enrutamiento de sedimentos del canal	0.0001 - 0.01
ADJ_PKR	.bsn	Factor de ajuste de tasa máxima para enrutamiento de sedimentos en la subcuenca (canales tributarios)	0.5 - 2
USLE_C{16}	.plant.dat	Valor mínimo del factor C de USLE aplicable a la cobertura vegetal/planta.	0.001 - 0.5
HRU_SLP	.hru	Pendiente promedio de la cuenca	0 - 0.6

Fuente: Elaboración propia.

8.10 Anexo J

Series de suelo cuenca del río Vergara

Suelo	Descripción	Drenaje	Permeabilidad
Collipulli	Suelo evolucionado de cenizas volcánicas antiguas, sobre substrato fluvioglacial meteorizado andesítico-basáltico.	Bueno e imperfecto	Moderada a moderadamente lenta
Coreo	Suelo aluvial reciente, profundo y poco desarrollado, de origen andesítico y basáltico, con texturas mayormente gruesas en el perfil, ocasionalmente moderadamente gruesas en la superficie.	Excesivo	Muy rápida
Mirador	Suelo sedimentario, profundo y desarrollado bajo condiciones de humedad moderada.	Moderado a imperfecto	Moderadamente lenta
Santa Bárbara	Suelos poco evolucionados, formados sobre cenizas, depositadas sobre substrato fluvioglacial o material fluvial apenas detectable debido a su profundidad.	Bueno	Moderada
Santa Teresa	Suelo aluvial reciente, moderadamente profundo, con acumulación de hierro en gránulos de "orstein" y láminas discontinuas entre 60 y 90 cm. Origen andesítico y basáltico, color negro.	Pobre	Moderada
Tijeral	Suelo inmaduro, de origen aluvial, formado por arenas muy finas de composición andesítico-basálticas y cenizas volcánicas recientes.	Bueno	Moderada
Arenales	Suelo aluvial, reciente, profundo, de escaso desarrollo, derivado de arenas volcánicas de color negro- de origen andesítico y basáltico.	Bueno a excesivo	Rápida a muy rápida
Arrayán	Son suelos profundos, bien drenados donde predomina la textura franco-limosa	Bueno	Moderada
Cauquenes	Suelo formado "in situ" con textura franco-arcillosa en superficie y arcillosa en profundidad. Presenta grava cuarzosa en el perfil.	Bueno	Moderadamente lenta a rápida
San Esteban	Suelo evolucionado "in situ" a partir de materiales graníticos ricos en cuarzo, ocupan una posición de cerros y lomajes altos dominando el paisaje.	Bueno	Lenta

Negrete	Suelo moderadamente profundo, desarrollado a partir de depósitos aluviales de material fino, ocasionalmente con arenas volcánicas andesítico-basálticas.	Imperfecto a bueno	Moderada
Constitución	Suelo evolucionado "in situ" a partir de rocas metamórficas. Son suelo que tienen muy buena aptitud para plantaciones forestales	Bueno	-
Nahuelbuta	Suelo de aptitud preferentemente forestal por sus características fisiográficas. Textura franco-arcillo- limosa a arcillosa.	Moderado a Bueno	-
Pocillas	Suelo evolucionado "in situ" a partir de rocas metamórficas. Ocupan principalmente topografía alta y disectada de montañas.	Bueno	Moderada
Chufquén	Suelo ligeramente profundo, de origen sedimentario, en posición de terraza remanente.	Bueno	Lenta
Guadaba	Suelo evolucionado, desarrollado a partir de material aluvial fino a muy fino.	Imperfecto	Moderadamente lenta
Los Sauces	Suelo profundo, en posición de terraza aluvial, formado por sedimentos finos ricos en cuarzo.	Imperfecto	Muy lenta
Mininco	Suelos moderadamente profundos, formado por sedimentos finos sobre una brecha volcánica, en posición de terraza remanente disectada.	Bueno	Lenta
Victoria	Suelos aluviales delgados a ligeramente profundos en terrazas del Llano Central (300-350 msnm), de origen volcánico reciente y textura franco-arenosa fina.	Bueno	Moderadamente rápida
Santa Sofía	Suelo profundo, de origen granítico, en posición de terrazas remanentes disectadas y piedmont	Bueno	Moderadamente lenta
Vegas	Suelo reciente, estratificado, formado a partir de ceniza volcánica con mezcla de arenas finas de tipo andesítico-basáltico. Topografía plana.	Imperfecto	Moderadamente lenta

Fuente: elaborado en base a CIREN 1999 y CIREN 2002.

8.11 Anexo K

Detalle mensual efectividad de reducción sedimentos (SS) a la salida de la cuenca durante período de modelación

Fecha	E Base	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13
Jan-2003	2.76E+03	2.76E+03	2.76E+03	2.76E+03	2.61E+02	1.13E+02	2.59E+01	2.76E+03	2.76E+03	2.76E+03	2.76E+03	2.59E+01	8.18E+00	8.17E+00
Feb-2003	2.99E+02	2.99E+02	2.99E+02	2.99E+02	1.46E+01	1.04E+01	4.97E+00	2.99E+02	2.99E+02	2.99E+02	2.99E+02	4.97E+00	8.85E-01	8.84E-01
Mar-2003	3.52E+01	3.52E+01	3.52E+01	3.52E+01	2.18E+00	1.63E+00	1.24E+00	3.52E+01	3.52E+01	3.52E+01	3.52E+01	1.24E+00	5.71E-01	5.72E-01
Apr-2003	1.16E+02	1.16E+02	1.16E+02	1.16E+02	8.05E+00	5.25E+00	3.78E-01	1.16E+02	1.16E+02	1.16E+02	1.16E+02	3.78E-01	3.27E-01	3.28E-01
May-2003	1.19E+03	1.19E+03	1.19E+03	1.19E+03	8.35E+02	4.77E+02	6.39E+01	1.19E+03	1.19E+03	1.19E+03	1.19E+03	6.39E+01	6.04E+01	6.05E+01
Jun-2003	4.16E+04	4.16E+04	4.16E+04	4.16E+04	1.08E+04	8.78E+03	6.65E+03	3.74E+04	3.68E+04	3.64E+04	3.64E+04	6.65E+03	1.05E+03	1.05E+03
Jul-2003	1.82E+04	1.82E+04	1.82E+04	1.82E+04	3.24E+03	2.24E+03	1.25E+03	1.78E+04	1.77E+04	1.77E+04	1.77E+04	1.25E+03	2.05E+02	2.08E+02
Aug-2003	9.02E+03	9.02E+03	9.02E+03	9.02E+03	1.35E+03	8.19E+02	4.23E+02	8.90E+03	8.88E+03	8.87E+03	8.87E+03	4.23E+02	7.45E+01	7.63E+01
Sep-2003	7.71E+03	7.71E+03	7.71E+03	7.71E+03	3.00E+03	2.17E+03	1.46E+03	7.20E+03	7.14E+03	7.09E+03	7.09E+03	1.46E+03	2.29E+02	2.41E+02
Oct-2003	1.23E+04	1.23E+04	1.23E+04	1.23E+04	1.71E+03	9.72E+02	6.46E+02	1.23E+04	1.23E+04	1.23E+04	1.23E+04	6.46E+02	1.10E+02	1.13E+02
Nov-2003	1.31E+04	1.31E+04	1.31E+04	1.31E+04	2.96E+03	1.98E+03	1.21E+03	1.31E+04	1.30E+04	1.29E+04	1.29E+04	1.21E+03	2.77E+02	2.90E+02
Dec-2003	3.25E+03	3.25E+03	3.25E+03	3.25E+03	1.23E+03	1.07E+03	4.36E+02	2.61E+03	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03	4.36E+02	1.36E+01	1.36E+01
Jan-2004	1.57E+02	1.57E+02	1.57E+02	1.57E+02	2.04E+01	1.40E+01	6.87E+01	1.57E+02	1.57E+02	1.57E+02	1.57E+02	6.87E+01	1.80E+00	1.79E+00
Feb-2004	1.59E+01	1.59E+01	1.59E+01	1.59E+01	2.64E+00	1.77E+00	4.36E+00	1.55E+01	1.54E+01	1.54E+01	1.54E+01	4.36E+00	7.27E-01	7.33E-01
Mar-2004	2.45E+02	2.45E+02	2.45E+02	2.45E+02	3.06E+01	2.43E+01	3.83E+01	2.45E+02	2.45E+02	2.45E+02	2.45E+02	3.83E+01	4.47E+00	4.48E+00

Apr-2004	1.02E+04	1.02E+04	1.02E+04	1.02E+04	1.94E+03	1.37E+03	1.05E+03	9.60E+03	9.53E+03	9.47E+03	9.47E+03	1.05E+03	1.22E+02	1.22E+02
May-2004	8.83E+02	8.83E+02	8.83E+02	8.83E+02	2.08E+02	1.20E+02	6.36E+01	8.66E+02	8.63E+02	7.56E+02	7.56E+02	6.36E+01	7.97E+00	7.97E+00
Jun-2004	1.30E+04	1.30E+04	1.30E+04	1.30E+04	4.56E+03	3.62E+03	2.47E+03	1.16E+04	1.11E+04	1.08E+04	1.08E+04	2.47E+03	3.93E+02	3.93E+02
Jul-2004	2.61E+04	2.61E+04	2.61E+04	2.61E+04	6.94E+03	5.25E+03	3.36E+03	2.39E+04	2.36E+04	2.34E+04	2.34E+04	3.36E+03	5.68E+02	5.69E+02
Aug-2004	1.46E+04	1.46E+04	1.46E+04	1.46E+04	2.47E+03	1.62E+03	9.60E+02	1.37E+04	1.36E+04	1.35E+04	1.35E+04	9.60E+02	1.77E+02	1.77E+02
Sep-2004	7.22E+03	7.22E+03	7.22E+03	7.22E+03	1.90E+03	1.27E+03	7.25E+02	5.27E+03	5.21E+03	5.16E+03	5.16E+03	7.25E+02	1.33E+02	1.34E+02
Oct-2004	1.20E+04	1.20E+04	1.20E+04	1.20E+04	1.20E+03	6.57E+02	3.55E+02	1.20E+04	1.20E+04	1.20E+04	1.20E+04	3.55E+02	7.41E+01	7.42E+01
Nov-2004	1.51E+04	1.51E+04	1.51E+04	1.51E+04	1.34E+03	8.06E+02	3.92E+02	1.48E+04	1.48E+04	1.48E+04	1.48E+04	3.92E+02	6.64E+01	6.66E+01
Dec-2004	3.28E+03	3.28E+03	3.28E+03	3.28E+03	5.84E+02	2.63E+02	1.05E+02	3.28E+03	3.28E+03	3.28E+03	3.28E+03	1.05E+02	2.69E+01	2.70E+01
Jan-2005	3.49E+02	3.49E+02	3.49E+02	3.49E+02	4.23E+01	2.62E+01	8.60E+00	3.49E+02	3.49E+02	3.49E+02	3.49E+02	8.60E+00	3.89E+00	3.89E+00
Feb-2005	4.53E+01	4.53E+01	4.53E+01	4.53E+01	5.15E+00	3.25E+00	1.39E+00	4.53E+01	4.53E+01	4.53E+01	4.53E+01	1.39E+00	4.57E-01	4.57E-01
Mar-2005	4.98E+02	4.98E+02	4.98E+02	4.98E+02	2.59E+01	1.44E+01	8.08E+00	4.98E+02	4.98E+02	4.98E+02	4.98E+02	8.08E+00	1.98E+00	1.98E+00
Apr-2005	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	5.59E+01	4.77E+01	3.86E+01	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	3.86E+01	4.42E+00	4.45E+00
May-2005	1.86E+04	1.86E+04	1.86E+04	1.86E+04	8.28E+03	6.66E+03	4.31E+03	1.53E+04	1.48E+04	1.45E+04	1.45E+04	4.31E+03	7.65E+02	7.71E+02
Jun-2005	3.43E+04	3.43E+04	3.43E+04	3.43E+04	1.09E+04	7.86E+03	5.59E+03	2.99E+04	2.94E+04	2.90E+04	2.90E+04	5.59E+03	1.01E+03	1.03E+03
Jul-2005	3.54E+04	3.54E+04	3.54E+04	3.54E+04	9.02E+03	7.07E+03	4.94E+03	3.24E+04	3.22E+04	3.20E+04	3.20E+04	4.94E+03	8.13E+02	8.28E+02
Aug-2005	2.56E+04	2.56E+04	2.56E+04	2.56E+04	5.04E+03	3.45E+03	2.03E+03	2.45E+04	2.44E+04	2.43E+04	2.43E+04	2.03E+03	3.70E+02	3.80E+02
Sep-2005	6.19E+03	6.19E+03	6.19E+03	6.19E+03	1.67E+03	9.31E+02	3.98E+02	6.09E+03	6.08E+03	6.07E+03	6.07E+03	3.98E+02	8.34E+01	8.42E+01

Oct-2005	5.56E +03	5.56E +03	5.56E +03	5.56E +03	5.41E +02	1.96E +02	7.50E +01	5.56E +03	5.56E +03	5.56E +03	5.56E +03	7.50E +01	3.97E +01	3.98E +01
Nov-2005	7.11E +03	7.11E +03	7.11E +03	7.11E +03	9.07E +02	5.93E +02	2.58E +02	6.87E +03	6.84E +03	6.82E +03	6.82E +03	2.58E +02	5.43E +01	5.56E +01
Dec-2005	5.65E +03	5.65E +03	5.65E +03	5.65E +03	7.34E +02	4.34E +02	2.76E +02	5.55E +03	5.54E +03	5.54E +03	5.54E +03	2.76E +02	2.84E +01	2.86E +01
Jan-2006	1.59E +03	1.59E +03	1.59E +03	1.59E +03	2.36E +02	1.03E +02	2.16E +01	1.58E +03	1.58E +03	1.58E +03	1.58E +03	2.16E +01	4.53E +00	4.51E +00
Feb-2006	2.21E +01	2.21E +01	2.21E +01	2.21E +01	3.80E +00	2.58E +00	2.08E +00	2.21E +01	2.21E +01	2.21E +01	2.21E +01	2.08E +00	5.26E- 01	5.28E- 01
Mar-2006	5.13E +02	5.13E +02	5.13E +02	5.13E +02	2.08E +01	9.14E +00	2.93E +00	5.13E +02	5.13E +02	5.13E +02	5.13E +02	2.93E +00	1.02E +00	1.02E +00
Apr-2006	6.09E +03	6.09E +03	6.09E +03	6.09E +03	2.99E +03	2.48E +03	1.57E +03	4.86E +03	4.68E +03	4.54E +03	4.54E +03	1.57E +03	2.64E +02	2.65E +02
May-2006	5.57E +03	5.57E +03	5.57E +03	5.57E +03	3.00E +03	2.40E +03	1.28E +03	4.16E +03	3.96E +03	3.80E +03	3.80E +03	1.28E +03	2.84E +02	2.85E +02
Jun-2006	3.43E +04	3.43E +04	3.43E +04	3.43E +04	1.35E +04	1.02E +04	8.24E +03	2.98E +04	2.93E +04	2.89E +04	2.89E +04	8.24E +03	1.24E +03	1.24E +03
Jul-2006	3.86E +04	3.86E +04	3.86E +04	3.86E +04	1.00E +04	7.26E +03	4.52E +03	3.63E +04	3.60E +04	3.58E +04	3.58E +04	4.52E +03	8.49E +02	8.56E +02
Aug-2006	2.90E +04	2.90E +04	2.90E +04	2.90E +04	7.63E +03	5.61E +03	3.65E +03	2.70E +04	2.68E +04	2.66E +04	2.66E +04	3.65E +03	6.39E +02	6.46E +02
Sep-2006	7.31E +03	7.31E +03	7.31E +03	7.31E +03	2.85E +03	1.90E +03	9.87E +02	6.64E +03	6.57E +03	6.52E +03	6.52E +03	9.87E +02	1.70E +02	1.72E +02
Oct-2006	1.53E +04	1.53E +04	1.53E +04	1.53E +04	1.17E +03	5.90E +02	2.89E +02	1.53E +04	1.53E +04	1.53E +04	1.53E +04	2.89E +02	7.66E +01	7.71E +01
Nov-2006	7.51E +03	7.51E +03	7.51E +03	7.51E +03	5.48E +02	2.32E +02	7.30E +01	7.51E +03	7.51E +03	7.51E +03	7.51E +03	7.30E +01	2.05E +01	2.05E +01
Dec-2006	5.95E +03	5.95E +03	5.95E +03	5.95E +03	5.79E +02	3.35E +02	1.86E +02	5.95E +03	5.95E +03	5.95E +03	5.95E +03	1.86E +02	2.92E +01	2.94E +01
Jan-2007	1.96E +03	1.96E +03	1.96E +03	1.96E +03	2.33E +02	1.40E +02	6.24E +01	1.96E +03	1.96E +03	1.96E +03	1.96E +03	6.24E +01	8.67E +00	8.67E +00
Feb-2007	1.25E +03	1.25E +03	1.25E +03	1.25E +03	3.34E +02	2.62E +02	1.19E +02	1.25E +03	1.25E +03	1.25E +03	1.25E +03	1.19E +02	2.22E +01	2.23E +01
Mar-2007	1.71E +02	1.71E +02	1.71E +02	1.71E +02	9.16E +00	7.63E +00	5.88E +01	1.71E +02	1.71E +02	1.71E +02	1.71E +02	5.88E +01	1.73E +00	1.73E +00

Apr-2007	3.56E+03	3.56E+03	3.56E+03	3.56E+03	9.34E+02	7.02E+02	5.38E+02	2.78E+03	2.68E+03	2.60E+03	2.60E+03	5.38E+02	6.78E+01	6.84E+01
May-2007	2.06E+03	2.06E+03	2.06E+03	2.06E+03	6.26E+02	4.37E+02	3.16E+02	1.86E+03	1.83E+03	1.81E+03	1.81E+03	3.16E+02	5.36E+01	5.40E+01
Jun-2007	4.93E+03	4.93E+03	4.93E+03	4.93E+03	2.02E+03	1.50E+03	1.14E+03	4.10E+03	3.99E+03	3.91E+03	3.91E+03	1.14E+03	1.53E+02	1.52E+02
Jul-2007	1.27E+04	1.27E+04	1.27E+04	1.27E+04	2.98E+03	2.14E+03	1.36E+03	1.19E+04	1.18E+04	1.17E+04	1.17E+04	1.36E+03	2.09E+02	2.09E+02
Aug-2007	1.35E+04	1.35E+04	1.35E+04	1.35E+04	3.95E+03	3.04E+03	1.90E+03	1.24E+04	1.22E+04	1.21E+04	1.21E+04	1.90E+03	3.23E+02	3.26E+02
Sep-2007	5.96E+03	5.96E+03	5.96E+03	5.96E+03	1.18E+03	7.50E+02	3.66E+02	5.58E+03	5.55E+03	5.53E+03	5.53E+03	3.66E+02	6.35E+01	6.38E+01
Oct-2007	7.10E+03	7.10E+03	7.10E+03	7.10E+03	6.75E+02	1.97E+02	7.18E+01	7.10E+03	7.10E+03	7.10E+03	7.10E+03	7.18E+01	2.63E+01	2.63E+01
Nov-2007	1.74E+03	1.74E+03	1.74E+03	1.74E+03	1.29E+02	6.63E+01	1.92E+01	1.74E+03	1.74E+03	1.74E+03	1.74E+03	1.92E+01	4.49E+00	4.50E+00
Dec-2007	5.93E+02	5.93E+02	5.93E+02	5.93E+02	3.10E+01	1.92E+01	1.02E+01	5.93E+02	5.93E+02	5.93E+02	5.93E+02	1.02E+01	1.60E+00	1.61E+00
Jan-2008	3.53E+02	3.53E+02	3.53E+02	3.53E+02	1.87E+01	9.03E+00	2.01E+00	3.53E+02	3.53E+02	3.53E+02	3.53E+02	2.01E+00	2.00E-01	2.00E-01
Feb-2008	4.42E+00	4.42E+00	4.42E+00	4.42E+00	3.57E-01	2.55E-01	1.92E-01	4.42E+00	4.42E+00	4.42E+00	4.42E+00	1.92E-01	1.15E-01	1.22E-01
Mar-2008	3.63E+02	3.63E+02	3.63E+02	3.63E+02	4.75E+01	3.77E+01	3.02E+01	3.63E+02	3.63E+02	3.63E+02	3.63E+02	3.02E+01	4.33E+00	4.34E+00
Apr-2008	6.65E+02	6.65E+02	6.65E+02	6.65E+02	5.08E+02	3.45E+02	1.47E+02	6.65E+02	6.65E+02	6.65E+02	6.65E+02	1.47E+02	6.15E+01	6.08E+01
May-2008	2.74E+04	2.74E+04	2.74E+04	2.74E+04	1.36E+04	1.15E+04	5.74E+03	2.10E+04	2.02E+04	1.95E+04	1.95E+04	5.74E+03	1.44E+03	1.43E+03
Jun-2008	1.36E+04	1.36E+04	1.36E+04	1.36E+04	2.64E+03	1.92E+03	4.55E+03	1.28E+04	1.28E+04	1.27E+04	1.27E+04	4.55E+03	2.07E+02	2.06E+02
Jul-2008	2.19E+04	2.19E+04	2.19E+04	2.19E+04	6.16E+03	4.66E+03	3.17E+03	2.00E+04	1.97E+04	1.95E+04	1.95E+04	3.17E+03	5.10E+02	5.11E+02
Aug-2008	2.75E+04	2.75E+04	2.75E+04	2.75E+04	8.81E+03	6.32E+03	4.06E+03	2.51E+04	2.47E+04	2.44E+04	2.44E+04	4.06E+03	7.35E+02	7.34E+02
Sep-2008	1.15E+04	1.15E+04	1.15E+04	1.15E+04	3.99E+03	2.93E+03	1.89E+03	1.03E+04	1.03E+04	1.02E+04	1.02E+04	1.89E+03	3.06E+02	3.06E+02

Oct-2008	7.07E +03	7.07E +03	7.07E +03	7.07E +03	6.37E +02	2.35E +02	8.86E +01	7.07E +03	7.07E +03	7.07E +03	7.07E +03	8.86E +01	4.62E +01	4.62E +01
Nov-2008	2.33E +03	2.33E +03	2.33E +03	2.33E +03	1.69E +02	9.99E +01	2.37E +01	2.33E +03	2.33E +03	2.33E +03	2.33E +03	2.37E +01	1.41E +01	1.41E +01
Dec-2008	7.20E +02	7.20E +02	7.20E +02	7.20E +02	2.97E +01	1.86E +01	9.75E +00	7.20E +02	7.20E +02	7.20E +02	7.20E +02	9.75E +00	3.26E +00	3.26E +00
Jan-2009	1.44E +01	1.44E +01	1.44E +01	1.44E +01	4.52E- 01	3.72E- 01	2.41E- 01	1.44E +01	1.44E +01	1.44E +01	1.44E +01	2.41E- 01	1.61E- 01	1.61E- 01
Feb-2009	3.35E +02	3.35E +02	3.35E +02	3.35E +02	1.11E +01	5.40E +00	1.30E +00	3.35E +02	3.35E +02	3.35E +02	3.35E +02	1.30E +00	3.71E- 01	3.71E- 01
Mar-2009	1.31E +01	1.31E +01	1.31E +01	1.31E +01	6.66E- 01	5.13E- 01	4.58E- 01	1.31E +01	1.31E +01	1.31E +01	1.31E +01	4.58E- 01	3.37E- 01	3.38E- 01
Apr-2009	1.64E +03	1.64E +03	1.64E +03	1.64E +03	1.16E +02	4.38E +01	6.56E +00	1.64E +03	1.64E +03	1.64E +03	1.64E +03	6.56E +00	8.72E- 01	8.72E- 01
May-2009	1.23E +04	1.23E +04	1.23E +04	1.23E +04	3.05E +03	2.41E +03	1.75E +03	1.11E +04	1.09E +04	1.08E +04	1.08E +04	1.75E +03	2.28E +02	2.28E +02
Jun-2009	1.50E +04	1.50E +04	1.50E +04	1.50E +04	8.16E +03	6.70E +03	3.56E +03	1.21E +04	1.16E +04	1.13E +04	1.13E +04	3.56E +03	8.31E +02	8.28E +02
Jul-2009	1.66E +04	1.66E +04	1.66E +04	1.66E +04	4.01E +03	2.94E +03	3.11E +03	1.55E +04	1.53E +04	1.53E +04	1.53E +04	3.11E +03	2.30E +02	2.30E +02
Aug-2009	2.41E +04	2.41E +04	2.41E +04	2.41E +04	9.18E +03	7.01E +03	4.93E +03	2.17E +04	2.13E +04	2.10E +04	2.10E +04	4.93E +03	8.11E +02	8.11E +02
Sep-2009	9.11E +03	9.11E +03	9.11E +03	9.11E +03	3.02E +03	2.03E +03	1.18E +03	7.11E +03	7.03E +03	6.96E +03	6.96E +03	1.18E +03	2.01E +02	2.00E +02
Oct-2009	1.61E +04	1.61E +04	1.61E +04	1.61E +04	1.66E +03	8.49E +02	4.88E +02	1.61E +04	1.61E +04	1.61E +04	1.61E +04	4.88E +02	1.03E +02	1.02E +02
Nov-2009	1.98E +04	1.98E +04	1.98E +04	1.98E +04	1.35E +03	7.64E +02	3.02E +02	1.96E +04	1.96E +04	1.95E +04	1.95E +04	3.02E +02	5.45E +01	5.43E +01
Dec-2009	2.57E +03	2.57E +03	2.57E +03	2.57E +03	3.73E +02	1.78E +02	5.19E +01	2.57E +03	2.57E +03	2.57E +03	2.57E +03	5.19E +01	1.39E +01	1.39E +01
Jan-2010	1.26E +03	1.26E +03	1.26E +03	1.26E +03	2.03E +02	9.96E +01	2.08E +01	1.25E +03	1.25E +03	1.25E +03	1.25E +03	2.08E +01	4.50E +00	4.49E +00
Feb-2010	1.50E +03	1.50E +03	1.50E +03	1.50E +03	1.23E +03	1.01E +03	6.06E +02	1.06E +03	1.00E +03	9.57E +02	9.57E +02	6.06E +02	9.71E +01	9.74E +01
Mar-2010	3.65E +02	3.65E +02	3.65E +02	3.65E +02	3.03E +01	2.45E +01	7.38E +01	3.65E +02	3.65E +02	3.65E +02	3.65E +02	7.38E +01	2.89E +00	2.89E +00

Apr-2010	1.73E+02	1.73E+02	1.73E+02	1.73E+02	8.03E+00	4.02E+00	1.85E+01	1.73E+02	1.73E+02	1.73E+02	1.73E+02	1.85E+01	1.75E+01	1.75E+01
May-2010	5.14E+02	5.14E+02	5.14E+02	5.14E+02	1.25E+02	1.03E+02	1.07E+02	4.38E+02	4.28E+02	4.20E+02	4.20E+02	1.07E+02	9.79E+00	9.87E+00
Jun-2010	9.73E+03	9.73E+03	9.73E+03	9.73E+03	2.64E+03	1.95E+03	1.36E+03	8.83E+03	8.67E+03	8.55E+03	8.55E+03	1.36E+03	1.99E+02	2.00E+02
Jul-2010	1.77E+04	1.77E+04	1.77E+04	1.77E+04	4.29E+03	3.26E+03	2.04E+03	1.60E+04	1.59E+04	1.57E+04	1.57E+04	2.04E+03	3.28E+02	3.34E+02
Aug-2010	1.77E+04	1.77E+04	1.77E+04	1.77E+04	7.34E+03	5.46E+03	3.50E+03	1.59E+04	1.56E+04	1.53E+04	1.53E+04	3.50E+03	6.46E+02	6.69E+02
Sep-2010	6.62E+03	6.62E+03	6.62E+03	6.62E+03	1.55E+03	1.22E+03	9.26E+02	5.25E+03	5.25E+03	5.24E+03	5.24E+03	9.26E+02	6.37E+01	6.41E+01
Oct-2010	6.27E+03	6.27E+03	6.27E+03	6.27E+03	8.92E+02	4.26E+02	1.83E+02	6.27E+03	6.27E+03	6.27E+03	6.27E+03	1.83E+02	4.71E+01	4.81E+01
Nov-2010	5.58E+03	5.58E+03	5.58E+03	5.58E+03	5.21E+02	2.17E+02	1.07E+02	5.58E+03	5.58E+03	5.58E+03	5.58E+03	1.07E+02	1.68E+01	1.71E+01
Dec-2010	3.39E+03	3.39E+03	3.39E+03	3.39E+03	4.13E+02	1.97E+02	6.96E+01	3.21E+03	3.19E+03	3.17E+03	3.17E+03	6.96E+01	1.19E+01	1.20E+01
Jan-2011	1.22E+03	1.22E+03	1.22E+03	1.22E+03	2.58E+02	1.12E+02	3.23E+01	1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	3.23E+01	6.26E+00	6.27E+00
Feb-2011	2.35E+02	2.35E+02	2.35E+02	2.35E+02	6.69E+01	4.01E+01	1.74E+01	2.24E+02	2.23E+02	2.22E+02	2.22E+02	1.74E+01	2.29E+00	2.29E+00
Mar-2011	7.15E+02	7.15E+02	7.15E+02	7.15E+02	1.30E+02	1.06E+02	8.29E+01	7.15E+02	7.15E+02	7.15E+02	7.15E+02	8.29E+01	1.07E+01	1.07E+01
Apr-2011	3.33E+03	3.33E+03	3.33E+03	3.33E+03	1.26E+03	9.53E+02	6.71E+02	2.70E+03	2.62E+03	2.56E+03	2.56E+03	6.71E+02	8.85E+01	8.85E+01
May-2011	7.99E+02	7.99E+02	7.99E+02	7.99E+02	3.30E+02	2.70E+02	2.56E+02	6.57E+02	6.39E+02	6.25E+02	6.25E+02	2.56E+02	2.53E+01	2.53E+01
Jun-2011	7.57E+03	7.57E+03	7.57E+03	7.57E+03	1.84E+03	1.36E+03	9.60E+02	6.93E+03	6.85E+03	6.79E+03	6.79E+03	9.60E+02	1.49E+02	1.48E+02
Jul-2011	1.09E+04	1.09E+04	1.09E+04	1.09E+04	3.35E+03	2.43E+03	1.67E+03	9.93E+03	9.79E+03	9.68E+03	9.68E+03	1.67E+03	2.50E+02	2.53E+02
Aug-2011	1.81E+04	1.81E+04	1.81E+04	1.81E+04	4.15E+03	2.99E+03	1.77E+03	1.72E+04	1.70E+04	1.69E+04	1.69E+04	1.77E+03	2.77E+02	2.81E+02
Sep-2011	6.80E+03	6.80E+03	6.80E+03	6.80E+03	2.03E+03	1.26E+03	5.47E+02	6.34E+03	6.28E+03	6.24E+03	6.24E+03	5.47E+02	9.89E+01	9.99E+01

Oct-2011	8.63E +03	8.63E +03	8.63E +03	8.63E +03	7.46E +02	3.54E +02	1.50E +02	8.63E +03	8.63E +03	8.63E +03	8.63E +03	1.50E +02	5.11E +01	5.12E +01
Nov-2011	2.86E +03	2.86E +03	2.86E +03	2.86E +03	4.15E +02	2.78E +02	1.49E +02	2.86E +03	2.86E +03	2.86E +03	2.86E +03	1.49E +02	2.88E +01	2.91E +01
Dec-2011	3.29E +02	3.29E +02	3.29E +02	3.29E +02	1.41E +01	9.19E +00	4.95E +00	3.29E +02	3.29E +02	3.29E +02	3.29E +02	4.95E +00	2.42E +00	2.42E +00
Jan-2012	1.50E +02	1.50E +02	1.50E +02	1.50E +02	1.06E +01	7.01E +00	4.92E +00	1.50E +02	1.50E +02	1.50E +02	1.50E +02	4.92E +00	7.04E- 01	7.03E- 01
Feb-2012	3.78E +03	3.78E +03	3.78E +03	3.78E +03	6.72E +02	4.23E +02	1.65E +02	3.78E +03	3.78E +03	3.78E +03	3.78E +03	1.65E +02	3.23E +01	3.24E +01
Mar-2012	5.85E +03	5.85E +03	5.85E +03	5.85E +03	4.30E +02	1.73E +02	1.58E +02	5.85E +03	5.85E +03	5.85E +03	5.85E +03	1.58E +02	1.62E +01	1.62E +01
Apr-2012	3.39E +01	3.39E +01	3.39E +01	3.39E +01	1.69E +00	7.90E- 01	3.68E- 01	3.39E +01	3.39E +01	3.39E +01	3.39E +01	3.68E- 01	9.50E- 02	9.47E- 02
May-2012	7.65E +03	7.65E +03	7.65E +03	7.65E +03	3.70E +03	2.70E +03	1.02E +03	7.65E +03	7.65E +03	7.51E +03	7.51E +03	1.02E +03	3.20E +02	3.22E +02
Jun-2012	2.10E +04	2.10E +04	2.10E +04	2.10E +04	6.56E +03	5.70E +03	5.03E +03	1.65E +04	1.59E +04	1.56E +04	1.56E +04	5.03E +03	5.67E +02	5.73E +02
Jul-2012	1.01E +04	1.01E +04	1.01E +04	1.01E +04	1.30E +03	6.52E +02	2.20E +02	9.85E +03	9.84E +03	9.84E +03	9.84E +03	2.20E +02	3.88E +01	3.89E +01
Aug-2012	8.49E +03	8.49E +03	8.49E +03	8.49E +03	2.81E +03	1.98E +03	1.34E +03	7.57E +03	7.46E +03	7.36E +03	7.36E +03	1.34E +03	2.03E +02	2.10E +02
Sep-2012	1.39E +03	1.39E +03	1.39E +03	1.39E +03	5.00E +02	2.59E +02	1.16E +02	1.34E +03	1.34E +03	1.33E +03	1.33E +03	1.16E +02	2.52E +01	2.54E +01
Oct-2012	3.09E +03	3.09E +03	3.09E +03	3.09E +03	5.50E +02	3.33E +02	1.63E +02	3.09E +03	3.09E +03	3.09E +03	3.09E +03	1.63E +02	3.18E +01	3.29E +01
Nov-2012	8.49E +02	8.49E +02	8.49E +02	8.49E +02	2.75E +02	2.16E +02	1.52E +02	8.49E +02	8.49E +02	8.49E +02	8.49E +02	1.52E +02	2.31E +01	2.40E +01
Dec-2012	9.26E +03	9.26E +03	9.26E +03	9.26E +03	1.64E +03	1.05E +03	6.25E +02	8.64E +03	8.56E +03	8.50E +03	8.50E +03	6.25E +02	8.96E +01	9.02E +01
Jan-2013	2.22E +03	2.22E +03	2.22E +03	2.22E +03	3.84E +02	1.71E +02	5.79E +01	2.22E +03	2.22E +03	2.22E +03	2.22E +03	5.79E +01	1.23E +01	1.23E +01
Feb-2013	4.39E +02	4.39E +02	4.39E +02	4.39E +02	1.58E +02	1.06E +02	5.01E +01	4.00E +02	3.95E +02	3.91E +02	3.91E +02	5.01E +01	9.69E +00	9.68E +00
Mar-2013	1.37E +02	1.37E +02	1.37E +02	1.37E +02	9.26E +00	5.71E +00	4.23E +00	1.37E +02	1.37E +02	1.37E +02	1.37E +02	4.23E +00	1.96E +00	1.96E +00

Apr-2013	8.89E+01	8.89E+01	8.89E+01	8.89E+01	5.95E+00	3.87E+00	2.40E+00	8.89E+01	8.89E+01	8.89E+01	8.89E+01	2.40E+00	4.05E-01	4.05E-01
May-2013	4.67E+03	4.67E+03	4.67E+03	4.67E+03	2.17E+03	1.36E+03	9.88E+02	3.40E+03	3.24E+03	3.11E+03	3.11E+03	9.88E+02	1.84E+02	1.85E+02
Jun-2013	7.58E+03	7.58E+03	7.58E+03	7.58E+03	2.51E+03	2.09E+03	1.37E+03	6.86E+03	6.77E+03	6.70E+03	6.70E+03	1.37E+03	1.63E+02	1.64E+02
Jul-2013	1.42E+04	1.42E+04	1.42E+04	1.42E+04	3.52E+03	2.67E+03	1.86E+03	1.33E+04	1.32E+04	1.32E+04	1.32E+04	1.86E+03	2.38E+02	2.40E+02
Aug-2013	1.07E+04	1.07E+04	1.07E+04	1.07E+04	2.72E+03	1.89E+03	1.19E+03	1.00E+04	9.91E+03	9.84E+03	9.84E+03	1.19E+03	1.74E+02	1.75E+02
Sep-2013	4.17E+03	4.17E+03	4.17E+03	4.17E+03	1.15E+03	5.85E+02	2.25E+02	4.08E+03	4.07E+03	4.06E+03	4.06E+03	2.25E+02	3.58E+01	3.60E+01
Oct-2013	2.16E+03	2.16E+03	2.16E+03	2.16E+03	2.25E+02	1.17E+02	3.36E+01	2.16E+03	2.16E+03	2.16E+03	2.16E+03	3.36E+01	1.29E+01	1.29E+01
Nov-2013	1.58E+03	1.58E+03	1.58E+03	1.58E+03	1.12E+02	6.25E+01	1.36E+01	1.58E+03	1.58E+03	1.58E+03	1.58E+03	1.36E+01	3.03E+00	3.04E+00
Dec-2013	1.11E+02	1.11E+02	1.11E+02	1.11E+02	4.03E+00	2.62E+00	1.72E+00	1.11E+02	1.11E+02	1.11E+02	1.11E+02	1.72E+00	2.77E-01	2.77E-01
Jan-2014	6.98E+02	6.98E+02	6.98E+02	6.98E+02	7.31E+01	4.23E+01	1.60E+01	6.77E+02	6.74E+02	6.72E+02	6.72E+02	1.60E+01	2.01E+00	2.03E+00
Feb-2014	2.74E+02	2.74E+02	2.74E+02	2.74E+02	8.34E+01	5.05E+01	1.81E+01	2.68E+02	2.68E+02	2.67E+02	2.67E+02	1.81E+01	1.70E+00	1.71E+00
Mar-2014	1.95E+02	1.95E+02	1.95E+02	1.95E+02	5.73E+01	1.76E+01	6.32E+00	1.95E+02	1.95E+02	1.95E+02	1.95E+02	6.32E+00	6.15E+00	6.12E+00
Apr-2014	1.16E+03	1.16E+03	1.16E+03	1.16E+03	2.64E+02	2.25E+02	1.61E+02	1.04E+03	1.02E+03	1.01E+03	1.01E+03	1.61E+02	2.11E+01	2.12E+01
May-2014	9.51E+03	9.51E+03	9.51E+03	9.51E+03	3.81E+03	3.15E+03	2.44E+03	7.91E+03	7.63E+03	7.41E+03	7.41E+03	2.44E+03	3.45E+02	3.46E+02
Jun-2014	2.63E+04	2.63E+04	2.63E+04	2.63E+04	1.17E+04	9.23E+03	7.10E+03	2.17E+04	2.12E+04	2.08E+04	2.08E+04	7.10E+03	1.04E+03	1.04E+03
Jul-2014	1.97E+04	1.97E+04	1.97E+04	1.97E+04	7.38E+03	5.71E+03	3.66E+03	1.76E+04	1.72E+04	1.70E+04	1.70E+04	3.66E+03	6.51E+02	6.71E+02
Aug-2014	2.71E+04	2.71E+04	2.71E+04	2.71E+04	5.36E+03	3.87E+03	2.28E+03	2.55E+04	2.55E+04	2.54E+04	2.54E+04	2.28E+03	3.20E+02	3.27E+02
Sep-2014	7.40E+03	7.40E+03	7.40E+03	7.40E+03	2.80E+03	1.85E+03	9.11E+02	6.89E+03	6.83E+03	6.78E+03	6.78E+03	9.11E+02	1.58E+02	1.63E+02

Oct-2014	1.56E+04	1.56E+04	1.56E+04	1.56E+04	1.20E+03	5.40E+02	2.20E+02	1.56E+04	1.56E+04	1.56E+04	1.56E+04	2.20E+02	6.83E+01	6.86E+01
Nov-2014	3.78E+03	3.78E+03	3.78E+03	3.78E+03	2.95E+02	1.32E+02	3.72E+01	3.78E+03	3.78E+03	3.78E+03	3.78E+03	3.72E+01	1.57E+01	1.57E+01
Dec-2014	5.13E+02	5.13E+02	5.13E+02	5.13E+02	2.35E+01	1.41E+01	6.22E+00	5.13E+02	5.13E+02	5.13E+02	5.13E+02	6.22E+00	3.12E+00	3.12E+00
Jan-2015	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	3.26E+00	1.63E+00	5.66E-01	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	5.66E-01	2.25E-01	2.25E-01
Feb-2015	4.51E+00	4.51E+00	4.51E+00	4.51E+00	4.23E-01	3.05E-01	3.54E-01	4.51E+00	4.51E+00	4.51E+00	4.51E+00	3.54E-01	3.44E-01	3.44E-01
Mar-2015	2.83E-01	2.83E-01	2.83E-01	2.83E-01	1.27E-01	1.08E-01	9.38E-02	2.83E-01	2.83E-01	2.83E-01	2.83E-01	9.38E-02	9.38E-02	9.80E-02
Apr-2015	2.73E+02	2.73E+02	2.73E+02	2.73E+02	6.31E+01	5.30E+01	2.17E+01	2.73E+02	2.73E+02	2.73E+02	2.73E+02	2.17E+01	4.58E+00	4.64E+00
May-2015	1.82E+03	1.82E+03	1.82E+03	1.82E+03	1.03E+03	7.23E+02	1.68E+02	1.82E+03	1.82E+03	1.82E+03	1.82E+03	1.68E+02	9.23E+01	9.24E+01
Jun-2015	2.58E+04	2.58E+04	2.58E+04	2.58E+04	4.78E+03	3.56E+03	2.83E+03	2.40E+04	2.38E+04	2.36E+04	2.36E+04	2.83E+03	3.54E+02	3.55E+02
Jul-2015	1.37E+04	1.37E+04	1.37E+04	1.37E+04	5.24E+03	4.07E+03	2.73E+03	1.22E+04	1.20E+04	1.18E+04	1.18E+04	2.73E+03	4.12E+02	4.14E+02
Aug-2015	2.75E+04	2.75E+04	2.75E+04	2.75E+04	8.54E+03	6.35E+03	4.24E+03	2.49E+04	2.46E+04	2.43E+04	2.43E+04	4.24E+03	7.38E+02	7.39E+02
Sep-2015	9.41E+03	9.41E+03	9.41E+03	9.41E+03	3.75E+03	2.66E+03	1.70E+03	7.69E+03	7.56E+03	7.45E+03	7.45E+03	1.70E+03	2.60E+02	2.60E+02
Oct-2015	2.40E+04	2.40E+04	2.40E+04	2.40E+04	1.97E+03	1.29E+03	6.98E+02	2.40E+04	2.40E+04	2.40E+04	2.40E+04	6.98E+02	1.47E+02	1.47E+02
Nov-2015	5.17E+03	5.17E+03	5.17E+03	5.17E+03	4.61E+02	1.97E+02	5.47E+01	5.17E+03	5.17E+03	5.17E+03	5.17E+03	5.47E+01	2.50E+01	2.51E+01
Dec-2015	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03	2.25E+02	1.43E+02	5.24E+01	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03	5.24E+01	1.63E+01	1.64E+01
Jan-2016	2.18E+02	2.18E+02	2.18E+02	2.18E+02	1.23E+01	8.60E+00	4.44E+00	2.18E+02	2.18E+02	2.18E+02	2.18E+02	4.44E+00	1.64E+00	1.64E+00
Feb-2016	8.34E+01	8.34E+01	8.34E+01	8.34E+01	2.15E+00	1.10E+00	4.07E-01	8.34E+01	8.34E+01	8.34E+01	8.34E+01	4.07E-01	2.38E-01	2.39E-01
Mar-2016	5.08E+00	5.08E+00	5.08E+00	5.08E+00	5.00E-01	3.54E-01	4.46E-01	5.08E+00	5.08E+00	5.08E+00	5.08E+00	4.46E-01	4.35E-01	4.35E-01

Apr-2016	3.95E +03	3.95E +03	3.95E +03	3.95E +03	6.07E +02	3.90E +02	2.88E +02	3.95E +03	3.95E +03	3.95E +03	3.95E +03	2.88E +02	3.32E +01	3.33E +01
May-2016	6.25E +02	6.25E +02	6.25E +02	6.25E +02	2.51E +02	1.82E +02	1.38E +02	6.25E +02	6.25E +02	6.25E +02	6.25E +02	1.38E +02	3.42E +01	3.32E +01
Jun-2016	4.26E +02	4.26E +02	4.26E +02	4.26E +02	1.40E +02	1.77E +02	1.67E +02	4.26E +02	4.26E +02	4.26E +02	4.26E +02	1.67E +02	2.86E +00	2.87E +00
Jul-2016	1.54E +04	1.54E +04	1.54E +04	1.54E +04	3.71E +03	2.89E +03	1.89E +03	1.41E +04	1.39E +04	1.37E +04	1.37E +04	1.89E +03	2.88E +02	2.91E +02
Aug-2016	1.09E +04	1.09E +04	1.09E +04	1.09E +04	1.25E +03	6.65E +02	4.79E +02	1.04E +04	1.04E +04	1.04E +04	1.04E +04	4.79E +02	5.07E +01	5.13E +01
Sep-2016	1.65E +03	1.65E +03	1.65E +03	1.65E +03	3.95E +02	1.82E +02	6.23E +01	1.64E +03	1.64E +03	1.64E +03	1.64E +03	6.23E +01	1.14E +01	1.15E +01
Oct-2016	7.81E +03	7.81E +03	7.81E +03	7.81E +03	1.23E +03	7.85E +02	4.67E +02	7.81E +03	7.81E +03	7.81E +03	7.81E +03	4.67E +02	7.07E +01	7.26E +01
Nov-2016	2.53E +03	2.53E +03	2.53E +03	2.53E +03	2.85E +02	1.86E +02	7.65E +01	2.53E +03	2.53E +03	2.53E +03	2.53E +03	7.65E +01	1.56E +01	1.60E +01
Dec-2016	3.68E +03	3.68E +03	3.68E +03	3.68E +03	4.51E +02	2.51E +02	1.07E +02	3.68E +03	3.68E +03	3.68E +03	3.68E +03	1.07E +02	1.82E +01	1.87E +01
Jan-2017	1.91E +03	1.91E +03	1.91E +03	1.91E +03	1.80E +02	8.19E +01	1.65E +01	1.91E +03	1.91E +03	1.91E +03	1.91E +03	1.65E +01	3.81E +00	3.79E +00
Feb-2017	6.82E +01	6.82E +01	6.82E +01	6.82E +01	6.45E +00	4.27E +00	2.06E +00	6.82E +01	6.82E +01	6.82E +01	6.82E +01	2.06E +00	8.70E- 01	8.71E- 01
Mar-2017	1.23E +03	1.23E +03	1.23E +03	1.23E +03	1.19E +02	7.93E +01	4.78E +01	1.23E +03	1.23E +03	1.23E +03	1.23E +03	4.78E +01	7.92E +00	7.95E +00
Apr-2017	4.13E +02	4.13E +02	4.13E +02	4.13E +02	1.11E +02	9.52E +01	7.67E +01	4.13E +02	4.13E +02	4.13E +02	4.13E +02	7.67E +01	8.86E +00	8.96E +00
May-2017	3.98E +03	3.98E +03	3.98E +03	3.98E +03	1.59E +03	1.30E +03	1.01E +03	3.12E +03	2.89E +03	2.71E +03	2.71E +03	1.01E +03	1.26E +02	1.27E +02
Jun-2017	1.21E +04	1.21E +04	1.21E +04	1.21E +04	6.65E +03	5.44E +03	2.60E +03	8.89E +03	8.49E +03	8.18E +03	8.18E +03	2.60E +03	6.15E +02	6.18E +02
Jul-2017	1.18E +04	1.18E +04	1.18E +04	1.18E +04	1.95E +03	1.63E +03	2.49E +03	1.07E +04	1.06E +04	1.06E +04	1.06E +04	2.49E +03	1.36E +02	1.37E +02
Aug-2017	1.60E +04	1.60E +04	1.60E +04	1.60E +04	5.05E +03	3.84E +03	2.59E +03	1.42E +04	1.40E +04	1.38E +04	1.38E +04	2.59E +03	3.91E +02	3.96E +02
Sep-2017	6.27E +03	6.27E +03	6.27E +03	6.27E +03	1.84E +03	1.14E +03	4.56E +02	5.80E +03	5.74E +03	5.69E +03	5.69E +03	4.56E +02	1.04E +02	1.09E +02

Oct-2017	2.39E +04	2.39E +04	2.39E +04	2.39E +04	2.15E +03	1.28E +03	8.11E +02	2.39E +04	2.39E +04	2.39E +04	2.39E +04	8.11E +02	1.39E +02	1.38E +02
Nov-2017	1.56E +04	1.56E +04	1.56E +04	1.56E +04	1.72E +03	1.21E +03	7.44E +02	1.56E +04	1.56E +04	1.56E +04	1.56E +04	7.44E +02	9.82E +01	1.00E +02
Dec-2017	1.78E +03	1.78E +03	1.78E +03	1.78E +03	1.33E +02	7.86E +01	2.26E +01	1.78E +03	1.78E +03	1.78E +03	1.78E +03	2.26E +01	1.29E +01	1.28E +01
Jan-2018	1.30E +03	1.30E +03	1.30E +03	1.30E +03	9.26E +01	4.93E +01	8.66E +00	1.30E +03	1.30E +03	1.30E +03	1.30E +03	8.66E +00	3.06E +00	3.06E +00
Feb-2018	1.14E +02	1.14E +02	1.14E +02	1.14E +02	4.35E +01	2.31E +01	3.53E +00	1.14E +02	1.14E +02	1.14E +02	1.14E +02	3.53E +00	3.46E +00	3.46E +00
Mar-2018	2.32E +03	2.32E +03	2.32E +03	2.32E +03	7.56E +02	6.47E +02	3.43E +02	2.32E +03	2.32E +03	2.32E +03	2.32E +03	3.43E +02	5.88E +01	5.89E +01
Apr-2018	5.99E +03	5.99E +03	5.99E +03	5.99E +03	9.50E +02	7.00E +02	6.63E +02	5.99E +03	5.99E +03	5.99E +03	5.99E +03	6.63E +02	7.44E +01	7.43E +01
May-2018	5.81E +03	5.81E +03	5.81E +03	5.81E +03	2.43E +03	1.35E +03	5.76E +02	5.30E +03	4.87E +03	4.54E +03	4.54E +03	5.76E +02	4.13E +02	4.17E +02
Jun-2018	1.29E +04	1.29E +04	1.29E +04	1.29E +04	4.94E +03	4.81E +03	4.41E +03	9.63E +03	9.56E +03	9.51E +03	9.51E +03	4.41E +03	2.55E +02	2.57E +02
Jul-2018	1.44E +04	1.44E +04	1.44E +04	1.44E +04	4.17E +03	3.19E +03	2.05E +03	1.35E +04	1.34E +04	1.33E +04	1.33E +04	2.05E +03	3.49E +02	3.53E +02
Aug-2018	6.08E +03	6.08E +03	6.08E +03	6.08E +03	1.22E +03	7.59E +02	4.59E +02	5.91E +03	5.88E +03	5.81E +03	5.81E +03	4.59E +02	6.89E +01	7.04E +01
Sep-2018	5.16E +03	5.16E +03	5.16E +03	5.16E +03	2.21E +03	1.50E +03	8.89E +02	3.88E +03	3.52E +03	3.31E +03	3.31E +03	8.89E +02	1.18E +02	1.23E +02
Oct-2018	2.37E +04	2.37E +04	2.37E +04	2.37E +04	2.20E +03	1.41E +03	8.03E +02	2.37E +04	2.37E +04	2.37E +04	2.37E +04	8.03E +02	1.51E +02	1.55E +02
Nov-2018	2.25E +04	2.25E +04	2.25E +04	2.25E +04	1.71E +03	1.12E +03	5.47E +02	2.25E +04	2.25E +04	2.25E +04	2.25E +04	5.47E +02	8.92E +01	9.19E +01
Dec-2018	4.19E +03	4.19E +03	4.19E +03	4.19E +03	4.20E +02	1.81E +02	4.81E +01	3.82E +03	3.77E +03	3.74E +03	3.74E +03	4.81E +01	1.80E +01	1.80E +01

Detalle mensual efectividad de reducción Nitrógeno total (NT) a la salida de la cuenca durante período de modelación

Fecha	E Base	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13
-------	--------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

Jan-2003	4.71E +04	4.54E +04	4.37E +04	4.21E +04	4.87E +04	5.49E +04	6.29E +04	4.25E +04	3.95E +04	3.66E +04	3.35E +04	5.58E +04	4.90E +04	4.46E +04
Feb-2003	1.31E +04	1.25E +04	1.19E +04	1.14E +04	1.39E +04	1.51E +04	2.39E +04	1.14E +04	1.03E +04	9.11E +03	8.01E +03	2.14E +04	1.82E +04	1.66E +04
Mar-2003	4.34E +03	4.14E +03	3.93E +03	3.73E +03	4.61E +03	5.07E +03	6.24E +03	3.68E +03	3.25E +03	2.82E +03	2.44E +03	5.33E +03	4.05E +03	3.49E +03
Apr-2003	1.23E +03	1.18E +03	1.13E +03	1.08E +03	1.03E +03	6.87E +02	7.43E +01	1.05E +03	9.39E +02	8.27E +02	7.33E +02	6.44E +01	4.85E +01	4.26E +01
May-2003	1.79E +04	1.73E +04	1.68E +04	1.62E +04	1.67E +04	1.41E +04	6.11E +03	1.50E +04	1.35E +04	1.21E +04	1.12E +04	5.35E +03	3.96E +03	3.54E +03
Jun-2003	2.90E +05	2.83E +05	2.75E +05	2.67E +05	2.80E +05	2.64E +05	2.41E +05	1.90E +05	1.63E +05	1.38E +05	1.30E +05	2.24E +05	1.18E +05	1.12E +05
Jul-2003	1.72E +05	1.67E +05	1.62E +05	1.58E +05	1.73E +05	1.75E +05	1.80E +05	1.39E +05	1.23E +05	1.07E +05	9.94E +04	1.66E +05	1.13E +05	1.05E +05
Aug-2003	7.08E +04	6.90E +04	6.73E +04	6.58E +04	7.42E +04	7.53E +04	8.07E +04	5.81E +04	5.19E +04	4.59E +04	4.29E +04	7.45E +04	5.29E +04	4.92E +04
Sep-2003	6.15E +04	6.00E +04	5.87E +04	5.75E +04	5.90E +04	5.64E +04	5.47E +04	4.65E +04	4.09E +04	3.55E +04	3.33E +04	5.11E +04	3.28E +04	3.08E +04
Oct-2003	7.23E +04	6.82E +04	6.46E +04	6.08E +04	7.23E +04	6.91E +04	6.47E +04	5.77E +04	5.06E +04	4.37E +04	3.70E +04	5.61E +04	4.01E +04	3.50E +04
Nov-2003	1.24E +05	1.16E +05	1.08E +05	1.00E +05	1.21E +05	1.16E +05	1.12E +05	7.75E +04	6.52E +04	5.38E +04	4.35E +04	9.04E +04	5.17E +04	4.19E +04
Dec-2003	4.68E +04	4.41E +04	4.15E +04	3.89E +04	4.74E +04	5.16E +04	5.76E +04	4.05E +04	3.64E +04	3.23E +04	2.75E +04	4.67E +04	3.71E +04	3.05E +04
Jan-2004	1.03E +04	9.91E +03	9.54E +03	9.18E +03	1.17E +04	1.36E +04	2.38E +04	9.45E +03	8.89E +03	8.34E +03	7.65E +03	2.13E +04	1.94E +04	1.79E +04
Feb-2004	2.56E +03	2.41E +03	2.27E +03	2.14E +03	2.56E +03	2.59E +03	3.02E +03	2.18E +03	1.94E +03	1.70E +03	1.44E +03	2.48E +03	1.97E +03	1.63E +03
Mar-2004	5.52E +03	4.95E +03	4.62E +03	4.19E +03	5.71E +03	5.92E +03	6.08E +03	4.58E +03	4.06E +03	3.54E +03	2.75E +03	4.68E +03	3.93E +03	3.09E +03
Apr-2004	6.03E +04	5.68E +04	5.39E +04	5.09E +04	5.77E +04	5.11E +04	4.11E +04	3.95E +04	3.49E +04	3.08E +04	2.77E +04	3.48E +04	2.21E +04	1.98E +04
May-2004	1.08E +04	1.04E +04	1.00E +04	9.67E +03	1.17E +04	1.52E +04	2.09E +04	9.41E +03	8.61E +03	7.83E +03	7.18E +03	1.89E +04	1.52E +04	1.41E +04
Jun-2004	1.68E +05	1.65E +05	1.62E +05	1.59E +05	1.58E +05	1.45E +05	1.14E +05	1.21E +05	1.05E +05	9.07E +04	8.72E +04	1.08E +05	6.13E +04	5.94E +04

Jul-2004	2.22E+05	2.19E+05	2.15E+05	2.09E+05	2.21E+05	2.22E+05	2.30E+05	1.61E+05	1.41E+05	1.22E+05	1.15E+05	2.15E+05	1.29E+05	1.22E+05
Aug-2004	1.06E+05	1.05E+05	1.03E+05	1.00E+05	1.09E+05	1.11E+05	1.16E+05	8.52E+04	7.55E+04	6.60E+04	6.26E+04	1.09E+05	7.34E+04	6.96E+04
Sep-2004	5.41E+04	5.31E+04	5.21E+04	5.08E+04	5.49E+04	5.56E+04	5.77E+04	4.24E+04	3.75E+04	3.29E+04	3.11E+04	5.41E+04	3.61E+04	3.41E+04
Oct-2004	7.49E+04	7.00E+04	6.58E+04	6.11E+04	6.75E+04	6.07E+04	4.89E+04	5.47E+04	4.75E+04	4.06E+04	3.36E+04	4.18E+04	2.87E+04	2.48E+04
Nov-2004	1.25E+05	1.16E+05	1.08E+05	9.98E+04	1.28E+05	1.30E+05	1.29E+05	9.77E+04	8.51E+04	7.28E+04	5.86E+04	1.04E+05	7.52E+04	6.09E+04
Dec-2004	8.31E+04	7.68E+04	7.14E+04	6.56E+04	8.28E+04	8.46E+04	8.94E+04	6.68E+04	5.87E+04	5.08E+04	4.07E+04	6.97E+04	5.45E+04	4.27E+04
Jan-2005	1.56E+04	1.47E+04	1.38E+04	1.29E+04	1.65E+04	1.79E+04	2.65E+04	1.36E+04	1.24E+04	1.11E+04	9.38E+03	2.18E+04	1.89E+04	1.61E+04
Feb-2005	5.54E+03	5.23E+03	4.91E+03	4.59E+03	6.06E+03	6.82E+03	8.43E+03	4.80E+03	4.32E+03	3.83E+03	3.24E+03	6.98E+03	5.90E+03	5.00E+03
Mar-2005	5.57E+03	5.26E+03	4.95E+03	4.64E+03	5.49E+03	5.36E+03	4.97E+03	4.70E+03	4.20E+03	3.70E+03	3.15E+03	4.10E+03	3.26E+03	2.74E+03
Apr-2005	2.47E+03	2.37E+03	2.27E+03	2.17E+03	2.59E+03	2.95E+03	3.52E+03	2.09E+03	1.91E+03	1.73E+03	1.57E+03	3.07E+03	2.48E+03	2.21E+03
May-2005	3.20E+05	3.10E+05	3.01E+05	2.91E+05	2.90E+05	2.52E+05	1.89E+05	2.25E+05	1.94E+05	1.65E+05	1.53E+05	1.71E+05	9.85E+04	9.13E+04
Jun-2005	7.27E+05	7.14E+05	6.99E+05	6.85E+05	7.24E+05	7.16E+05	7.02E+05	5.70E+05	4.96E+05	4.24E+05	4.02E+05	6.60E+05	4.13E+05	3.90E+05
Jul-2005	4.19E+05	4.11E+05	4.04E+05	3.97E+05	4.25E+05	4.38E+05	4.59E+05	3.18E+05	2.77E+05	2.36E+05	2.25E+05	4.35E+05	2.59E+05	2.47E+05
Aug-2005	2.18E+05	2.15E+05	2.11E+05	2.08E+05	2.19E+05	2.19E+05	2.27E+05	1.73E+05	1.52E+05	1.32E+05	1.26E+05	2.17E+05	1.39E+05	1.33E+05
Sep-2005	1.01E+05	9.89E+04	9.69E+04	9.50E+04	1.05E+05	1.08E+05	1.13E+05	8.51E+04	7.55E+04	6.61E+04	6.25E+04	1.07E+05	7.39E+04	7.01E+04
Oct-2005	3.92E+04	3.82E+04	3.72E+04	3.62E+04	3.99E+04	4.42E+04	4.91E+04	3.32E+04	2.94E+04	2.56E+04	2.37E+04	4.55E+04	3.21E+04	2.99E+04
Nov-2005	6.33E+04	5.98E+04	5.69E+04	5.38E+04	5.61E+04	4.93E+04	3.90E+04	4.60E+04	3.97E+04	3.38E+04	2.90E+04	3.44E+04	2.29E+04	2.03E+04
Dec-2005	9.18E+04	8.55E+04	8.02E+04	7.43E+04	9.73E+04	1.02E+05	1.05E+05	7.47E+04	6.54E+04	5.62E+04	4.58E+04	8.54E+04	6.38E+04	5.23E+04

Jan-2006	6.21E+04	6.08E+04	5.95E+04	5.81E+04	6.23E+04	6.23E+04	6.28E+04	5.82E+04	5.58E+04	5.35E+04	5.11E+04	5.73E+04	5.16E+04	4.82E+04
Feb-2006	7.30E+03	7.01E+03	6.70E+03	6.40E+03	7.77E+03	8.59E+03	1.39E+04	6.32E+03	5.69E+03	5.05E+03	4.49E+03	1.26E+04	1.04E+04	9.61E+03
Mar-2006	7.37E+03	7.11E+03	6.84E+03	6.58E+03	7.42E+03	7.43E+03	7.34E+03	6.35E+03	5.71E+03	5.07E+03	4.60E+03	6.52E+03	5.00E+03	4.50E+03
Apr-2006	8.72E+04	8.24E+04	7.77E+04	7.30E+04	8.15E+04	7.10E+04	5.23E+04	4.42E+04	3.63E+04	2.94E+04	2.67E+04	4.35E+04	1.66E+04	1.50E+04
May-2006	7.87E+04	7.57E+04	7.32E+04	7.04E+04	7.24E+04	6.61E+04	5.65E+04	5.60E+04	4.83E+04	4.11E+04	3.75E+04	5.07E+04	3.05E+04	2.82E+04
Jun-2006	3.65E+05	3.52E+05	3.40E+05	3.28E+05	3.57E+05	3.45E+05	3.32E+05	2.56E+05	2.21E+05	1.88E+05	1.71E+05	3.02E+05	1.73E+05	1.59E+05
Jul-2006	3.37E+05	3.27E+05	3.16E+05	3.07E+05	3.38E+05	3.37E+05	3.35E+05	2.30E+05	1.98E+05	1.68E+05	1.53E+05	3.04E+05	1.74E+05	1.58E+05
Aug-2006	1.76E+05	1.72E+05	1.66E+05	1.62E+05	1.78E+05	1.80E+05	1.83E+05	1.34E+05	1.18E+05	1.02E+05	9.42E+04	1.68E+05	1.09E+05	1.00E+05
Sep-2006	7.74E+04	7.51E+04	7.27E+04	7.04E+04	7.79E+04	8.01E+04	8.08E+04	6.20E+04	5.52E+04	4.86E+04	4.46E+04	7.36E+04	5.16E+04	4.74E+04
Oct-2006	5.77E+04	5.47E+04	5.19E+04	4.90E+04	5.64E+04	5.28E+04	5.20E+04	4.72E+04	4.17E+04	3.64E+04	3.12E+04	4.55E+04	3.42E+04	3.02E+04
Nov-2006	5.55E+04	5.09E+04	4.66E+04	4.22E+04	5.83E+04	6.32E+04	6.54E+04	4.69E+04	4.14E+04	3.59E+04	2.76E+04	5.01E+04	4.23E+04	3.29E+04
Dec-2006	6.15E+04	5.82E+04	5.54E+04	5.23E+04	5.69E+04	4.79E+04	4.05E+04	5.20E+04	4.79E+04	4.39E+04	3.88E+04	3.19E+04	2.62E+04	2.13E+04
Jan-2007	3.15E+04	3.02E+04	2.89E+04	2.77E+04	3.59E+04	4.42E+04	5.37E+04	2.78E+04	2.59E+04	2.40E+04	2.18E+04	4.79E+04	4.30E+04	3.95E+04
Feb-2007	2.58E+04	2.48E+04	2.38E+04	2.29E+04	2.55E+04	2.50E+04	2.38E+04	1.55E+04	1.34E+04	1.14E+04	1.02E+04	2.11E+04	1.30E+04	1.17E+04
Mar-2007	4.87E+03	4.64E+03	4.41E+03	4.19E+03	5.27E+03	5.88E+03	8.93E+03	4.26E+03	3.86E+03	3.47E+03	3.05E+03	7.80E+03	6.37E+03	5.69E+03
Apr-2007	2.53E+04	2.39E+04	2.26E+04	2.14E+04	2.41E+04	2.16E+04	1.42E+04	1.64E+04	1.44E+04	1.25E+04	1.13E+04	1.20E+04	7.16E+03	6.46E+03
May-2007	3.85E+04	3.73E+04	3.61E+04	3.48E+04	3.82E+04	3.82E+04	4.00E+04	2.78E+04	2.42E+04	2.08E+04	1.94E+04	3.65E+04	2.39E+04	2.23E+04
Jun-2007	8.75E+04	8.38E+04	8.36E+04	8.18E+04	8.48E+04	7.26E+04	5.50E+04	6.68E+04	5.92E+04	5.20E+04	4.94E+04	5.20E+04	3.34E+04	3.20E+04

Jul-2007	1.44E +05	1.40E +05	1.38E +05	1.35E +05	1.39E +05	1.38E +05	1.35E +05	1.08E +05	9.59E +04	8.39E +04	7.97E +04	1.27E +05	8.08E +04	7.63E +04
Aug-2007	1.28E +05	1.25E +05	1.23E +05	1.21E +05	1.28E +05	1.30E +05	1.30E +05	8.73E +04	7.60E +04	6.53E +04	6.26E +04	1.23E +05	6.94E +04	6.66E +04
Sep-2007	5.98E +04	5.87E +04	5.79E +04	5.75E +04	6.11E +04	6.04E +04	6.40E +04	5.02E +04	4.53E +04	4.06E +04	3.93E +04	6.12E +04	4.36E +04	4.21E +04
Oct-2007	2.43E +04	2.37E +04	2.33E +04	2.30E +04	2.46E +04	2.65E +04	2.80E +04	2.13E +04	1.95E +04	1.76E +04	1.69E +04	2.67E +04	2.04E +04	1.96E +04
Nov-2007	1.18E +04	1.14E +04	1.10E +04	1.07E +04	1.21E +04	1.31E +04	1.69E +04	1.02E +04	9.18E +03	8.16E +03	7.47E +03	1.54E +04	1.19E +04	1.10E +04
Dec-2007	1.00E +04	9.41E +03	8.86E +03	8.33E +03	1.00E +04	1.00E +04	1.02E +04	7.88E +03	6.91E +03	5.98E +03	5.04E +03	8.54E +03	6.29E +03	5.36E +03
Jan-2008	9.29E +03	9.22E +03	9.15E +03	9.09E +03	9.24E +03	9.19E +03	8.83E +03	9.00E +03	8.82E +03	8.64E +03	8.52E +03	8.59E +03	8.06E +03	7.91E +03
Feb-2008	3.04E +02	2.94E +02	2.89E +02	2.80E +02	4.05E +02	6.61E +02	2.08E +03	2.74E +02	2.60E +02	2.46E +02	2.32E +02	1.96E +03	1.76E +03	1.69E +03
Mar-2008	5.05E +03	4.72E +03	4.43E +03	4.12E +03	4.78E +03	4.49E +03	3.55E +03	3.66E +03	3.22E +03	2.80E +03	2.34E +03	2.99E +03	2.20E +03	1.91E +03
Apr-2008	1.05E +04	9.45E +03	8.66E +03	7.73E +03	9.85E +03	8.82E +03	6.06E +03	6.81E +03	5.87E +03	5.02E +03	3.78E +03	4.70E +03	3.42E +03	2.78E +03
May-2008	2.83E +05	2.69E +05	2.55E +05	2.41E +05	2.66E +05	2.39E +05	1.92E +05	1.67E +05	1.39E +05	1.15E +05	9.93E +04	1.63E +05	7.32E +04	6.37E +04
Jun-2008	3.76E +05	3.62E +05	3.48E +05	3.34E +05	3.81E +05	3.81E +05	3.68E +05	3.07E +05	2.69E +05	2.31E +05	2.06E +05	3.26E +05	2.25E +05	2.00E +05
Jul-2008	3.16E +05	3.08E +05	2.99E +05	2.91E +05	3.09E +05	3.06E +05	3.11E +05	2.44E +05	2.14E +05	1.84E +05	1.69E +05	2.85E +05	1.82E +05	1.67E +05
Aug-2008	2.39E +05	2.33E +05	2.26E +05	2.20E +05	2.39E +05	2.39E +05	2.43E +05	1.82E +05	1.60E +05	1.38E +05	1.28E +05	2.23E +05	1.45E +05	1.34E +05
Sep-2008	1.39E +05	1.35E +05	1.30E +05	1.26E +05	1.41E +05	1.46E +05	1.49E +05	1.07E +05	9.44E +04	8.20E +04	7.49E +04	1.36E +05	8.91E +04	8.17E +04
Oct-2008	3.68E +04	3.53E +04	3.38E +04	3.22E +04	3.90E +04	4.20E +04	4.81E +04	3.13E +04	2.77E +04	2.41E +04	2.13E +04	4.22E +04	3.18E +04	2.82E +04
Nov-2008	2.29E +04	2.18E +04	2.07E +04	1.96E +04	2.29E +04	2.32E +04	2.62E +04	1.93E +04	1.70E +04	1.47E +04	1.27E +04	2.25E +04	1.69E +04	1.47E +04
Dec-2008	1.64E +04	1.56E +04	1.47E +04	1.38E +04	1.66E +04	1.68E +04	1.82E +04	1.39E +04	1.22E +04	1.06E +04	8.98E +03	1.53E +04	1.16E +04	9.84E +03

Jan-2009	1.00E+03	9.54E+02	9.06E+02	8.58E+02	1.30E+03	1.75E+03	2.77E+03	8.57E+02	7.62E+02	6.68E+02	5.79E+02	2.36E+03	1.83E+03	1.57E+03
Feb-2009	5.54E+03	5.33E+03	5.11E+03	4.89E+03	5.50E+03	5.45E+03	5.35E+03	4.75E+03	4.25E+03	3.75E+03	3.35E+03	4.70E+03	3.60E+03	3.20E+03
Mar-2009	1.22E+03	1.16E+03	1.11E+03	1.05E+03	1.41E+03	1.69E+03	2.51E+03	1.05E+03	9.39E+02	8.29E+02	7.25E+02	2.17E+03	1.69E+03	1.48E+03
Apr-2009	5.65E+03	5.15E+03	4.88E+03	4.50E+03	5.59E+03	5.48E+03	5.04E+03	4.92E+03	4.49E+03	4.06E+03	3.37E+03	4.29E+03	3.74E+03	3.28E+03
May-2009	1.55E+05	1.46E+05	1.39E+05	1.32E+05	1.44E+05	1.30E+05	9.87E+04	1.15E+05	1.00E+05	8.57E+04	7.44E+04	8.30E+04	5.54E+04	4.75E+04
Jun-2009	2.22E+05	2.15E+05	2.08E+05	2.01E+05	2.18E+05	2.13E+05	2.05E+05	1.41E+05	1.20E+05	1.01E+05	9.21E+04	1.85E+05	1.00E+05	9.12E+04
Jul-2009	1.93E+05	1.86E+05	1.79E+05	1.72E+05	1.98E+05	2.00E+05	2.05E+05	1.52E+05	1.33E+05	1.15E+05	1.03E+05	1.84E+05	1.22E+05	1.10E+05
Aug-2009	1.96E+05	1.90E+05	1.85E+05	1.79E+05	1.88E+05	1.84E+05	1.79E+05	1.30E+05	1.12E+05	9.51E+04	8.68E+04	1.63E+05	9.05E+04	8.21E+04
Sep-2009	9.17E+04	8.83E+04	8.54E+04	8.23E+04	9.49E+04	9.80E+04	1.01E+05	7.39E+04	6.55E+04	5.73E+04	5.19E+04	9.09E+04	6.38E+04	5.80E+04
Oct-2009	8.43E+04	7.87E+04	7.38E+04	6.86E+04	7.74E+04	7.31E+04	6.45E+04	6.20E+04	5.40E+04	4.63E+04	3.82E+04	5.42E+04	3.80E+04	3.22E+04
Nov-2009	1.31E+05	1.23E+05	1.14E+05	1.06E+05	1.31E+05	1.30E+05	1.27E+05	1.07E+05	9.43E+04	8.14E+04	6.65E+04	1.03E+05	7.86E+04	6.43E+04
Dec-2009	5.63E+04	5.24E+04	4.86E+04	4.49E+04	6.03E+04	6.40E+04	7.33E+04	4.81E+04	4.29E+04	3.76E+04	3.06E+04	5.76E+04	4.70E+04	3.74E+04
Jan-2010	4.39E+04	4.26E+04	4.13E+04	4.01E+04	4.56E+04	4.79E+04	5.20E+04	4.09E+04	3.92E+04	3.75E+04	3.53E+04	4.69E+04	4.36E+04	4.05E+04
Feb-2010	5.70E+04	5.52E+04	5.34E+04	5.17E+04	5.53E+04	5.34E+04	4.55E+04	3.60E+04	3.10E+04	2.65E+04	2.42E+04	4.09E+04	2.35E+04	2.13E+04
Mar-2010	7.97E+03	7.58E+03	7.20E+03	6.83E+03	8.47E+03	9.23E+03	1.33E+04	6.71E+03	5.99E+03	5.27E+03	4.60E+03	1.16E+04	8.95E+03	7.96E+03
Apr-2010	1.39E+03	1.32E+03	1.26E+03	1.20E+03	1.50E+03	1.66E+03	2.13E+03	1.22E+03	1.11E+03	9.98E+02	8.79E+02	1.80E+03	1.49E+03	1.29E+03
May-2010	4.97E+03	4.72E+03	4.50E+03	4.26E+03	4.88E+03	4.54E+03	4.36E+03	4.01E+03	3.57E+03	3.15E+03	2.78E+03	3.74E+03	2.85E+03	2.52E+03
Jun-2010	1.47E+05	1.42E+05	1.37E+05	1.31E+05	1.39E+05	1.26E+05	9.71E+04	1.05E+05	9.14E+04	7.85E+04	7.18E+04	8.70E+04	5.29E+04	4.83E+04

Jul-2010	1.81E +05	1.77E +05	1.73E +05	1.68E +05	1.77E +05	1.76E +05	1.81E +05	1.28E +05	1.12E +05	9.62E +04	9.03E +04	1.67E +05	9.84E +04	9.20E +04
Aug-2010	1.42E +05	1.38E +05	1.35E +05	1.32E +05	1.41E +05	1.35E +05	1.32E +05	9.14E +04	7.89E +04	6.75E +04	6.39E +04	1.24E +05	6.93E +04	6.57E +04
Sep-2010	5.66E +04	5.52E +04	5.39E +04	5.27E +04	6.07E +04	6.51E +04	7.28E +04	4.78E +04	4.30E +04	3.82E +04	3.60E +04	6.77E +04	4.47E +04	4.21E +04
Oct-2010	3.02E +04	2.88E +04	2.78E +04	2.67E +04	2.86E +04	2.80E +04	2.54E +04	2.37E +04	2.11E +04	1.86E +04	1.67E +04	2.29E +04	1.77E +04	1.63E +04
Nov-2010	4.72E +04	4.43E +04	4.19E +04	3.93E +04	4.80E +04	4.89E +04	4.79E +04	3.82E +04	3.35E +04	2.90E +04	2.44E +04	4.02E +04	2.92E +04	2.48E +04
Dec-2010	3.45E +04	3.18E +04	2.98E +04	2.75E +04	3.45E +04	3.48E +04	3.74E +04	2.80E +04	2.47E +04	2.15E +04	1.73E +04	3.00E +04	2.37E +04	1.92E +04
Jan-2011	4.07E +04	3.98E +04	3.90E +04	3.82E +04	4.08E +04	4.05E +04	3.84E +04	3.77E +04	3.64E +04	3.51E +04	3.37E +04	3.53E +04	3.26E +04	3.07E +04
Feb-2011	1.13E +04	1.09E +04	1.05E +04	1.02E +04	1.15E +04	1.20E +04	1.71E +04	8.95E +03	8.18E +03	7.42E +03	6.84E +03	1.57E +04	1.34E +04	1.26E +04
Mar-2011	7.42E +03	7.03E +03	6.63E +03	6.23E +03	7.34E +03	7.39E +03	8.27E +03	5.41E +03	4.78E +03	4.20E +03	3.66E +03	7.09E +03	5.22E +03	4.63E +03
Apr-2011	2.96E +04	2.80E +04	2.64E +04	2.48E +04	2.79E +04	2.42E +04	1.57E +04	1.63E +04	1.38E +04	1.17E +04	1.07E +04	1.31E +04	6.45E +03	5.81E +03
May-2011	2.21E +04	2.10E +04	2.00E +04	1.90E +04	2.17E +04	2.27E +04	2.37E +04	1.65E +04	1.46E +04	1.27E +04	1.12E +04	2.10E +04	1.48E +04	1.35E +04
Jun-2011	1.09E +05	1.06E +05	1.03E +05	1.00E +05	1.04E +05	9.55E +04	8.08E +04	8.28E +04	7.31E +04	6.39E +04	5.96E +04	7.42E +04	4.82E +04	4.49E +04
Jul-2011	1.21E +05	1.18E +05	1.16E +05	1.14E +05	1.16E +05	1.15E +05	1.14E +05	8.67E +04	7.63E +04	6.65E +04	6.31E +04	1.07E +05	6.47E +04	6.11E +04
Aug-2011	1.23E +05	1.21E +05	1.19E +05	1.16E +05	1.23E +05	1.20E +05	1.17E +05	9.23E +04	8.21E +04	7.23E +04	6.90E +04	1.11E +05	7.31E +04	7.00E +04
Sep-2011	7.55E +04	7.38E +04	7.24E +04	7.09E +04	7.59E +04	7.81E +04	8.33E +04	6.21E +04	5.61E +04	5.02E +04	4.77E +04	7.85E +04	5.43E +04	5.16E +04
Oct-2011	3.53E +04	3.42E +04	3.32E +04	3.22E +04	3.77E +04	4.01E +04	4.17E +04	3.02E +04	2.72E +04	2.41E +04	2.22E +04	3.81E +04	2.87E +04	2.65E +04
Nov-2011	2.61E +04	2.41E +04	2.27E +04	2.11E +04	2.59E +04	2.56E +04	2.70E +04	1.92E +04	1.67E +04	1.43E +04	1.18E +04	2.24E +04	1.60E +04	1.36E +04
Dec-2011	6.65E +03	6.38E +03	6.12E +03	5.88E +03	6.85E +03	7.14E +03	8.98E +03	5.70E +03	5.08E +03	4.45E +03	3.98E +03	7.78E +03	6.02E +03	5.28E +03

Jan-2012	2.96E +03	2.88E +03	2.80E +03	2.73E +03	2.73E +03	2.46E +03	1.91E +03	2.66E +03	2.49E +03	2.32E +03	2.17E +03	1.75E +03	1.48E +03	1.38E +03
Feb-2012	3.60E +04	3.47E +04	3.36E +04	3.24E +04	3.30E +04	2.95E +04	2.24E +04	2.20E +04	1.92E +04	1.67E +04	1.54E +04	2.01E +04	1.10E +04	1.00E +04
Mar-2012	2.96E +04	2.88E +04	2.79E +04	2.71E +04	3.11E +04	3.30E +04	3.72E +04	2.51E +04	2.31E +04	2.12E +04	1.99E +04	3.41E +04	2.68E +04	2.52E +04
Apr-2012	4.94E +02	4.78E +02	4.61E +02	4.43E +02	5.18E +02	5.93E +02	1.13E +03	4.38E +02	4.03E +02	3.68E +02	3.37E +02	9.99E +02	7.77E +02	7.06E +02
May-2012	8.76E +04	8.42E +04	8.09E +04	7.75E +04	7.69E +04	6.13E +04	3.70E +04	5.96E +04	5.13E +04	4.35E +04	3.97E +04	3.25E +04	1.89E +04	1.71E +04
Jun-2012	2.74E +05	2.66E +05	2.57E +05	2.49E +05	2.70E +05	2.64E +05	2.53E +05	2.03E +05	1.77E +05	1.52E +05	1.39E +05	2.30E +05	1.39E +05	1.28E +05
Jul-2012	1.76E +05	1.71E +05	1.66E +05	1.59E +05	1.82E +05	1.87E +05	1.96E +05	1.49E +05	1.32E +05	1.15E +05	1.05E +05	1.78E +05	1.28E +05	1.16E +05
Aug-2012	1.07E +05	1.04E +05	1.01E +05	9.83E +04	1.04E +05	1.04E +05	1.02E +05	8.22E +04	7.22E +04	6.27E +04	5.79E +04	9.26E +04	6.14E +04	5.62E +04
Sep-2012	3.87E +04	3.73E +04	3.59E +04	3.45E +04	4.15E +04	4.54E +04	5.23E +04	3.24E +04	2.88E +04	2.51E +04	2.26E +04	4.72E +04	3.44E +04	3.13E +04
Oct-2012	2.78E +04	2.63E +04	2.50E +04	2.37E +04	2.78E +04	2.76E +04	2.91E +04	2.18E +04	1.92E +04	1.67E +04	1.42E +04	2.49E +04	1.83E +04	1.58E +04
Nov-2012	2.17E +04	2.02E +04	1.90E +04	1.76E +04	2.14E +04	2.16E +04	2.31E +04	1.52E +04	1.31E +04	1.11E +04	8.94E +03	1.85E +04	1.30E +04	1.04E +04
Dec-2012	1.22E +05	1.16E +05	1.11E +05	1.05E +05	1.12E +05	1.02E +05	7.75E +04	9.87E +04	8.97E +04	8.11E +04	7.19E +04	6.53E +04	4.99E +04	4.34E +04
Jan-2013	5.45E +04	5.19E +04	4.94E +04	4.70E +04	6.33E +04	7.23E +04	9.06E +04	4.91E +04	4.56E +04	4.21E +04	3.74E +04	7.94E +04	7.03E +04	6.35E +04
Feb-2013	1.87E +04	1.77E +04	1.67E +04	1.57E +04	1.88E +04	1.88E +04	1.95E +04	1.46E +04	1.31E +04	1.16E +04	9.87E +03	1.59E +04	1.30E +04	1.09E +04
Mar-2013	3.80E +03	3.54E +03	3.29E +03	3.05E +03	4.24E +03	4.96E +03	8.56E +03	3.33E +03	3.02E +03	2.71E +03	2.24E +03	7.03E +03	6.17E +03	5.23E +03
Apr-2013	1.10E +03	1.03E +03	9.63E +02	8.98E +02	1.06E +03	1.01E +03	9.17E +02	9.34E +02	8.47E +02	7.61E +02	6.45E +02	7.47E +02	6.33E +02	5.34E +02
May-2013	6.09E +04	5.77E +04	5.48E +04	5.20E +04	5.26E +04	4.39E +04	3.15E +04	4.07E +04	3.50E +04	2.97E +04	2.64E +04	2.70E +04	1.69E +04	1.51E +04
Jun-2013	1.28E +05	1.24E +05	1.20E +05	1.16E +05	1.26E +05	1.22E +05	1.13E +05	9.40E +04	8.18E +04	7.02E +04	6.42E +04	1.01E +05	6.60E +04	5.99E +04

Jul-2013	1.45E +05	1.41E +05	1.38E +05	1.35E +05	1.49E +05	1.49E +05	1.50E +05	1.08E +05	9.52E +04	8.30E +04	7.81E +04	1.40E +05	8.46E +04	7.98E +04
Aug-2013	9.70E +04	9.51E +04	9.32E +04	9.13E +04	9.52E +04	9.39E +04	9.40E +04	7.19E +04	6.35E +04	5.56E +04	5.30E +04	8.85E +04	5.56E +04	5.29E +04
Sep-2013	4.56E +04	4.47E +04	4.37E +04	4.28E +04	4.56E +04	4.66E +04	4.69E +04	3.85E +04	3.48E +04	3.11E +04	2.94E +04	4.40E +04	3.24E +04	3.07E +04
Oct-2013	1.56E +04	1.49E +04	1.43E +04	1.36E +04	1.59E +04	1.73E +04	2.01E +04	1.29E +04	1.15E +04	1.02E +04	9.04E +03	1.80E +04	1.38E +04	1.27E +04
Nov-2013	1.18E +04	1.12E +04	1.06E +04	1.01E +04	1.19E +04	1.20E +04	1.35E +04	9.95E +03	8.90E +03	7.86E +03	6.84E +03	1.15E +04	9.03E +03	7.86E +03
Dec-2013	4.34E +03	4.12E +03	3.90E +03	3.70E +03	4.53E +03	4.79E +03	5.64E +03	3.72E +03	3.32E +03	2.91E +03	2.51E +03	4.78E +03	3.80E +03	3.28E +03
Jan-2014	1.67E +04	1.64E +04	1.61E +04	1.58E +04	1.51E +04	1.19E +04	2.07E +03	1.56E +04	1.51E +04	1.47E +04	1.42E +04	1.92E +03	1.75E +03	1.67E +03
Feb-2014	1.51E +04	1.48E +04	1.44E +04	1.41E +04	1.64E +04	1.91E +04	2.65E +04	1.34E +04	1.28E +04	1.21E +04	1.16E +04	2.51E +04	2.29E +04	2.21E +04
Mar-2014	4.14E +03	3.82E +03	3.52E +03	3.21E +03	3.02E +03	1.94E +03	1.62E +03	2.35E +03	1.99E +03	1.67E +03	1.36E +03	1.36E +03	1.09E +03	9.55E +02
Apr-2014	1.34E +04	1.26E +04	1.18E +04	1.10E +04	1.32E +04	1.31E +04	1.17E +04	8.87E +03	7.83E +03	6.90E +03	6.01E +03	9.66E +03	6.84E +03	6.00E +03
May-2014	1.70E +05	1.63E +05	1.56E +05	1.48E +05	1.64E +05	1.48E +05	1.19E +05	1.21E +05	1.05E +05	8.96E +04	8.08E +04	1.04E +05	6.63E +04	5.98E +04
Jun-2014	3.96E +05	3.78E +05	3.59E +05	3.42E +05	3.83E +05	3.72E +05	3.50E +05	2.67E +05	2.29E +05	1.94E +05	1.69E +05	3.06E +05	1.73E +05	1.52E +05
Jul-2014	2.80E +05	2.70E +05	2.59E +05	2.50E +05	2.75E +05	2.69E +05	2.64E +05	1.97E +05	1.70E +05	1.45E +05	1.30E +05	2.33E +05	1.49E +05	1.32E +05
Aug-2014	1.77E +05	1.71E +05	1.65E +05	1.59E +05	1.79E +05	1.87E +05	1.96E +05	1.39E +05	1.22E +05	1.07E +05	9.70E +04	1.77E +05	1.14E +05	1.04E +05
Sep-2014	1.01E +05	9.77E +04	9.45E +04	9.15E +04	1.02E +05	1.01E +05	1.02E +05	7.94E +04	7.03E +04	6.15E +04	5.64E +04	9.25E +04	6.36E +04	5.83E +04
Oct-2014	5.11E +04	4.88E +04	4.64E +04	4.42E +04	5.32E +04	5.56E +04	6.16E +04	4.29E +04	3.81E +04	3.33E +04	2.91E +04	5.38E +04	3.97E +04	3.50E +04
Nov-2014	2.47E +04	2.33E +04	2.19E +04	2.06E +04	2.52E +04	2.66E +04	3.06E +04	2.10E +04	1.86E +04	1.62E +04	1.37E +04	2.56E +04	2.00E +04	1.70E +04
Dec-2014	1.24E +04	1.18E +04	1.12E +04	1.05E +04	1.26E +04	1.28E +04	1.43E +04	1.05E +04	9.30E +03	8.06E +03	6.87E +03	1.20E +04	9.26E +03	7.85E +03

Jan-2015	3.15E +03	3.02E +03	2.90E +03	2.78E +03	3.33E +03	3.61E +03	4.21E +03	2.78E +03	2.54E +03	2.30E +03	2.07E +03	3.66E +03	2.95E +03	2.61E +03
Feb-2015	7.01E +02	6.72E +02	6.43E +02	6.12E +02	7.95E +02	9.64E +02	1.52E +03	6.04E +02	5.40E +02	4.76E +02	4.21E +02	1.31E +03	9.96E +02	8.67E +02
Mar-2015	2.28E +01	2.27E +01	2.33E +01	2.32E +01	2.14E +01	1.97E +01	1.92E +01	2.26E +01	2.24E +01	2.22E +01	2.27E +01	1.93E +01	1.83E +01	1.86E +01
Apr-2015	2.80E +03	2.54E +03	2.31E +03	2.06E +03	2.56E +03	2.14E +03	7.39E +02	2.20E +03	1.94E +03	1.67E +03	1.26E +03	5.51E +02	4.34E +02	3.31E +02
May-2015	3.15E +04	2.96E +04	2.80E +04	2.65E +04	2.85E +04	2.36E +04	1.32E +04	2.45E +04	2.13E +04	1.83E +04	1.56E +04	1.05E +04	7.86E +03	6.32E +03
Jun-2015	2.97E +05	2.83E +05	2.69E +05	2.57E +05	2.93E +05	2.84E +05	2.63E +05	2.11E +05	1.83E +05	1.56E +05	1.39E +05	2.31E +05	1.41E +05	1.27E +05
Jul-2015	2.04E +05	1.97E +05	1.91E +05	1.84E +05	1.95E +05	1.90E +05	1.80E +05	1.42E +05	1.23E +05	1.05E +05	9.47E +04	1.60E +05	9.90E +04	8.85E +04
Aug-2015	2.12E +05	2.05E +05	1.98E +05	1.91E +05	2.10E +05	2.07E +05	2.06E +05	1.47E +05	1.28E +05	1.10E +05	9.91E +04	1.86E +05	1.10E +05	9.96E +04
Sep-2015	1.02E +05	9.81E +04	9.43E +04	9.03E +04	1.02E +05	1.04E +05	1.09E +05	7.97E +04	7.04E +04	6.14E +04	5.48E +04	9.64E +04	6.53E +04	5.85E +04
Oct-2015	1.10E +05	1.04E +05	9.82E +04	9.22E +04	1.10E +05	1.08E +05	1.03E +05	8.90E +04	7.85E +04	6.82E +04	5.75E +04	8.75E +04	6.50E +04	5.57E +04
Nov-2015	4.81E +04	4.39E +04	3.99E +04	3.60E +04	5.13E +04	5.59E +04	6.47E +04	4.06E +04	3.58E +04	3.10E +04	2.35E +04	4.90E +04	4.17E +04	3.21E +04
Dec-2015	3.58E +04	3.33E +04	3.09E +04	2.86E +04	3.55E +04	3.45E +04	3.33E +04	2.82E +04	2.52E +04	2.23E +04	1.82E +04	2.57E +04	2.08E +04	1.64E +04
Jan-2016	6.79E +03	6.38E +03	5.99E +03	5.60E +03	7.55E +03	8.77E +03	1.52E +04	6.03E +03	5.53E +03	5.04E +03	4.31E +03	1.27E +04	1.15E +04	9.97E +03
Feb-2016	4.27E +03	4.00E +03	3.74E +03	3.47E +03	4.47E +03	4.74E +03	5.35E +03	3.71E +03	3.34E +03	2.98E +03	2.48E +03	4.31E +03	3.72E +03	3.07E +03
Mar-2016	8.37E +02	7.88E +02	7.39E +02	6.92E +02	9.28E +02	1.08E +03	1.54E +03	7.22E +02	6.51E +02	5.81E +02	4.93E +02	1.25E +03	1.04E +03	8.60E +02
Apr-2016	2.35E +04	2.22E +04	2.11E +04	1.98E +04	2.21E +04	1.75E +04	1.01E +04	1.68E +04	1.48E +04	1.29E +04	1.16E +04	8.35E +03	5.41E +03	4.69E +03
May-2016	2.26E +04	2.16E +04	2.09E +04	1.99E +04	2.21E +04	2.41E +04	2.61E +04	1.88E +04	1.65E +04	1.43E +04	1.27E +04	2.32E +04	1.68E +04	1.53E +04
Jun-2016	1.80E +04	1.74E +04	1.69E +04	1.62E +04	1.97E +04	2.19E +04	2.54E +04	1.52E +04	1.34E +04	1.15E +04	1.04E +04	2.27E +04	1.62E +04	1.45E +04

Jul-2016	1.48E +05	1.45E +05	1.42E +05	1.39E +05	1.40E +05	1.26E +05	9.65E +04	9.19E +04	7.89E +04	6.71E +04	6.48E +04	9.07E +04	4.48E +04	4.34E +04
Aug-2016	8.13E +04	8.00E +04	7.88E +04	7.75E +04	8.31E +04	8.58E +04	9.78E +04	6.72E +04	6.04E +04	5.38E +04	5.18E +04	9.28E +04	6.16E +04	5.94E +04
Sep-2016	1.85E +04	1.81E +04	1.77E +04	1.73E +04	1.99E +04	2.28E +04	2.67E +04	1.60E +04	1.45E +04	1.30E +04	1.22E +04	2.52E +04	1.90E +04	1.81E +04
Oct-2016	4.12E +04	3.94E +04	3.81E +04	3.65E +04	4.00E +04	3.78E +04	3.19E +04	3.03E +04	2.65E +04	2.28E +04	2.03E +04	2.84E +04	1.86E +04	1.66E +04
Nov-2016	3.38E +04	3.12E +04	2.89E +04	2.66E +04	3.36E +04	3.45E +04	3.74E +04	2.64E +04	2.32E +04	2.00E +04	1.59E +04	3.01E +04	2.32E +04	1.90E +04
Dec-2016	4.35E +04	4.14E +04	3.95E +04	3.76E +04	4.17E +04	3.78E +04	2.67E +04	3.65E +04	3.40E +04	3.17E +04	2.87E +04	2.17E +04	1.81E +04	1.53E +04
Jan-2017	3.19E +04	3.09E +04	3.02E +04	2.94E +04	3.37E +04	3.75E +04	4.89E +04	3.02E +04	2.92E +04	2.82E +04	2.67E +04	4.54E +04	4.28E +04	4.07E +04
Feb-2017	2.19E +03	2.06E +03	1.96E +03	1.86E +03	2.32E +03	2.61E +03	4.10E +03	1.89E +03	1.76E +03	1.63E +03	1.44E +03	3.54E +03	3.27E +03	2.93E +03
Mar-2017	9.74E +03	9.29E +03	8.87E +03	8.42E +03	9.72E +03	9.68E +03	9.07E +03	7.64E +03	6.93E +03	6.24E +03	5.60E +03	7.86E +03	6.03E +03	5.43E +03
Apr-2017	3.10E +03	2.95E +03	2.80E +03	2.65E +03	2.91E +03	2.64E +03	2.57E +03	2.46E +03	2.25E +03	2.05E +03	1.85E +03	2.14E +03	1.55E +03	1.37E +03
May-2017	7.03E +04	6.73E +04	6.42E +04	6.11E +04	6.89E +04	6.56E +04	4.97E +04	5.37E +04	4.70E +04	4.06E +04	3.62E +04	4.32E +04	2.90E +04	2.59E +04
Jun-2017	1.82E +05	1.76E +05	1.70E +05	1.64E +05	1.71E +05	1.57E +05	1.36E +05	1.11E +05	9.48E +04	7.98E +04	7.44E +04	1.23E +05	6.27E +04	5.80E +04
Jul-2017	1.72E +05	1.69E +05	1.64E +05	1.60E +05	1.76E +05	1.77E +05	1.87E +05	1.39E +05	1.22E +05	1.07E +05	9.95E +04	1.74E +05	1.14E +05	1.07E +05
Aug-2017	1.49E +05	1.46E +05	1.42E +05	1.38E +05	1.43E +05	1.41E +05	1.36E +05	1.02E +05	8.88E +04	7.64E +04	7.16E +04	1.26E +05	7.42E +04	6.96E +04
Sep-2017	7.70E +04	7.48E +04	7.27E +04	7.06E +04	7.93E +04	8.05E +04	8.57E +04	6.30E +04	5.64E +04	4.99E +04	4.63E +04	7.91E +04	5.55E +04	5.18E +04
Oct-2017	7.53E +04	7.18E +04	6.85E +04	6.52E +04	7.39E +04	7.20E +04	7.16E +04	5.88E +04	5.19E +04	4.53E +04	3.97E +04	6.19E +04	4.49E +04	3.96E +04
Nov-2017	1.02E +05	9.36E +04	8.66E +04	7.97E +04	1.01E +05	1.04E +05	1.01E +05	7.66E +04	6.66E +04	5.70E +04	4.50E +04	8.01E +04	5.74E +04	4.59E +04
Dec-2017	2.19E +04	1.99E +04	1.82E +04	1.65E +04	2.22E +04	2.30E +04	2.95E +04	1.85E +04	1.63E +04	1.42E +04	1.09E +04	2.21E +04	1.91E +04	1.46E +04

Jan-2018	2.24E+04	2.17E+04	2.11E+04	2.06E+04	2.27E+04	2.33E+04	2.38E+04	2.10E+04	2.03E+04	1.95E+04	1.84E+04	2.14E+04	2.01E+04	1.86E+04
Feb-2018	3.40E+03	3.17E+03	2.96E+03	2.74E+03	3.29E+03	3.17E+03	3.74E+03	2.81E+03	2.50E+03	2.20E+03	1.81E+03	3.02E+03	2.51E+03	2.08E+03
Mar-2018	4.10E+04	3.87E+04	3.64E+04	3.41E+04	3.96E+04	3.69E+04	2.55E+04	2.59E+04	2.21E+04	1.86E+04	1.61E+04	2.10E+04	1.13E+04	9.64E+03
Apr-2018	6.76E+04	6.37E+04	5.97E+04	5.57E+04	6.44E+04	6.13E+04	5.80E+04	3.89E+04	3.27E+04	2.72E+04	2.37E+04	4.88E+04	2.78E+04	2.45E+04
May-2018	1.18E+05	1.12E+05	1.07E+05	1.01E+05	9.86E+04	7.96E+04	5.32E+04	6.87E+04	5.75E+04	4.75E+04	4.19E+04	4.56E+04	2.76E+04	2.42E+04
Jun-2018	2.28E+05	2.20E+05	2.12E+05	2.05E+05	2.27E+05	2.24E+05	2.16E+05	1.64E+05	1.42E+05	1.21E+05	1.11E+05	1.93E+05	1.11E+05	1.02E+05
Jul-2018	2.20E+05	2.14E+05	2.08E+05	2.03E+05	2.26E+05	2.30E+05	2.36E+05	1.64E+05	1.43E+05	1.23E+05	1.15E+05	2.18E+05	1.31E+05	1.22E+05
Aug-2018	8.12E+04	7.90E+04	7.67E+04	7.46E+04	8.10E+04	8.10E+04	8.44E+04	6.54E+04	5.82E+04	5.12E+04	4.74E+04	7.69E+04	5.38E+04	4.93E+04
Sep-2018	6.61E+04	6.42E+04	6.24E+04	6.05E+04	6.26E+04	6.12E+04	5.84E+04	4.85E+04	4.27E+04	3.71E+04	3.43E+04	5.36E+04	3.62E+04	3.35E+04
Oct-2018	1.04E+05	9.88E+04	9.39E+04	8.86E+04	1.01E+05	9.74E+04	9.22E+04	7.90E+04	6.89E+04	5.91E+04	5.04E+04	8.04E+04	5.37E+04	4.71E+04
Nov-2018	1.53E+05	1.42E+05	1.33E+05	1.23E+05	1.54E+05	1.51E+05	1.44E+05	1.12E+05	9.73E+04	8.27E+04	6.70E+04	1.16E+05	8.13E+04	6.62E+04
Dec-2018	4.48E+04	4.15E+04	3.82E+04	3.50E+04	4.60E+04	5.19E+04	6.14E+04	3.77E+04	3.32E+04	2.87E+04	2.27E+04	4.77E+04	3.93E+04	3.09E+04

Detalle mensual efectividad de reducción Fósforo total (PT) a la salida de la cuenca durante período de modelación

Fecha	E Base	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13
Jan-2003	1.27E+03	1.27E+03	1.27E+03	1.27E+03	1.20E+03	1.33E+03	1.56E+03	1.10E+03	1.08E+03	1.06E+03	1.06E+03	1.54E+03	1.23E+03	1.22E+03
Feb-2003	1.45E+02	1.45E+02	1.45E+02	1.45E+02	1.56E+02	1.83E+02	3.46E+02	1.36E+02	1.35E+02	1.35E+02	1.34E+02	3.45E+02	3.18E+02	3.18E+02
Mar-2003	4.49E+01	4.48E+01	4.48E+01	4.47E+01	3.52E+01	3.48E+01	3.67E+01	4.38E+01	4.36E+01	4.35E+01	4.35E+01	3.66E+01	3.51E+01	3.51E+01

Apr-2003	9.69E +01	9.69E +01	9.68E +01	9.68E +01	7.35E +01	4.97E +01	3.88E +00	9.54E +01	9.53E +01	9.50E +01	9.50E +01	3.87E +00	3.60E +00	3.61E +00
May-2003	1.81E +03	1.75E +03	1.70E +03	1.65E +03	1.62E +03	1.38E +03	6.78E +02	9.87E +02	8.83E +02	8.01E +02	7.83E +02	6.07E +02	2.38E +02	2.30E +02
Jun-2003	8.72E +04	8.49E +04	8.26E +04	8.02E +04	8.35E +04	8.02E +04	7.45E +04	3.99E +04	3.39E +04	2.91E +04	2.84E +04	6.83E +04	2.36E +04	2.30E +04
Jul-2003	2.25E +04	2.21E +04	2.17E +04	2.13E +04	2.11E +04	2.20E +04	2.52E +04	1.35E +04	1.24E +04	1.15E +04	1.13E +04	2.37E +04	1.10E +04	1.08E +04
Aug-2003	9.05E +03	8.95E +03	8.86E +03	8.77E +03	8.60E +03	8.45E +03	8.90E +03	5.63E +03	5.18E +03	4.84E +03	4.81E +03	8.61E +03	4.55E +03	4.52E +03
Sep-2003	1.67E +04	1.64E +04	1.61E +04	1.58E +04	1.56E +04	1.46E +04	1.34E +04	8.10E +03	7.00E +03	6.14E +03	6.04E +03	1.27E +04	5.08E +03	5.00E +03
Oct-2003	1.13E +04	1.12E +04	1.10E +04	1.09E +04	9.16E +03	9.44E +03	9.82E +03	7.43E +03	6.95E +03	6.58E +03	6.54E +03	9.34E +03	4.23E +03	4.18E +03
Nov-2003	2.23E +04	2.18E +04	2.14E +04	2.10E +04	2.12E +04	2.03E +04	2.00E +04	9.66E +03	8.06E +03	6.80E +03	6.66E +03	1.89E +04	5.81E +03	5.69E +03
Dec-2003	2.60E +03	2.57E +03	2.54E +03	2.52E +03	2.52E +03	2.89E +03	3.92E +03	1.90E +03	1.81E +03	1.74E +03	1.73E +03	3.76E +03	2.10E +03	2.08E +03
Jan-2004	1.66E +02	1.66E +02	1.66E +02	1.66E +02	1.72E +02	2.02E +02	3.88E +02	1.57E +02	1.56E +02	1.56E +02	1.55E +02	3.86E +02	3.56E +02	3.56E +02
Feb-2004	6.09E +01	6.08E +01	6.07E +01	6.06E +01	5.69E +01	5.08E +01	4.29E +01	5.31E +01	5.22E +01	5.14E +01	5.12E +01	4.28E +01	3.55E +01	3.54E +01
Mar-2004	3.49E +02	3.47E +02	3.46E +02	3.44E +02	2.84E +02	2.81E +02	2.66E +02	2.89E +02	2.82E +02	2.78E +02	2.77E +02	2.61E +02	1.96E +02	1.95E +02
Apr-2004	1.20E +04	1.19E +04	1.17E +04	1.16E +04	1.09E +04	1.02E +04	8.94E +03	7.82E +03	7.30E +03	6.88E +03	6.83E +03	8.61E +03	4.85E +03	4.82E +03
May-2004	7.33E +02	7.28E +02	7.24E +02	7.20E +02	7.21E +02	9.74E +02	1.53E +03	6.31E +02	6.18E +02	6.10E +02	6.08E +02	1.50E +03	1.15E +03	1.15E +03
Jun-2004	3.43E +04	3.35E +04	3.27E +04	3.20E +04	3.17E +04	2.97E +04	2.60E +04	1.61E +04	1.38E +04	1.20E +04	1.18E +04	2.40E +04	8.14E +03	7.94E +03
Jul-2004	5.11E +04	4.99E +04	4.89E +04	4.79E +04	4.82E +04	4.78E +04	4.80E +04	2.49E +04	2.15E +04	1.89E +04	1.86E +04	4.48E +04	1.60E +04	1.56E +04
Aug-2004	1.89E +04	1.86E +04	1.83E +04	1.80E +04	1.77E +04	1.80E +04	1.91E +04	1.06E +04	9.50E +03	8.66E +03	8.56E +03	1.81E +04	7.88E +03	7.78E +03
Sep-2004	1.32E +04	1.29E +04	1.27E +04	1.24E +04	1.33E +04	1.36E +04	1.41E +04	7.10E +03	6.33E +03	5.72E +03	5.64E +03	1.33E +04	5.98E +03	5.90E +03

Oct-2004	1.24E +04	1.23E +04	1.21E +04	1.20E +04	9.07E +03	8.25E +03	6.86E +03	8.18E +03	7.63E +03	7.21E +03	7.16E +03	6.55E +03	3.13E +03	3.10E +03
Nov-2004	1.08E +04	1.06E +04	1.05E +04	1.04E +04	1.02E +04	1.08E +04	1.21E +04	6.48E +03	5.93E +03	5.49E +03	5.44E +03	1.16E +04	5.71E +03	5.66E +03
Dec-2004	5.86E +03	5.75E +03	5.67E +03	5.59E +03	5.61E +03	5.66E +03	5.85E +03	3.10E +03	2.74E +03	2.46E +03	2.43E +03	5.57E +03	2.35E +03	2.31E +03
Jan-2005	4.10E +02	4.08E +02	4.07E +02	4.06E +02	4.00E +02	4.35E +02	6.45E +02	3.59E +02	3.52E +02	3.47E +02	3.46E +02	6.33E +02	4.84E +02	4.82E +02
Feb-2005	9.88E +01	9.88E +01	9.88E +01	9.90E +01	1.07E +02	1.22E +02	1.56E +02	9.64E +01	9.60E +01	9.57E +01	9.57E +01	1.56E +02	1.48E +02	1.48E +02
Mar-2005	5.24E +02	5.23E +02	5.21E +02	5.20E +02	3.78E +02	3.58E +02	2.84E +02	4.90E +02	4.86E +02	4.82E +02	4.81E +02	2.81E +02	2.42E +02	2.41E +02
Apr-2005	2.29E +02	2.28E +02	2.27E +02	2.26E +02	2.18E +02	2.53E +02	2.08E +02	2.03E +02	2.00E +02	1.97E +02	1.97E +02	2.06E +02	1.79E +02	1.79E +02
May-2005	5.98E +04	5.80E +04	5.63E +04	5.46E +04	5.46E +04	4.87E +04	3.90E +04	2.60E +04	2.17E +04	1.83E +04	1.77E +04	3.53E +04	1.10E +04	1.06E +04
Jun-2005	7.06E +04	6.86E +04	6.67E +04	6.48E +04	6.80E +04	6.81E +04	6.93E +04	3.30E +04	2.82E +04	2.44E +04	2.38E +04	6.33E +04	2.20E +04	2.13E +04
Jul-2005	6.54E +04	6.38E +04	6.23E +04	6.08E +04	6.40E +04	6.61E +04	7.01E +04	3.14E +04	2.70E +04	2.36E +04	2.31E +04	6.49E +04	2.27E +04	2.22E +04
Aug-2005	3.77E +04	3.70E +04	3.64E +04	3.58E +04	3.49E +04	3.48E +04	3.45E +04	2.09E +04	1.87E +04	1.71E +04	1.68E +04	3.26E +04	1.36E +04	1.34E +04
Sep-2005	9.53E +03	9.41E +03	9.30E +03	9.19E +03	1.00E +04	1.08E +04	1.23E +04	6.30E +03	5.89E +03	5.56E +03	5.53E +03	1.19E +04	6.81E +03	6.75E +03
Oct-2005	3.23E +03	3.22E +03	3.21E +03	3.20E +03	2.22E +03	2.47E +03	2.77E +03	2.84E +03	2.78E +03	2.75E +03	2.75E +03	2.72E +03	1.99E +03	1.98E +03
Nov-2005	7.87E +03	7.76E +03	7.67E +03	7.58E +03	6.54E +03	5.51E +03	3.50E +03	4.36E +03	3.91E +03	3.56E +03	3.52E +03	3.34E +03	1.40E +03	1.38E +03
Dec-2005	6.14E +03	6.07E +03	6.01E +03	5.96E +03	6.36E +03	7.03E +03	8.45E +03	3.91E +03	3.61E +03	3.38E +03	3.36E +03	8.18E +03	4.27E +03	4.24E +03
Jan-2006	1.60E +03	1.59E +03	1.59E +03	1.58E +03	1.40E +03	1.37E +03	1.34E +03	1.39E +03	1.36E +03	1.34E +03	1.34E +03	1.32E +03	1.07E +03	1.07E +03
Feb-2006	9.45E +01	9.44E +01	9.43E +01	9.42E +01	9.42E +01	1.01E +02	1.72E +02	9.00E +01	8.94E +01	8.89E +01	8.88E +01	1.74E +02	1.61E +02	1.63E +02
Mar-2006	4.90E +02	4.90E +02	4.90E +02	4.90E +02	3.56E +02	3.47E +02	2.98E +02	4.80E +02	4.78E +02	4.77E +02	4.76E +02	2.97E +02	2.80E +02	2.80E +02

Apr-2006	1.70E +04	1.66E +04	1.62E +04	1.58E +04	1.59E +04	1.46E +04	1.18E +04	8.07E +03	6.93E +03	6.04E +03	5.91E +03	1.10E +04	3.87E +03	3.77E +03
May-2006	1.77E +04	1.72E +04	1.66E +04	1.61E +04	1.61E +04	1.45E +04	1.16E +04	8.12E +03	6.90E +03	5.93E +03	5.76E +03	1.05E +04	3.93E +03	3.81E +03
Jun-2006	8.72E +04	8.43E +04	8.18E +04	7.92E +04	8.43E +04	8.33E +04	8.47E +04	3.91E +04	3.30E +04	2.82E +04	2.73E +04	7.66E +04	2.55E +04	2.46E +04
Jul-2006	8.03E +04	7.84E +04	7.66E +04	7.49E +04	7.68E +04	7.64E +04	7.54E +04	3.83E +04	3.30E +04	2.88E +04	2.82E +04	7.01E +04	2.49E +04	2.43E +04
Aug-2006	4.33E +04	4.24E +04	4.16E +04	4.08E +04	4.05E +04	4.03E +04	4.07E +04	2.26E +04	1.99E +04	1.78E +04	1.76E +04	3.82E +04	1.52E +04	1.49E +04
Sep-2006	1.85E +04	1.81E +04	1.78E +04	1.75E +04	1.86E +04	1.93E +04	1.98E +04	1.03E +04	9.21E +03	8.39E +03	8.28E +03	1.87E +04	8.73E +03	8.61E +03
Oct-2006	1.10E +04	1.09E +04	1.08E +04	1.07E +04	7.66E +03	7.37E +03	7.36E +03	8.26E +03	7.90E +03	7.63E +03	7.60E +03	7.09E +03	4.12E +03	4.09E +03
Nov-2006	2.60E +03	2.59E +03	2.59E +03	2.58E +03	2.45E +03	2.78E +03	3.24E +03	2.31E +03	2.26E +03	2.23E +03	2.23E +03	3.20E +03	2.54E +03	2.53E +03
Dec-2006	5.28E +03	5.20E +03	5.14E +03	5.07E +03	4.75E +03	4.14E +03	3.27E +03	3.16E +03	2.89E +03	2.68E +03	2.65E +03	3.10E +03	1.36E +03	1.34E +03
Jan-2007	1.41E +03	1.40E +03	1.38E +03	1.37E +03	1.46E +03	1.78E +03	2.32E +03	9.44E +02	8.82E +02	8.34E +02	8.28E +02	2.26E +03	1.51E +03	1.50E +03
Feb-2007	5.60E +03	5.53E +03	5.47E +03	5.41E +03	5.47E +03	5.26E +03	4.50E +03	2.09E +03	1.65E +03	1.29E +03	1.27E +03	4.34E +03	1.05E +03	1.03E +03
Mar-2007	2.47E +02	2.44E +02	2.42E +02	2.39E +02	2.40E +02	2.99E +02	6.53E +02	1.79E +02	1.70E +02	1.63E +02	1.62E +02	6.34E +02	3.17E +02	3.15E +02
Apr-2007	4.19E +03	4.11E +03	4.04E +03	3.97E +03	3.81E +03	3.47E +03	2.54E +03	2.58E +03	2.38E +03	2.22E +03	2.19E +03	2.39E +03	1.21E +03	1.19E +03
May-2007	4.27E +03	4.19E +03	4.11E +03	4.03E +03	4.06E +03	3.95E +03	4.06E +03	2.39E +03	2.15E +03	1.96E +03	1.93E +03	3.83E +03	1.95E +03	1.92E +03
Jun-2007	1.34E +04	1.30E +04	1.26E +04	1.22E +04	1.26E +04	1.12E +04	8.83E +03	6.08E +03	5.15E +03	4.42E +03	4.30E +03	8.02E +03	2.69E +03	2.60E +03
Jul-2007	2.62E +04	2.55E +04	2.50E +04	2.45E +04	2.43E +04	2.37E +04	2.33E +04	1.29E +04	1.12E +04	9.90E +03	9.71E +03	2.16E +04	7.74E +03	7.56E +03
Aug-2007	3.90E +04	3.80E +04	3.71E +04	3.62E +04	3.75E +04	3.73E +04	3.78E +04	1.65E +04	1.36E +04	1.14E +04	1.11E +04	3.50E +04	1.02E +04	9.93E +03
Sep-2007	9.30E +03	9.12E +03	8.97E +03	8.83E +03	9.18E +03	9.04E +03	9.57E +03	5.59E +03	5.12E +03	4.75E +03	4.70E +03	9.06E +03	4.67E +03	4.62E +03

Oct-2007	4.33E +03	4.32E +03	4.31E +03	4.30E +03	2.85E +03	2.93E +03	2.95E +03	3.98E +03	3.93E +03	3.89E +03	3.89E +03	2.91E +03	2.38E +03	2.38E +03
Nov-2007	7.75E +02	7.73E +02	7.73E +02	7.72E +02	7.01E +02	8.47E +02	1.25E +03	7.31E +02	7.25E +02	7.21E +02	7.21E +02	1.24E +03	1.16E +03	1.16E +03
Dec-2007	9.35E +02	9.21E +02	9.11E +02	8.99E +02	8.93E +02	8.74E +02	8.22E +02	5.14E +02	4.60E +02	4.17E +02	4.13E +02	7.89E +02	3.75E +02	3.71E +02
Jan-2008	2.61E +02	2.61E +02	2.61E +02	2.61E +02	2.35E +02	2.31E +02	1.94E +02	2.54E +02	2.52E +02	2.51E +02	2.51E +02	1.94E +02	1.82E +02	1.82E +02
Feb-2008	2.22E +01	2.22E +01	2.22E +01	2.21E +01	2.20E +01	2.40E +01	4.59E +01	1.94E +01	1.89E +01	1.86E +01	1.86E +01	4.56E +01	4.08E +01	4.07E +01
Mar-2008	8.34E +02	8.26E +02	8.17E +02	8.09E +02	6.78E +02	6.36E +02	4.54E +02	5.25E +02	4.85E +02	4.53E +02	4.51E +02	4.40E +02	2.55E +02	2.54E +02
Apr-2008	1.28E +03	1.24E +03	1.21E +03	1.17E +03	1.17E +03	1.04E +03	6.56E +02	6.72E +02	5.95E +02	5.34E +02	5.23E +02	6.08E +02	2.90E +02	2.85E +02
May-2008	9.98E +04	9.59E +04	9.23E +04	8.87E +04	9.54E +04	9.09E +04	8.21E +04	4.10E +04	3.35E +04	2.76E +04	2.64E +04	7.26E +04	2.16E +04	2.05E +04
Jun-2008	2.67E +04	2.57E +04	2.48E +04	2.39E +04	2.62E +04	2.79E +04	3.29E +04	1.27E +04	1.09E +04	9.54E +03	9.24E +03	2.94E +04	1.06E +04	1.03E +04
Jul-2008	4.46E +04	4.34E +04	4.24E +04	4.14E +04	4.15E +04	4.04E +04	3.93E +04	2.15E +04	1.86E +04	1.63E +04	1.60E +04	3.63E +04	1.27E +04	1.24E +04
Aug-2008	5.04E +04	4.92E +04	4.82E +04	4.71E +04	4.66E +04	4.50E +04	4.25E +04	2.52E +04	2.20E +04	1.95E +04	1.91E +04	3.96E +04	1.50E +04	1.47E +04
Sep-2008	3.30E +04	3.21E +04	3.13E +04	3.05E +04	3.39E +04	3.58E +04	3.88E +04	1.60E +04	1.39E +04	1.22E +04	1.19E +04	3.59E +04	1.41E +04	1.38E +04
Oct-2008	3.73E +03	3.72E +03	3.71E +03	3.70E +03	2.48E +03	2.62E +03	2.96E +03	3.37E +03	3.33E +03	3.30E +03	3.29E +03	2.93E +03	2.31E +03	2.31E +03
Nov-2008	9.99E +02	9.99E +02	9.98E +02	9.98E +02	8.97E +02	9.14E +02	1.05E +03	9.17E +02	9.07E +02	9.00E +02	8.99E +02	1.05E +03	9.22E +02	9.22E +02
Dec-2008	4.14E +02	4.12E +02	4.12E +02	4.11E +02	3.96E +02	4.04E +02	4.32E +02	3.56E +02	3.48E +02	3.42E +02	3.42E +02	4.29E +02	3.37E +02	3.36E +02
Jan-2009	1.31E +01	1.31E +01	1.31E +01	1.30E +01	1.56E +01	2.14E +01	3.33E +01	1.25E +01	1.24E +01	1.24E +01	1.24E +01	3.32E +01	3.03E +01	3.03E +01
Feb-2009	2.40E +02	2.39E +02	2.39E +02	2.39E +02	2.36E +02	2.27E +02	1.86E +02	2.22E +02	2.20E +02	2.18E +02	2.18E +02	1.85E +02	1.67E +02	1.67E +02
Mar-2009	2.74E +01	2.74E +01	2.73E +01	2.73E +01	2.76E +01	3.18E +01	5.06E +01	2.49E +01	2.45E +01	2.41E +01	2.41E +01	5.05E +01	4.46E +01	4.46E +01

Apr-2009	8.37E +02	8.36E +02	8.35E +02	8.34E +02	7.08E +02	6.48E +02	5.46E +02	8.24E +02	8.25E +02	8.24E +02	8.23E +02	5.45E +02	5.27E +02	5.26E +02
May-2009	2.53E +04	2.45E +04	2.37E +04	2.30E +04	2.32E +04	2.17E +04	1.82E +04	1.30E +04	1.14E +04	1.02E +04	9.91E +03	1.64E +04	6.82E +03	6.63E +03
Jun-2009	6.09E +04	5.87E +04	5.68E +04	5.48E +04	5.76E +04	5.48E +04	5.13E +04	2.47E +04	2.01E +04	1.65E +04	1.58E +04	4.60E +04	1.40E +04	1.34E +04
Jul-2009	2.93E +04	2.85E +04	2.77E +04	2.70E +04	2.89E +04	3.04E +04	3.44E +04	1.47E +04	1.28E +04	1.14E +04	1.11E +04	3.14E +04	1.14E +04	1.11E +04
Aug-2009	6.80E +04	6.61E +04	6.45E +04	6.28E +04	6.42E +04	6.29E +04	6.09E +04	2.97E +04	2.49E +04	2.10E +04	2.05E +04	5.60E +04	1.68E +04	1.63E +04
Sep-2009	1.94E +04	1.89E +04	1.85E +04	1.80E +04	1.98E +04	2.06E +04	2.23E +04	1.02E +04	9.06E +03	8.14E +03	7.99E +03	2.08E +04	9.27E +03	9.11E +03
Oct-2009	1.63E +04	1.60E +04	1.58E +04	1.56E +04	1.21E +04	1.15E +04	1.05E +04	1.07E +04	1.00E +04	9.48E +03	9.40E +03	9.90E +03	4.56E +03	4.50E +03
Nov-2009	1.01E +04	9.93E +03	9.83E +03	9.73E +03	9.07E +03	9.26E +03	1.01E +04	7.12E +03	6.76E +03	6.46E +03	6.42E +03	9.71E +03	5.95E +03	5.91E +03
Dec-2009	1.88E +03	1.87E +03	1.86E +03	1.85E +03	1.86E +03	2.07E +03	2.71E +03	1.57E +03	1.53E +03	1.50E +03	1.50E +03	2.66E +03	2.03E +03	2.02E +03
Jan-2010	1.21E +03	1.21E +03	1.20E +03	1.20E +03	1.15E +03	1.21E +03	1.27E +03	1.00E +03	9.77E +02	9.55E +02	9.53E +02	1.25E +03	9.63E +02	9.61E +02
Feb-2010	1.07E +04	1.05E +04	1.03E +04	1.02E +04	1.05E +04	1.01E +04	8.85E +03	3.91E +03	3.05E +03	2.36E +03	2.31E +03	8.41E +03	1.95E +03	1.90E +03
Mar-2010	5.44E +02	5.36E +02	5.29E +02	5.23E +02	4.51E +02	4.48E +02	5.67E +02	4.07E +02	3.89E +02	3.75E +02	3.73E +02	5.38E +02	2.87E +02	2.84E +02
Apr-2010	1.50E +02	1.50E +02	1.50E +02	1.50E +02	1.36E +02	1.44E +02	1.40E +02	1.50E +02	1.50E +02	1.50E +02	1.50E +02	1.39E +02	1.36E +02	1.36E +02
May-2010	5.57E +02	5.49E +02	5.43E +02	5.37E +02	5.52E +02	4.30E +02	3.56E +02	4.58E +02	4.46E +02	4.36E +02	4.34E +02	3.43E +02	2.66E +02	2.64E +02
Jun-2010	2.84E +04	2.75E +04	2.67E +04	2.58E +04	2.64E +04	2.44E +04	1.91E +04	1.32E +04	1.13E +04	9.74E +03	9.47E +03	1.73E +04	5.99E +03	5.79E +03
Jul-2010	4.45E +04	4.32E +04	4.21E +04	4.10E +04	4.21E +04	4.23E +04	4.41E +04	1.96E +04	1.64E +04	1.40E +04	1.36E +04	4.03E +04	1.29E +04	1.25E +04
Aug-2010	5.17E +04	5.03E +04	4.90E +04	4.78E +04	4.85E +04	4.60E +04	4.26E +04	2.25E +04	1.88E +04	1.59E +04	1.54E +04	3.92E +04	1.22E +04	1.18E +04
Sep-2010	1.07E +04	1.05E +04	1.02E +04	9.99E +03	1.23E +04	1.49E +04	1.96E +04	5.92E +03	5.31E +03	4.83E +03	4.75E +03	1.82E +04	7.17E +03	7.01E +03

Oct-2010	5.39E +03	5.33E +03	5.28E +03	5.24E +03	3.77E +03	3.44E +03	2.68E +03	4.00E +03	3.82E +03	3.68E +03	3.66E +03	2.63E +03	2.05E +03	2.04E +03
Nov-2010	4.50E +03	4.43E +03	4.38E +03	4.32E +03	4.49E +03	4.72E +03	5.27E +03	2.74E +03	2.51E +03	2.33E +03	2.32E +03	5.02E +03	2.31E +03	2.28E +03
Dec-2010	3.36E +03	3.32E +03	3.28E +03	3.25E +03	3.09E +03	2.98E +03	2.99E +03	2.36E +03	2.23E +03	2.12E +03	2.11E +03	2.89E +03	1.78E +03	1.77E +03
Jan-2011	2.34E +03	2.31E +03	2.28E +03	2.26E +03	2.18E +03	2.10E +03	1.92E +03	1.50E +03	1.39E +03	1.31E +03	1.30E +03	1.85E +03	1.02E +03	1.01E +03
Feb-2011	1.19E +03	1.17E +03	1.16E +03	1.15E +03	1.14E +03	1.08E +03	9.99E +02	6.99E +02	6.37E +02	5.88E +02	5.84E +02	9.73E +02	5.83E +02	5.80E +02
Mar-2011	1.27E +03	1.25E +03	1.23E +03	1.22E +03	1.06E +03	1.02E +03	9.46E +02	8.30E +02	7.73E +02	7.28E +02	7.23E +02	9.03E +02	4.82E +02	4.78E +02
Apr-2011	6.29E +03	6.13E +03	5.98E +03	5.83E +03	5.83E +03	5.20E +03	3.69E +03	3.35E +03	2.98E +03	2.69E +03	2.64E +03	3.40E +03	1.44E +03	1.41E +03
May-2011	3.41E +03	3.29E +03	3.18E +03	3.07E +03	3.29E +03	3.38E +03	3.62E +03	1.52E +03	1.28E +03	1.09E +03	1.06E +03	3.30E +03	1.38E +03	1.35E +03
Jun-2011	1.76E +04	1.71E +04	1.67E +04	1.62E +04	1.62E +04	1.51E +04	1.33E +04	8.79E +03	7.65E +03	6.77E +03	6.62E +03	1.22E +04	4.65E +03	4.53E +03
Jul-2011	2.86E +04	2.79E +04	2.72E +04	2.65E +04	2.68E +04	2.61E +04	2.56E +04	1.31E +04	1.11E +04	9.53E +03	9.30E +03	2.36E +04	7.60E +03	7.38E +03
Aug-2011	3.27E +04	3.19E +04	3.12E +04	3.06E +04	2.99E +04	2.84E +04	2.67E +04	1.69E +04	1.49E +04	1.33E +04	1.31E +04	2.49E +04	1.04E +04	1.02E +04
Sep-2011	1.66E +04	1.62E +04	1.59E +04	1.56E +04	1.68E +04	1.76E +04	1.96E +04	9.29E +03	8.36E +03	7.62E +03	7.51E +03	1.83E +04	8.07E +03	7.93E +03
Oct-2011	5.77E +03	5.70E +03	5.65E +03	5.59E +03	4.65E +03	5.18E +03	5.96E +03	4.51E +03	4.34E +03	4.22E +03	4.20E +03	5.68E +03	3.37E +03	3.34E +03
Nov-2011	4.13E +03	4.03E +03	3.95E +03	3.87E +03	3.95E +03	3.90E +03	3.83E +03	2.06E +03	1.80E +03	1.59E +03	1.56E +03	3.58E +03	1.50E +03	1.47E +03
Dec-2011	2.28E +02	2.26E +02	2.24E +02	2.23E +02	2.32E +02	2.62E +02	4.01E +02	1.90E +02	1.85E +02	1.81E +02	1.80E +02	3.91E +02	3.02E +02	3.01E +02
Jan-2012	1.74E +02	1.74E +02	1.73E +02	1.73E +02	1.44E +02	1.21E +02	8.24E +01	1.53E +02	1.50E +02	1.48E +02	1.48E +02	8.19E +01	7.01E +01	7.00E +01
Feb-2012	8.13E +03	8.03E +03	7.94E +03	7.86E +03	7.56E +03	6.89E +03	5.09E +03	3.50E +03	2.91E +03	2.44E +03	2.41E +03	4.91E +03	1.28E +03	1.26E +03
Mar-2012	3.92E +03	3.89E +03	3.87E +03	3.85E +03	2.92E +03	3.23E +03	4.22E +03	3.20E +03	3.11E +03	3.04E +03	3.03E +03	4.11E +03	2.55E +03	2.54E +03

Apr-2012	4.68E +01	4.67E +01	4.67E +01	4.66E +01	4.13E +01	4.37E +01	9.42E +01	4.48E +01	4.46E +01	4.45E +01	4.44E +01	9.24E +01	8.05E +01	7.99E +01
May-2012	1.92E +04	1.84E +04	1.78E +04	1.71E +04	1.67E +04	1.35E +04	8.27E +03	8.35E +03	6.96E +03	5.88E +03	5.65E +03	7.27E +03	2.33E +03	2.23E +03
Jun-2012	4.93E +04	4.75E +04	4.59E +04	4.44E +04	4.83E +04	4.94E +04	5.16E +04	2.24E +04	1.90E +04	1.63E +04	1.58E +04	4.61E +04	1.54E +04	1.48E +04
Jul-2012	8.73E +03	8.61E +03	8.49E +03	8.38E +03	8.10E +03	8.29E +03	9.44E +03	6.31E +03	5.99E +03	5.73E +03	5.69E +03	8.95E +03	5.36E +03	5.31E +03
Aug-2012	1.98E +04	1.92E +04	1.88E +04	1.84E +04	1.84E +04	1.77E +04	1.66E +04	9.08E +03	7.70E +03	6.63E +03	6.48E +03	1.53E +04	5.15E +03	5.01E +03
Sep-2012	3.64E +03	3.57E +03	3.50E +03	3.44E +03	3.79E +03	3.99E +03	4.69E +03	2.04E +03	1.83E +03	1.67E +03	1.65E +03	4.43E +03	2.19E +03	2.17E +03
Oct-2012	5.80E +03	5.68E +03	5.57E +03	5.47E +03	5.07E +03	4.88E +03	4.72E +03	3.09E +03	2.75E +03	2.47E +03	2.44E +03	4.42E +03	1.71E +03	1.68E +03
Nov-2012	3.76E +03	3.66E +03	3.58E +03	3.50E +03	3.64E +03	3.62E +03	3.60E +03	1.47E +03	1.17E +03	9.41E +02	9.13E +02	3.34E +03	9.77E +02	9.49E +02
Dec-2012	1.45E +04	1.42E +04	1.39E +04	1.36E +04	1.30E +04	1.21E +04	9.80E +03	7.89E +03	7.04E +03	6.37E +03	6.28E +03	9.14E +03	3.79E +03	3.72E +03
Jan-2013	2.30E +03	2.27E +03	2.24E +03	2.21E +03	2.50E +03	3.03E +03	4.53E +03	1.65E +03	1.56E +03	1.50E +03	1.48E +03	4.32E +03	2.51E +03	2.49E +03
Feb-2013	2.08E +03	2.06E +03	2.05E +03	2.03E +03	2.06E +03	1.99E +03	1.63E +03	1.11E +03	9.88E +02	8.90E +02	8.84E +02	1.58E +03	7.14E +02	7.08E +02
Mar-2013	1.97E +02	1.96E +02	1.95E +02	1.94E +02	1.89E +02	2.23E +02	4.11E +02	1.57E +02	1.52E +02	1.48E +02	1.47E +02	4.04E +02	2.85E +02	2.84E +02
Apr-2013	1.20E +02	1.20E +02	1.19E +02	1.19E +02	1.07E +02	1.01E +02	1.22E +02	1.13E +02	1.12E +02	1.11E +02	1.11E +02	1.21E +02	1.13E +02	1.13E +02
May-2013	1.12E +04	1.07E +04	1.04E +04	9.97E +03	9.26E +03	7.27E +03	4.63E +03	5.39E +03	4.65E +03	4.08E +03	3.95E +03	4.15E +03	1.92E +03	1.86E +03
Jun-2013	2.21E +04	2.13E +04	2.07E +04	2.00E +04	2.00E +04	1.82E +04	1.62E +04	1.03E +04	8.75E +03	7.57E +03	7.35E +03	1.45E +04	5.61E +03	5.42E +03
Jul-2013	3.09E +04	3.00E +04	2.92E +04	2.84E +04	3.10E +04	3.24E +04	3.50E +04	1.49E +04	1.29E +04	1.13E +04	1.10E +04	3.20E +04	1.10E +04	1.07E +04
Aug-2013	2.36E +04	2.30E +04	2.25E +04	2.20E +04	2.19E +04	2.14E +04	2.13E +04	1.14E +04	9.84E +03	8.61E +03	8.44E +03	1.98E +04	7.09E +03	6.93E +03
Sep-2013	6.75E +03	6.66E +03	6.59E +03	6.52E +03	6.56E +03	6.54E +03	6.56E +03	4.71E +03	4.44E +03	4.24E +03	4.21E +03	6.34E +03	4.18E +03	4.15E +03

Oct-2013	2.02E +03	2.01E +03	2.00E +03	1.98E +03	1.53E +03	1.60E +03	1.69E +03	1.58E +03	1.52E +03	1.48E +03	1.47E +03	1.66E +03	1.16E +03	1.15E +03
Nov-2013	1.01E +03	1.01E +03	1.00E +03	9.97E +02	9.32E +02	9.58E +02	1.06E +03	8.61E +02	8.41E +02	8.25E +02	8.24E +02	1.04E +03	8.08E +02	8.06E +02
Dec-2013	9.53E +01	9.52E +01	9.52E +01	9.52E +01	9.62E +01	1.10E +02	1.67E +02	9.25E +01	9.21E +01	9.18E +01	9.19E +01	1.67E +02	1.59E +02	1.59E +02
Jan-2014	7.68E +02	7.65E +02	7.62E +02	7.59E +02	6.33E +02	4.77E +02	9.74E +01	6.18E +02	5.98E +02	5.82E +02	5.81E +02	9.55E +01	5.66E +01	5.63E +01
Feb-2014	9.86E +02	9.80E +02	9.75E +02	9.69E +02	1.01E +03	1.09E +03	1.21E +03	6.46E +02	6.03E +02	5.68E +02	5.67E +02	1.20E +03	7.80E +02	7.78E +02
Mar-2014	8.06E +02	7.88E +02	7.70E +02	7.52E +02	4.97E +02	2.59E +02	1.35E +02	4.50E +02	4.04E +02	3.68E +02	3.62E +02	1.29E +02	7.90E +01	7.82E +01
Apr-2014	2.35E +03	2.30E +03	2.25E +03	2.21E +03	2.13E +03	2.04E +03	1.68E +03	1.51E +03	1.40E +03	1.32E +03	1.30E +03	1.59E +03	9.42E +02	9.31E +02
May-2014	2.08E +04	2.01E +04	1.94E +04	1.87E +04	1.91E +04	1.65E +04	1.30E +04	9.76E +03	8.34E +03	7.23E +03	7.00E +03	1.17E +04	4.73E +03	4.59E +03
Jun-2014	9.79E +04	9.39E +04	9.04E +04	8.69E +04	9.46E +04	9.45E +04	9.36E +04	3.86E +04	3.10E +04	2.51E +04	2.39E +04	8.27E +04	2.20E +04	2.08E +04
Jul-2014	6.52E +04	6.32E +04	6.14E +04	5.97E +04	6.02E +04	5.57E +04	4.94E +04	2.79E +04	2.32E +04	1.94E +04	1.88E +04	4.50E +04	1.38E +04	1.33E +04
Aug-2014	3.72E +04	3.63E +04	3.55E +04	3.48E +04	3.70E +04	4.06E +04	4.70E +04	2.04E +04	1.83E +04	1.66E +04	1.63E +04	4.36E +04	1.75E +04	1.71E +04
Sep-2014	2.32E +04	2.27E +04	2.22E +04	2.17E +04	2.31E +04	2.23E +04	2.11E +04	1.22E +04	1.08E +04	9.69E +03	9.53E +03	1.97E +04	8.58E +03	8.42E +03
Oct-2014	8.80E +03	8.71E +03	8.62E +03	8.55E +03	6.29E +03	7.17E +03	9.37E +03	7.00E +03	6.76E +03	6.58E +03	6.56E +03	8.89E +03	4.91E +03	4.86E +03
Nov-2014	1.67E +03	1.66E +03	1.65E +03	1.64E +03	1.57E +03	1.74E +03	2.15E +03	1.39E +03	1.35E +03	1.32E +03	1.32E +03	2.09E +03	1.52E +03	1.52E +03
Dec-2014	2.64E +02	2.63E +02	2.63E +02	2.63E +02	2.52E +02	2.66E +02	3.24E +02	2.50E +02	2.48E +02	2.47E +02	2.47E +02	3.24E +02	2.95E +02	2.95E +02
Jan-2015	8.83E +01	8.83E +01	8.83E +01	8.82E +01	8.16E +01	8.31E +01	8.57E +01	8.75E +01	8.73E +01	8.71E +01	8.71E +01	8.55E +01	8.34E +01	8.32E +01
Feb-2015	1.32E +01	1.32E +01	1.32E +01	1.32E +01	1.31E +01	1.30E +01	1.39E +01	1.31E +01	1.30E +01	1.30E +01	1.30E +01	1.39E +01	1.39E +01	1.39E +01
Mar-2015	2.09E +00	2.09E +00	2.14E +00	2.15E +00	1.89E +00	1.71E +00	1.62E +00	2.01E +00	2.01E +00	2.00E +00	2.06E +00	1.64E +00	1.56E +00	1.58E +00

Apr-2015	2.56E +02	2.53E +02	2.49E +02	2.46E +02	2.20E +02	1.85E +02	6.89E +01	2.10E +02	2.04E +02	1.99E +02	1.98E +02	6.57E +01	4.92E +01	4.89E +01
May-2015	2.92E +03	2.81E +03	2.70E +03	2.60E +03	2.28E +03	1.72E +03	9.86E +02	1.53E +03	1.36E +03	1.22E +03	1.18E +03	8.74E +02	4.12E +02	4.00E +02
Jun-2015	5.55E +04	5.35E +04	5.15E +04	4.96E +04	5.33E +04	5.28E +04	5.17E +04	2.55E +04	2.17E +04	1.87E +04	1.80E +04	4.60E +04	1.66E +04	1.60E +04
Jul-2015	4.82E +04	4.68E +04	4.56E +04	4.43E +04	4.46E +04	4.16E +04	3.70E +04	2.02E +04	1.67E +04	1.39E +04	1.35E +04	3.38E +04	9.78E +03	9.42E +03
Aug-2015	6.82E +04	6.62E +04	6.45E +04	6.27E +04	6.54E +04	6.49E +04	6.45E +04	3.03E +04	2.55E +04	2.17E +04	2.11E +04	5.91E +04	1.83E +04	1.77E +04
Sep-2015	2.59E +04	2.51E +04	2.44E +04	2.38E +04	2.61E +04	2.73E +04	3.02E +04	1.23E +04	1.05E +04	9.15E +03	8.92E +03	2.77E +04	1.04E +04	1.02E +04
Oct-2015	2.02E +04	1.98E +04	1.95E +04	1.92E +04	1.55E +04	1.59E +04	1.68E +04	1.32E +04	1.23E +04	1.16E +04	1.14E +04	1.56E +04	6.87E +03	6.75E +03
Nov-2015	2.38E +03	2.36E +03	2.34E +03	2.32E +03	2.31E +03	2.54E +03	3.27E +03	1.85E +03	1.78E +03	1.72E +03	1.71E +03	3.17E +03	2.12E +03	2.10E +03
Dec-2015	4.25E +03	4.16E +03	4.09E +03	4.02E +03	4.07E +03	3.97E +03	3.68E +03	2.02E +03	1.74E +03	1.52E +03	1.49E +03	3.48E +03	1.32E +03	1.30E +03
Jan-2016	2.15E +02	2.13E +02	2.11E +02	2.09E +02	2.27E +02	2.74E +02	5.48E +02	1.59E +02	1.52E +02	1.47E +02	1.46E +02	5.31E +02	3.40E +02	3.38E +02
Feb-2016	7.44E +01	7.43E +01	7.42E +01	7.41E +01	7.55E +01	7.73E +01	7.93E +01	6.94E +01	6.88E +01	6.83E +01	6.82E +01	7.89E +01	7.03E +01	7.02E +01
Mar-2016	2.02E +01	2.02E +01	2.01E +01	2.01E +01	1.88E +01	1.85E +01	1.90E +01	1.88E +01	1.86E +01	1.85E +01	1.86E +01	1.87E +01	1.68E +01	1.69E +01
Apr-2016	2.85E +03	2.79E +03	2.73E +03	2.67E +03	2.46E +03	2.03E +03	1.20E +03	2.02E +03	1.91E +03	1.83E +03	1.81E +03	1.11E +03	6.74E +02	6.64E +02
May-2016	7.82E +02	7.55E +02	7.31E +02	7.07E +02	7.89E +02	9.95E +02	1.48E +03	4.92E +02	4.55E +02	4.26E +02	4.18E +02	1.37E +03	9.07E +02	8.96E +02
Jun-2016	2.88E +02	2.82E +02	2.77E +02	2.71E +02	2.94E +02	3.38E +02	4.01E +02	2.33E +02	2.26E +02	2.21E +02	2.19E +02	3.69E +02	2.57E +02	2.54E +02
Jul-2016	4.30E +04	4.15E +04	4.03E +04	3.90E +04	4.08E +04	3.78E +04	3.04E +04	1.64E +04	1.30E +04	1.03E +04	9.90E +03	2.75E +04	6.65E +03	6.33E +03
Aug-2016	1.32E +04	1.29E +04	1.27E +04	1.24E +04	1.28E +04	1.42E +04	1.85E +04	7.81E +03	7.12E +03	6.57E +03	6.49E +03	1.71E +04	6.90E +03	6.76E +03
Sep-2016	1.58E +03	1.57E +03	1.56E +03	1.55E +03	1.65E +03	1.86E +03	2.26E +03	1.24E +03	1.20E +03	1.17E +03	1.17E +03	2.22E +03	1.68E +03	1.68E +03

Oct-2016	1.28E +04	1.25E +04	1.23E +04	1.20E +04	1.06E +04	1.00E +04	8.68E +03	6.89E +03	6.13E +03	5.54E +03	5.46E +03	8.08E +03	2.98E +03	2.92E +03
Nov-2016	3.73E +03	3.63E +03	3.56E +03	3.48E +03	3.59E +03	3.61E +03	3.78E +03	1.86E +03	1.62E +03	1.43E +03	1.40E +03	3.54E +03	1.53E +03	1.51E +03
Dec-2016	4.97E +03	4.85E +03	4.76E +03	4.66E +03	4.71E +03	4.42E +03	3.30E +03	2.67E +03	2.37E +03	2.14E +03	2.11E +03	3.07E +03	1.40E +03	1.37E +03
Jan-2017	1.34E +03	1.32E +03	1.30E +03	1.29E +03	1.36E +03	1.59E +03	2.47E +03	1.01E +03	9.63E +02	9.29E +02	9.21E +02	2.34E +03	1.24E +03	1.22E +03
Feb-2017	1.91E +02	1.88E +02	1.85E +02	1.83E +02	1.86E +02	1.85E +02	2.04E +02	1.28E +02	1.20E +02	1.13E +02	1.12E +02	1.94E +02	1.31E +02	1.30E +02
Mar-2017	1.74E +03	1.71E +03	1.68E +03	1.66E +03	1.41E +03	1.37E +03	1.20E +03	1.21E +03	1.14E +03	1.09E +03	1.08E +03	1.13E +03	6.36E +02	6.28E +02
Apr-2017	4.87E +02	4.80E +02	4.74E +02	4.67E +02	4.36E +02	3.97E +02	4.14E +02	3.75E +02	3.61E +02	3.50E +02	3.48E +02	3.94E +02	2.75E +02	2.72E +02
May-2017	6.01E +03	5.79E +03	5.58E +03	5.37E +03	5.68E +03	5.33E +03	4.45E +03	2.99E +03	2.61E +03	2.31E +03	2.24E +03	3.95E +03	1.58E +03	1.53E +03
Jun-2017	5.47E +04	5.25E +04	5.06E +04	4.86E +04	5.15E +04	4.82E +04	4.18E +04	2.11E +04	1.68E +04	1.35E +04	1.28E +04	3.69E +04	9.74E +03	9.21E +03
Jul-2017	2.09E +04	2.03E +04	1.97E +04	1.92E +04	2.05E +04	2.15E +04	2.55E +04	1.01E +04	8.67E +03	7.59E +03	7.39E +03	2.32E +04	7.77E +03	7.52E +03
Aug-2017	4.89E +04	4.75E +04	4.63E +04	4.50E +04	4.56E +04	4.38E +04	4.09E +04	2.11E +04	1.75E +04	1.47E +04	1.43E +04	3.75E +04	1.13E +04	1.09E +04
Sep-2017	1.40E +04	1.36E +04	1.33E +04	1.30E +04	1.41E +04	1.42E +04	1.63E +04	7.38E +03	6.53E +03	5.87E +03	5.77E +03	1.52E +04	6.45E +03	6.36E +03
Oct-2017	2.10E +04	2.06E +04	2.03E +04	2.00E +04	1.55E +04	1.56E +04	1.60E +04	1.41E +04	1.32E +04	1.25E +04	1.24E +04	1.49E +04	6.99E +03	6.85E +03
Nov-2017	1.37E +04	1.34E +04	1.31E +04	1.28E +04	1.31E +04	1.36E +04	1.41E +04	6.99E +03	6.12E +03	5.44E +03	5.34E +03	1.31E +04	5.24E +03	5.13E +03
Dec-2017	9.19E +02	9.15E +02	9.12E +02	9.08E +02	8.63E +02	8.85E +02	1.14E +03	7.90E +02	7.73E +02	7.60E +02	7.59E +02	1.13E +03	9.18E +02	9.16E +02
Jan-2018	7.82E +02	7.78E +02	7.75E +02	7.72E +02	7.26E +02	7.28E +02	6.83E +02	6.92E +02	6.80E +02	6.71E +02	6.69E +02	6.74E +02	5.58E +02	5.57E +02
Feb-2018	1.97E +02	1.95E +02	1.93E +02	1.91E +02	1.75E +02	1.42E +02	1.14E +02	1.34E +02	1.26E +02	1.20E +02	1.19E +02	1.10E +02	6.28E +01	6.23E +01
Mar-2018	7.37E +03	7.16E +03	6.97E +03	6.77E +03	6.68E +03	6.34E +03	4.94E +03	3.34E +03	2.82E +03	2.42E +03	2.35E +03	4.49E +03	1.22E +03	1.17E +03

Apr-2018	1.22E +04	1.18E +04	1.14E +04	1.11E +04	1.14E +04	1.07E +04	1.02E +04	5.52E +03	4.67E +03	3.99E +03	3.87E +03	9.26E +03	3.43E +03	3.32E +03
May-2018	3.13E +04	3.00E +04	2.88E +04	2.76E +04	2.49E +04	1.83E +04	9.98E +03	1.14E +04	8.89E +03	6.90E +03	6.50E +03	8.79E +03	2.68E +03	2.56E +03
Jun-2018	4.17E +04	4.01E +04	3.87E +04	3.72E +04	4.25E +04	4.42E +04	4.84E +04	1.64E +04	1.32E +04	1.06E +04	1.02E +04	4.27E +04	1.05E +04	9.93E +03
Jul-2018	3.93E +04	3.80E +04	3.69E +04	3.58E +04	3.95E +04	4.14E +04	4.44E +04	1.73E +04	1.44E +04	1.22E +04	1.19E +04	4.03E +04	1.25E +04	1.21E +04
Aug-2018	1.10E +04	1.08E +04	1.06E +04	1.04E +04	1.04E +04	9.83E +03	9.17E +03	5.55E +03	4.86E +03	4.31E +03	4.25E +03	8.63E +03	3.29E +03	3.23E +03
Sep-2018	1.94E +04	1.89E +04	1.85E +04	1.81E +04	1.80E +04	1.62E +04	1.42E +04	8.98E +03	7.64E +03	6.59E +03	6.45E +03	1.32E +04	4.83E +03	4.72E +03
Oct-2018	2.73E +04	2.66E +04	2.61E +04	2.56E +04	2.23E +04	2.26E +04	2.32E +04	1.56E +04	1.41E +04	1.29E +04	1.27E +04	2.14E +04	8.24E +03	8.04E +03
Nov-2018	1.96E +04	1.91E +04	1.87E +04	1.83E +04	1.86E +04	1.86E +04	1.93E +04	9.95E +03	8.71E +03	7.74E +03	7.61E +03	1.80E +04	7.03E +03	6.88E +03
Dec-2018	2.36E +03	2.34E +03	2.33E +03	2.31E +03	2.23E +03	2.45E +03	2.90E +03	1.83E +03	1.76E +03	1.70E +03	1.70E +03	2.82E +03	1.97E +03	1.96E +03