

PROTEGIENDO LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA MIENTRAS SE REPONEN LOS ACUÍFEROS



*Consideraciones Sobre el Manejo de Nitratos
para Implementar la Recarga en Terrenos
Agrícolas*

junio del 2021


Sustainable Conservation

DESCRIPCIÓN GENERAL

Según la Ley de Manejo Sostenible del Agua Subterránea (SGMA, por sus siglas en inglés), las Agencias de Sostenibilidad del Agua Subterránea (GSA, por sus siglas en inglés) están encargadas de desarrollar Planes de Manejo Sostenible del Agua Subterránea (GSP, por sus siglas en inglés) que describen cómo cumplir con los objetivos de sostenibilidad. El Manejo de la Recarga de Acuíferos en Terrenos Agrícolas (Ag-MAR, por sus siglas en inglés) es una de varias herramientas claves identificadas en los GSPs para mejorar la sostenibilidad del agua subterránea mediante la aplicación de un exceso de agua superficial en las parcelas agrícolas para recargar los acuíferos. Los beneficios de Ag-MAR para aumentar los pozos de agua subterránea son bien conocidos, pero también existe la posibilidad de mejorar simultáneamente la calidad del agua subterránea mediante la dilución de contaminantes. Sin embargo, a muchas personas les preocupa que Ag-MAR también podría empeorar la calidad del agua si se implementa sin una consideración exhaustiva de los impactos en la calidad del agua. Para aprovechar completamente el potencial de Ag-MAR para mejorar las condiciones de calidad del agua, debemos comprender los beneficios y riesgos a corto y largo plazo al mismo tiempo que involucramos a las comunidades como socios en la toma de decisiones.

Este documento representa un primer paso hacia la guía de manejo para los administradores y profesionales de la recarga a nivel parcela para maximizar los beneficios para la calidad del agua y manejar los riesgos bajo Ag-MAR. Este documento también está destinado a ser utilizado como un recurso para que las comunidades puedan participar más plenamente en el proceso de toma de decisiones de la GSA. Se necesita más investigación sobre este tema, pero con la participación cuidadosa de las partes interesadas, incluyendo las comunidades, las organizaciones comunitarias, los agricultores y las GSAs, y una consideración cuidadosa de la calidad del agua potable, Ag-MAR puede ser una estrategia eficaz para asegurar los recursos hídricos en el futuro para todos Californianos.

La intención de este informe de manejo es desarrollar la comprensión de cómo Ag-MAR podría afectar el agua potable e identificar las consideraciones de manejo que se pueden utilizar para diseñar proyectos Ag-MAR que tengan en cuenta la calidad del agua. Estas consideraciones no son prescriptivas ni pretenden cubrir el alcance completo de las consideraciones necesarias para implementar un proyecto o programa de recarga exitosa (es decir, análisis de cultivos adecuados de suelos y cultivos, hidrogeología, derechos y disponibilidad de agua e infraestructura de flujo, entre otros temas).

IMPACTOS DEL AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD

La contaminación del agua subterránea por nitratos afecta a más de 600,000 personas abastecidas por pozos de agua potable público en todo California y se espera que empeore en el futuro, con o sin Ag-MAR.^{1,2}

Las comunidades rurales comparten de manera desproporcionada la mayor carga de este desafío en comparación con sus contrapartes urbanas, debido a sobre aplicación agrícola, sistemas sépticos con fugas y descargas industriales.³

Los casos de concentraciones dañinas de nitrato predominan en pozos domésticos privados y sistemas de agua más pequeños que sirven a comunidades que no tienen los recursos para abordar la contaminación de su agua potable.



ÍNDICE

SECCIÓN 1: CONTEXTO Y TENDENCIAS DE LA CALIDAD DEL AGUA	5
SECCIÓN 2: PRÁCTICAS AGRONÓMICAS PARA PROTEGER LA CALIDAD DEL AGUA	8
SECCIÓN 3: CONSIDERACIONES SOBRE EL NITRATO A ESCALA DE CAMPO	9
SECCIÓN 4: CONSIDERACIONES SOBRE NITRATOS A ESCALA REGIONAL	10
SECCIÓN 5: PRIORIZACIÓN DE SITIOS DE RECARGA BAJO AG-MAR	11
SECCIÓN 6: MONITOREO DEL PROGRAMA DE RECARGA Y PLANES DE CONTINGENCIA	15

Para obtener información más detallada sobre la investigación actual que respalda cada una de las siguientes secciones, consulte el documento técnico correspondiente, *Management Considerations for Protecting Groundwater Quality under Agricultural Managed Aquifer Recharge*.⁴

SECCIÓN 1: CONTEXTO Y TENDENCIAS DE LA CALIDAD DEL AGUA

OBJETIVO PÚBLICO: AGRICULTORES, ADMINISTRADORES, COMUNIDADES

Nitrato (NO_3^-) se espera que la contaminación del agua subterránea sea un problema constante en California durante muchos años. El uso histórico de la tierra y las aplicaciones de fertilizantes durante los últimos años o décadas determinan la cantidad de nitrógeno aplicado que ya se ha infiltrado por debajo de la zona de raíces, y en este documento se denomina N legado. Según el tipo de suelo y las prácticas de riego pasadas, este N legado es ya sea abriéndose paso gradualmente a través de la zona vadosa (zona no saturada) o ya ha ingresado al agua subterránea (zona saturada), como lo indican los niveles actuales de contaminación por NO_3 en toda California (Figura 1). La recarga puede influir en el momento en que el N legado ingresa al agua subterránea (es decir, las cargas de legado pueden llegar a los pozos de agua potable antes y en concentraciones más altas o bajas), pero no influirá en la cantidad total que eventualmente ingresará al agua subterránea (Figuras 2 y 3).

El programa de Evaluación y Monitoreo Ambiental del Agua Subterráneas (GAMA, por sus siglas en inglés) ha producido una serie útil de herramientas de mapas en línea para comprender y evaluar la calidad del agua:

https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/gama/online_tools.html

El Programa de Control de Nitratos bajo la Enmienda del Plan de la Cuenca/CV SALTS se enfoca en abordar los impactos continuos de la contaminación por N legado (más información en la Sección 6).

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES

N

Nitrógeno aplicado como fertilizante

Legado N

Nitrógeno y otros constituyentes que se aplicaron en años y décadas anteriores y permanece en el subsuelo del suelo o ya ha ingresado al agua subterránea

NO_3^-

El nitrato es un compuesto que se forma naturalmente cuando el nitrógeno se combina con oxígeno u ozono

NO_3^- -N

Nitrato-nitrógeno es una forma de medir la concentración de nitrato

10 mg NO_3^- -N/L

Nivel Máximo de Contaminante (MCL, por sus siglas en inglés) para consumo humano

FIGURA 1: Condiciones ambientales para nitrato (mg/L como N) en la zona superior de cuencas/ subcuencas de agua subterránea en el Valle Central. Fuente: Figura 3-23 del SNMP final para consideración de la Junta de Aguas de Valle Central: diciembre del 2016.

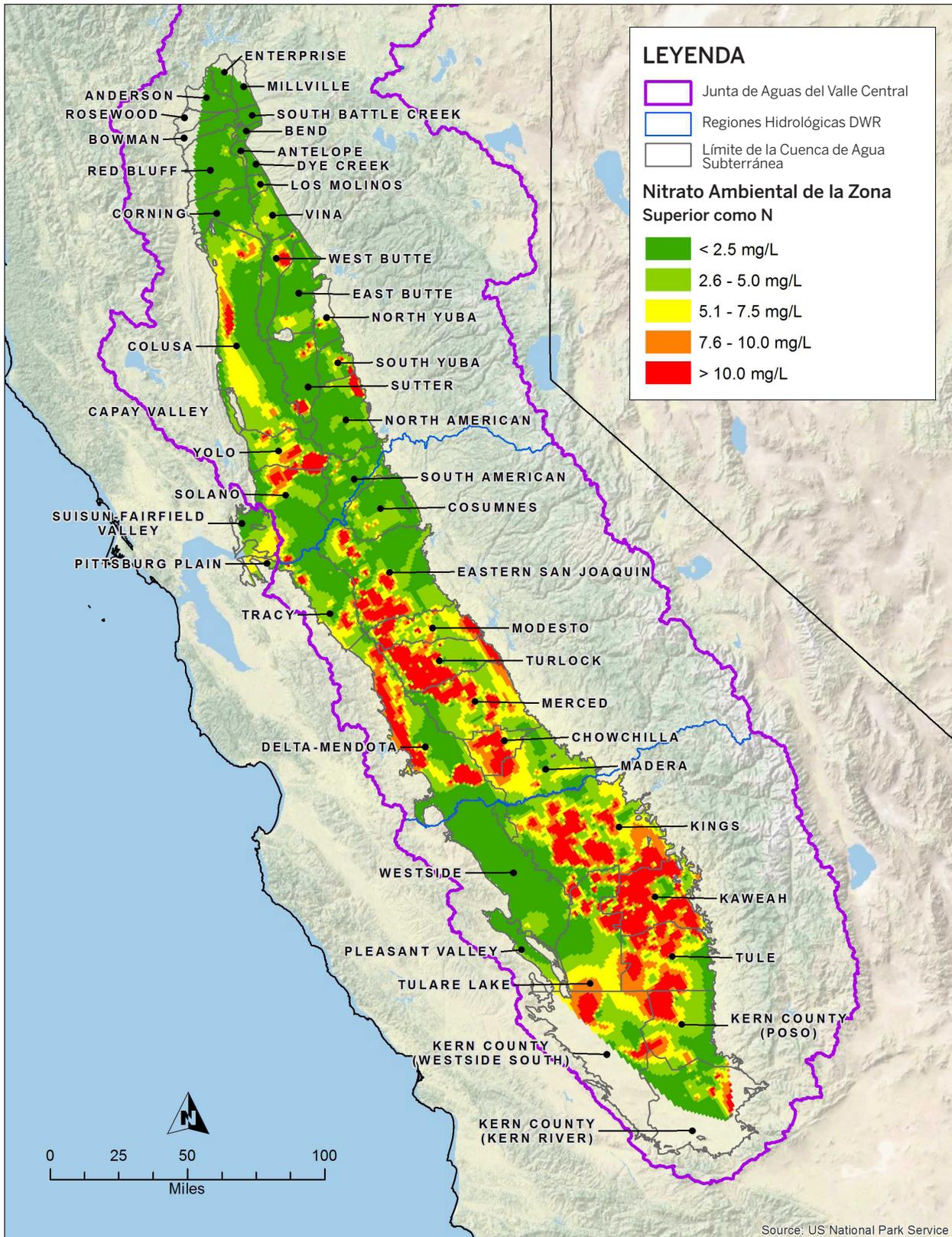


FIGURA 2: N legado continúa afectando la calidad del agua subterránea años después de que se aplicó a las parcelas. Incluso si todos los agricultores mejoran su manejo de nutrientes hoy (en esta figura, tres barras rojas más delgadas cerca de la zona de la raíz representan tres años recientes de menor aplicación de N), habrá un lavado de nitrógeno, con o sin recarga, desde debajo de la zona de la raíz (vadosa zona) debido a prácticas agronómicas históricamente ineficientes (barras rojas más gruesas debajo).

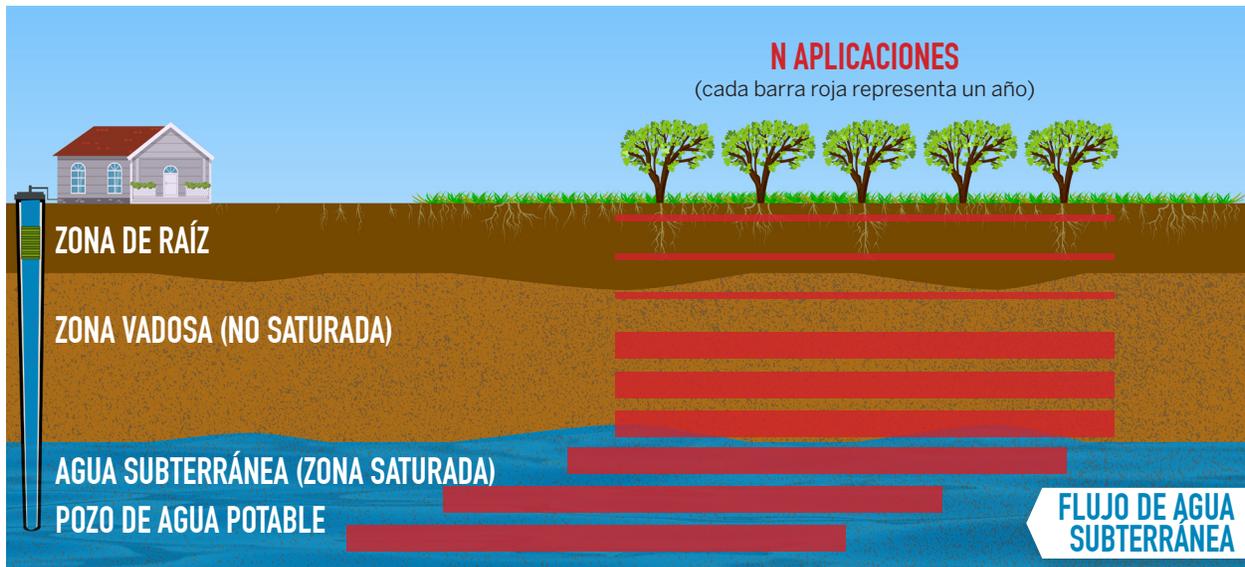
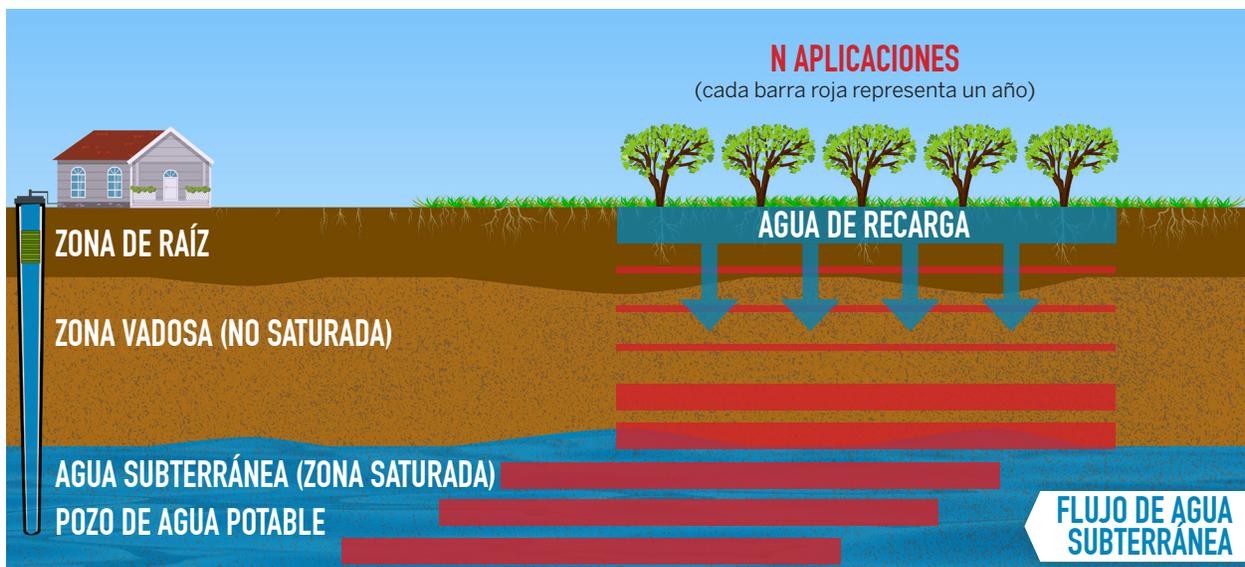


FIGURA 3: En esta figura, se reduce el movimiento de N por debajo de la zona de raíces durante los últimos 3 años debido a mejores prácticas agronómicas recientes (Sección 2). El agua adicional de la recarga mueve cualquier N legado restante en la zona vadosa hacia el agua subterránea más rápido, lo que podría diluir o aumentar temporalmente las concentraciones de NO₃ (debido a la carga legada) en el agua subterránea, según las condiciones (Sección 5).



SECCIÓN 2: PRÁCTICAS AGRONÓMICAS PARA PROTEGER LA CALIDAD DEL AGUA

OBJETIVO PÚBLICO: AGRICULTORES, ADMINISTRADORES

El paso más importante para proteger la calidad del agua subterránea bajo Ag-MAR es asegurar que las prácticas agronómicas actuales y futuras minimicen cualquier movimiento adicional de nitrógeno (N) por debajo de la zona de raíces (Tabla 1). Las GSAs deben garantizar que los agricultores practiquen un buen manejo de nutrientes para ser elegibles para participar en los programas de recarga.

El Programa de Regulación de Tierras Irrigadas (ILRP, por sus siglas en inglés) y la Orden General de Productos Lácteos (Dairy General Order, en inglés) se enfocan en reducir el escurrimiento superficial y la pérdida de nitratos de las operaciones agrícolas al mejorar el manejo de riego y nutrientes en el sitio.

TABLA 1: Mejores Prácticas Agronómicas.

Aplicación de Nitrógeno	<p>Sigue las siguientes recomendaciones de fertilización.^{5,6}</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Fuente Correcta: utilizar la forma de fertilizante más adecuada para el cultivo y el medio ambiente. ■ Dosis Correcta: aplicar nitrógeno en proporción a la demanda del cultivo. ■ Tiempo Correcto: alinear el tiempo de aplicación de nitrógeno con la absorción del cultivo. ■ Lugar Corrector: aplique nitrógeno a la zona radicular activa o al follaje y, si es posible, varíe la aplicación de nitrógeno para abordar la variabilidad de parcelas en los suelos y los rendimientos.
	<p>De acuerdo con los planes de manejo de nutrientes, ajuste las dosis de aplicación de N en función de objetivos de rendimiento realistas (absorción de cultivos), nitrato en el agua de riego, mineralización de nitrógeno de la materia orgánica y nitrato residual en el suelo antes de plantar o acciones de fertilización, de acuerdo con los planes de manejo de nutrientes.⁷</p>
	<p>Use fertiirrigación (posos de nitrógeno a través de sistemas de riego) para apuntar a aplicaciones frecuentes y de baja concentración directamente a la zona de raíces.^{8,9}</p>
	<p>Use fertilizantes de liberación controlada e inhibidores de nitrificación o aplicaciones divididas.⁹</p>
	<p>Pruébe la cantidad de N en el suelo al final de la temporada para evaluar la eficiencia de absorción durante la temporada de crecimiento.⁸</p>
Uso del Agua	<p>Elimine las aplicaciones de otoño de N si las necesidades de cultivos en dormancia pueden satisfacerse con nitrógeno residual del suelo.⁹</p>
	<p>Evite el exceso de riego después de la aplicación de nutrientes, que puede mover el nitrógeno por debajo de la zona de la raíz.¹⁰</p>
Cultivos de Cobertura	<p>Considere el uso de cultivos de cobertura para extraer el N residual después de la cosecha y/o reducir la necesidad de aplicaciones de N sintético.¹¹</p>

SECCIÓN 3: CONSIDERACIONES SOBRE EL NITRATO A ESCALA DE CAMPO

OBJETIVO PÚBLICO: AGRICULTORES, ADMINISTRADORES

Los agricultores pueden usar esta tabla para guiar sus decisiones a escala de campo sobre si participar en actividades de recarga y cómo hacerlo. Las agencias de administración, como las GSAs y los Distritos de Riego, pueden usar la tabla para ayudar a desarrollar un guía de recarga local y regional y herramientas de priorización.

TABLA 2: Consideraciones de Nitrato a Escala de Campo.

Manejo Actual de Cultivos	Evaluar las prácticas actuales de uso de la tierra de un sitio de nivel parcela para minimizar la cantidad de nitrato perdido debajo de la zona de raíces. Priorizar los sitios de recarga con cultivos que tienen una baja demanda de N y practicar un excelente manejo del N. ^{2, 12}
Idoneidad del Cultivo	Cuando la recarga se lleva a cabo en tierras agrícolas activas, la recarga debe aplicarse en cultivos que puedan tolerar la saturación del suelo sin afectar la salud del cultivo, lo que puede reducir la capacidad de la planta para absorber N y dejar más N vulnerable a mover hacia el acuífero. ^{13, 14, 15}
Condiciones Hidrogeológicas y del Suelo	Los suelos superficiales arenosos de textura gruesa pueden ser los mejores candidatos para la recarga cuando no hay capas impermeables subyacentes y se sigue un buen plan de manejo de nutrientes. En estos sitios, se podrían aplicar mayores cantidades de agua, lo que diluiría el nitrato de manera más efectiva en comparación con los suelos superficiales de textura más pesada. ¹⁶
Manejo d Nitrógeno Bajo Recarga	No aplique N directamente antes de un evento de recarga. ¹⁷
	Maximizar la recarga en períodos de inactividad/barbecho cuando N no se aplica activamente. ¹⁸
	Cuando sea posible, recargue utilizando períodos de aplicación de mayor duración – en lugar de eventos breves y pulsados – para disminuir el potencial de mineralización de N (conversión de nitrógeno orgánico en nitrógeno disponible para la planta), aumentar el potencial de desnitrificación (conversión de nitrato en gas dinitrógeno) y disminuir la pérdida general de nitrato al agua subterránea. ¹⁹
Disponibilidad de Agua	Consulte la Tabla 3 para conocer las consideraciones sobre la disponibilidad de agua. Aunque esto es principalmente una preocupación para las agencias de administración, los agricultores deben considerar la duración y la cantidad de agua disponible para la recarga para determinar el número y el tamaño de los sitios de recarga que pueden recibir suficiente agua, lo que puede ayudar a diluir el N legado residual del suelo. ²⁰

SECCIÓN 4: CONSIDERACIONES SOBRE NITRATOS A ESCALA REGIONAL

OBJETIVO PÚBLICO: ADMINISTRADORES, COMUNIDADES

Las agencias de administración que están considerando promover Ag-MAR en múltiples sitios en una región como parte de un programa de recarga pueden usar las consideraciones de la Tabla 3 para evaluar los posibles efectos acumulativos de nitrógeno de los sitios de recarga seleccionados.

TABLA 3: Consideraciones de Nitrato a Escala Regional.

Hidrogeología de Aguas Subterráneas	<p>Evaluar la hidrogeología y los gradientes de aguas subterráneas, incluyendo la influencia del bombeo y la recarga regionales, para ayudar a predecir cuándo y dónde se pueden esperar los efectos de las actividades de Ag-MAR.</p> <p>Tenga en cuenta que los gradientes del agua subterránea locales pueden cambiar debido a las actividades de recarga, lo que podría aumentar el flujo del agua subterránea contaminadas cercanas hacia los pozos de agua potable.²¹ Por lo tanto, incluso en condiciones ideales del sitio de recarga, aún se justifica la investigación de los impactos potenciales en los pozos de agua potable locales.</p>
Acceso Comunitario al Agua	<p>Evaluar y mapear pozos de agua potable y otros usos domésticos que se encuentren en las inmediaciones de las actividades de recarga. En estrecha coordinación con las comunidades, considerar priorizar la recarga en áreas donde los pozos ya son vulnerables a secarse y/o ya están contaminados, con especial cuidado para proteger o mejorar la calidad del agua potable.</p>
Disponibilidad de Agua	<p>Cuando el agua disponible para recarga proyectada es limitada, considere concentrar la recarga en un número limitado de sitios (que utilicen un manejo adecuado de nutrientes) con cantidades suficientes de agua, en lugar de recargar grandes áreas (o rotar las parcelas de recarga anualmente), para reducir la posibilidad de concentrar N en el agua subterránea a partir de la recarga.</p>



Los hogares y las comunidades a menudo se encuentran muy cerca de las parcelas agrícolas. Fotografía de Adobe Stock.

SECCIÓN 5: PRIORIZACIÓN DE SITIOS DE RECARGA BAJO AG-MAR

OBJETIVO PÚBLICO: AGRICULTORES, ADMINISTRADORES, COMUNIDADES

La priorización de sitios para recarga puede ser especialmente útil en años en los que el agua disponible para recarga es limitada. La Tabla 4 puede ayudar a priorizar los sitios en función de la calidad del agua subterránea local existente y la carga de N legado, **suponiendo que se sigan las prácticas adecuadas de manejo de nitratos en la actualidad y en el futuro** (Sección 2).

Es importante tener en cuenta que las prácticas de riego pasadas influirán en la carga de N legado, donde un historial de riego por inundación podría significar que hay menos N legado en la zona vadosa que en un sitio que tiene riego por goteo. Es posible que se justifique una mayor recopilación programática de información del sitio de agricultores/propietarios de tierras interesados (p. ej., un examen más profundo de los registros de aplicación de fertilizantes, pruebas de agua de pozo e historial de riego/recarga).

Los sitios con una acumulación significativa de nitrógeno orgánico en la zona vadosa (p. ej., lagunas de estiércol, áreas de corrales de animales) representan un riesgo adicional potencialmente significativo para la calidad del agua subterránea. En estos sitios, Ag-MAR conduciría a una mineralización potencialmente grande de materia orgánica a nitrógeno inorgánico, como nitrato, y la movimiento posterior de nitrato al agua subterráneo. Generalmente no se recomienda Ag-MAR en dichos sitios.



La carga de nitrógeno en la zona vadosa varía según el tipo de riego (izquierda: inundación, derecha: microaspersores) y las dosis de aplicación de nutrientes. Fotografía izquierda de Adobe Stock. Fotografía derecha de Lance Cheung para USDA.

TABLE 4: Priorización de Sitios. Esta tabla puede ayudar a priorizar los sitios según el riesgo relativo al evaluar la calidad del agua subterránea local y la carga de N legado. Los escenarios A, B y C se analizan con más detalle en los gráficos a continuación.

CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	N LEGADO	RIESGO RELATIVO DE FILTRACIÓN DE NITRATOS	CONSIDERACIONES	ESCENARIO
Bueno/ Marginal	Bajo	Sitio de recarga de bajo riesgo .	Use agua limpia para recargar.	A
	Medio	Sitio de riesgo medio para el aumento continuo de las concentraciones de nitrato, con o sin recarga.	Use agua limpia, abundante y confiable para recargar. Las comunidades afectadas deben tomar decisiones. Desarrollar un programa de monitoreo y un plan de contingencia.	B
	Alto	Sitio de mayor riesgo de aumento continuo de las concentraciones de nitrato, con o sin recarga. *		
Pobre	Bajo	Sitio de recarga de bajo riesgo .	La recarga puede mejorar las condiciones. Use agua limpia para recargar.	C
	Medio	Sitio de riesgo medio-bajo para el aumento continuo de las concentraciones de nitrato, con o sin recarga.	Use agua limpia, abundante y confiable para recargar. Las comunidades afectadas deben tomar decisiones. Desarrollar un programa de monitoreo y un plan de contingencia.	
	Alto	Sitio de riesgo medio para el aumento continuo de las concentraciones de nitrato, con o sin recarga.		

* Un sitio con un historial de alta carga de nitrógeno y una calidad del agua subterránea local bueno/marginal puede indicar que el N legado aún no ha viajado al acuífero. Si este es el caso, la recarga puede movilizar una nueva descarga de N legado en el agua subterránea (ver Escenario B), que puede o no diluirse dependiendo de muchas variables. Se recomienda una evaluación de los impactos a corto y largo plazo en los pozos de agua potable del agua pública o doméstica cercano al agua que fluye desde un nivel más alto a un nivel más bajo debido a una elevación diferente.

EFFECTOS A CORTO PLAZO VS A LARGO PLAZO

Los efectos potenciales a corto y largo plazo de la recarga dependen de una variedad de condiciones del sitio. Los escenarios A, B y C ilustran las tendencias generales de la calidad del agua a lo largo del tiempo según las condiciones descritas en la Tabla 5. Las bandas gruesas en los escenarios representan un rango superior e inferior de incertidumbre que depende de muchas variables del sitio. Estas cifras son solo conceptuales y no reflejan las condiciones reales del sitio.

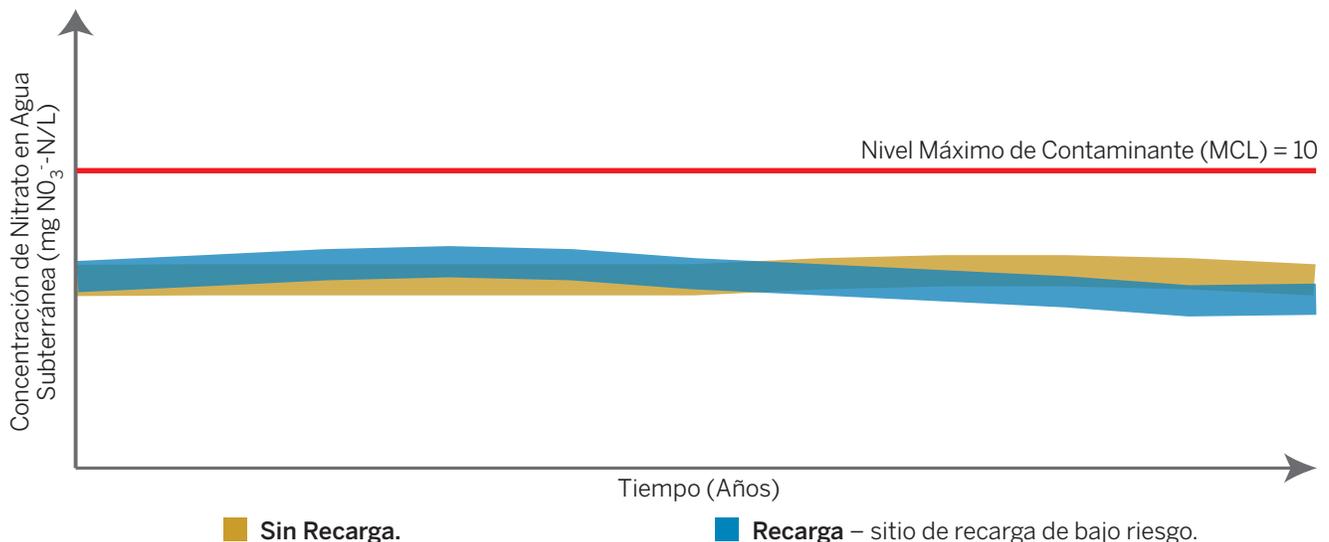
Aunque la mejora a largo plazo puede justificar impactos a corto plazo. Las comunidades afectadas por problemas de calidad del agua deben ser parte de la toma de decisiones de Ag-MAR. “Corto plazo” es relativo (podría ser de 10 a 20 años) y, por lo tanto, las personas deberán tomar estas decisiones difíciles juntas. Por ejemplo, una peor calidad del agua temporal a cambio de la seguridad del agua a largo plazo, teniendo en cuenta que el empeoramiento de la calidad del agua es el resultado de muchos lugares en California, con o sin recarga, ya que el N legado inevitablemente se mueve a través del sistema.

ESCENARIO A:

Calidad del Agua Subterránea Existente: Bueno/Marginal

Nitrógeno: Bajo

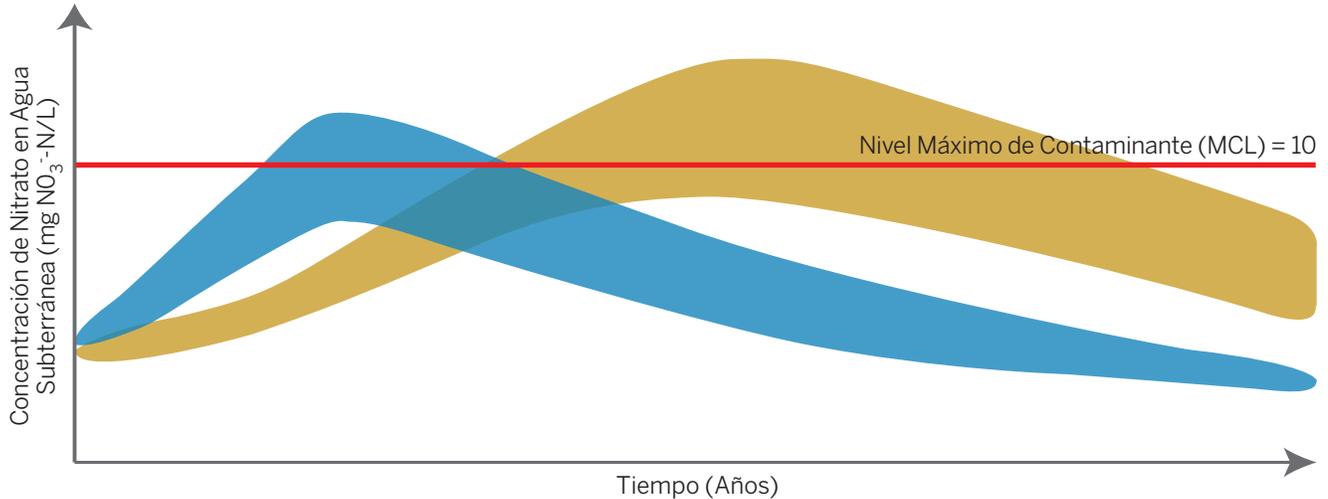
No es probable que los sitios con un N legado relativamente bajo y una baja concentración de NO_3^- -N en las aguas subterráneas provoquen una degradación significativa de la calidad del agua en el futuro, con o sin recarga.^{2,12}



ESCENARIO B:

Calidad del Agua Subterránea Existente: Buena/Marginal Nitrógeno Heredado: Medio/Alto

En sitios con baja concentración de NO_3^- y N legado medio/alto, la recarga podría mejorar las condiciones a largo plazo, pero potencialmente empeorar las condiciones a corto plazo, lo que puede o no exceder el MCL. Tenga en cuenta que la calidad del agua puede empeorar antes de mejorar, independientemente de las actividades de recarga.



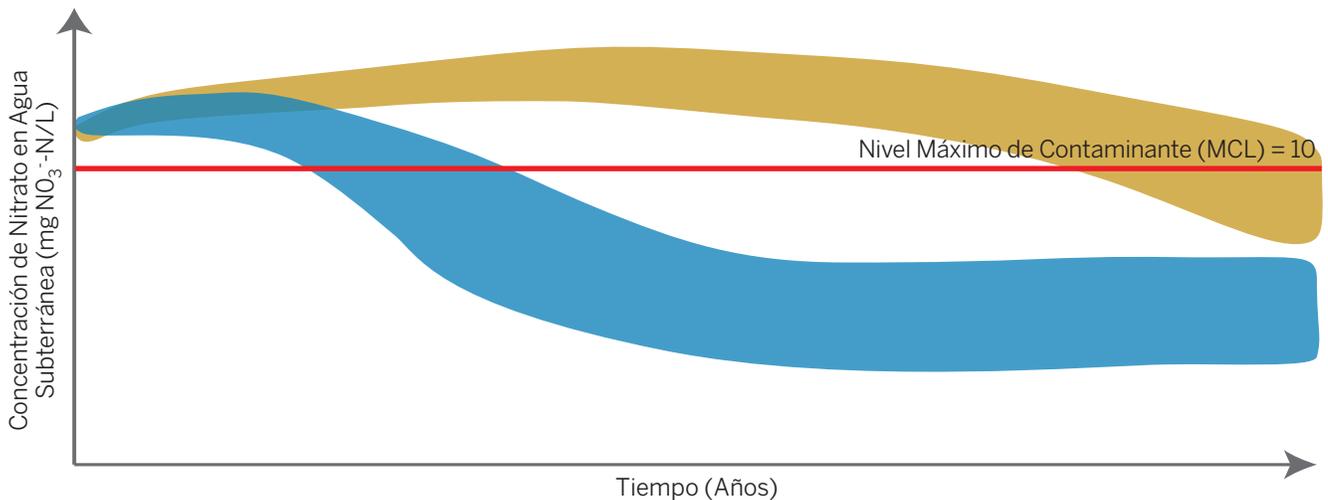
■ **Sin Recarga** – pico en NO_3^- : ocurre más tarde y durante un período de tiempo más largo. Puede o no exceder el MCL dependiendo de las condiciones.

■ **Recarga** – pico en NO_3^- : ocurre antes y por un período de tiempo más corto. Puede o no exceder el MCL dependiendo de las condiciones.

ESCENARIO C:

Calidad del Agua Subterránea Existente: Mala Nitrógeno Heredado: Bajo/Medio/Alto

La recarga mejora las condiciones de calidad del agua a corto y largo plazo si la calidad del agua ya es deficiente (lo que indica que el N legado puede haberse infiltrado a las aguas subterráneas) y se aplica suficiente agua para diluir cualquier N legado restante.



■ **Sin Recarga** – eventualmente, NO_3^- el penacho se mueve a través del sistema.

■ **Recarga** – puede mejorar las condiciones mucho antes que sin Ag-MAR.

SECCIÓN 6: MONITOREO Y PLANES DE CONTINGENCIA

OBJETIVO PÚBLICO: ADMINISTRADORES, COMUNIDADES

Las GSAs y las agencias de administración deben planificar con anticipación y en coordinación con las comunidades locales, las organizaciones comunitarias y los programas relacionados con el nitrato para identificar los sitios de recarga prioritarios en función de los beneficios de recarga deseados y la evaluación de cultivos adecuados y los riesgos de la recarga. Si se espera que los sitios de mayor riesgo se incluyan en el programa de recarga y están ubicados en áreas donde el agua potable es una preocupación, la GSA o la agencia de administración debe tener un plan (incluido el financiamiento identificado) para monitorear y abordar cualquier impacto que pueda ocurrir antes de la instalación de la aplicación de agua de recarga. Esta sección ofrece algunas recomendaciones sobre cómo se podría abordar esto.

Las Zonas de Manejo del Programa de Control de Nitratos (MZ, por sus siglas en inglés) son nuevas vías regulatorias donde los descargadores autorizados, incluyendo la agricultura, abordarán colectivamente la contaminación actual y futura por nitratos del agua subterránea a escala regional, al monitorear la calidad del agua, proporcionar suministros de agua subterránea alternativos y reducir la contaminación del agua subterránea con el tiempo.

Las GSAs deben coordinarse con las MZs cuando corresponda, incluyendo la coordinación de los programas de monitoreo.



Muestras de agua subterránea recolectadas en un pozo en el condado de Sutter el 11 de agosto de 2017. Fotografía de Kelly M. Grow para el Departamento de Recursos Hídricos de California.

TABLA 5: Consideraciones del Programa de Monitoreo.

<p>Red de Pozos de Monitoreo</p>	<p>Identificar y mapear pozos de agua potable que puedan ser impactados por actividades de recarga (área de influencia). Usar la información recopilada de la evaluación a escala regional (Tabla 3) para priorizar el monitoreo de los pozos de agua potable que podrían verse afectados por las actividades de recarga.</p>
	<p>Examine los datos de los pozos locales para establecer las condiciones de referencia de la calidad del agua y evaluar el potencial para que estos pozos se utilicen simultáneamente como pozos de monitoreo, según la ubicación, la proximidad a los pozos de agua potable, la profundidad del agua subterránea, la profundidad del ranurado del pozo, los gradientes del agua subterránea y la accesibilidad, entre otras consideraciones.</p>
	<p>Coordinar los esfuerzos de monitoreo con los programas regulatorios relacionados con el nitrato como las coaliciones ILRP, el Programa de Monitoreo de Representantes de Productos Lácteos del Valle Central y las Zonas de Manejo de Nitrato).</p>
	<p>Coordinar los esfuerzos de monitoreo con organizaciones comunitarias y sin fines de lucro que están monitoreando pozos de agua potable.</p>
	<p>Instalar nuevos pozos de monitoreo si es necesario, en coordinación con la red descrita en el GSP, para llenar los vacíos de datos y priorizar el monitoreo de los pozos de agua potable en el área de influencia.</p>
	<p>Ubique pozos de monitoreo a lo largo de la trayectoria del flujo de agua subterránea, y a la profundidad adecuada, entre los sitios de Ag-MAR y el área de influencia.^{21, 22} Tenga en cuenta que las direcciones del flujo de agua subterránea pueden ser muy variables y multidireccionales, según las condiciones estacionales y las actividades de bombeo.</p>
<p>Plan de Muestreo de Pozos</p>	<p>Para los sitios de recarga que necesitarán monitoreo, la distancia entre los pozos de monitoreo y los pozos de suministro de agua potencialmente afectados debe permitir suficiente tiempo para activar la alerta temprana y la promulgación del plan de contingencia. ^{21, 22}</p>
	<p>La frecuencia del muestreo de pozos debe ser lo suficientemente robusta para capturar cambios en las concentraciones de contaminantes debido a la magnitud y proximidad de las actividades de recarga. La frecuencia y los parámetros monitoreados pueden variar entre pozos en una red, dependiendo de los objetivos y el diseño de la red.</p>
	<p>Considere otros factores de calidad del agua para medir, incluidos los contaminantes de interés, así como indicadores como el pH.</p>

PLANES DE CONTINGENCIA

Las GSAs deben trabajar con las comunidades locales, las organizaciones comunitarias locales y los programas regulatorios existentes, como las MZs para identificar el umbral de calidad del agua en el que se activan los planes de contingencia (p. ej., 75 % del Nivel Máximo de Contaminantes) y coordinar posibles de agua subterránea alternativos en el caso de que las actividades de recarga aceleren el empeoramiento de la calidad del agua (superando los objetivos de calidad del agua). Algunos suministros de agua subterránea alternativos incluyen agua embotellada y agua de tanque, quioscos de agua, sistemas de filtración/tratamiento de agua en el punto de uso, conexión a sistemas municipales cercanos, profundización de pozos de agua potable, establecimiento de un nuevo sistema de agua potable pequeño y remediación de agua contaminada.

CONCLUSIÓN

Ag-MAR es una de varias herramientas clave que serán cruciales para lograr la sostenibilidad del agua subterránea de California. Debido a que la contaminación por nitrato tiene el potencial de afectar la salud humana, se debe tener especial cuidado para ubicar y administrar los sitios de manera adecuada bajo Ag-MAR y en coordinación directa con las comunidades potencialmente afectadas. La participación reflexiva de las partes interesadas, combinada con la investigación emergente sobre este tema y la consideración de los posibles beneficios y riesgos a corto y largo plazo, puede garantizar que Ag-MAR sea una estrategia eficaz para asegurar los recursos hídricos para todos los Californianos.



Recarga de agua subterránea en un viñedo del condado de Madera. Fotografía de Paolo Vescia para Sustainable Conservation.

AGRADECIMIENTOS

Sustainable Conservation quisiera agradecer a los siguientes revisores por proporcionar comentarios valiosos durante el desarrollo de este documento y el libro blanco del que se derivó la información presentada aquí. Las opiniones expresadas en este documento son las de los autores y no representan necesariamente las opiniones de las personas y organizaciones que se enumeran a continuación.

Paul Boyer, Self-Help Enterprises

Don Cameron, Terranova Ranch Inc.

Helen Dahlke, University of California at Davis, Department of Land, Air, and Water Resources

Danielle Dolan, Local Government Commission

Julia Grim, Natural Resources Conservation Service, California

Thomas Harter, University of California at Davis, Department of Land, Air, and Water Resources

Emily Houlihan, State Water Resources Control Board

Lisa Hunt, American Rivers

Clare Keating, Earth Genome

Vicki Kretsinger, Luhdorff & Scalmanini Consulting Engineers

Ryan Luster, The Nature Conservancy

Amanda Monaco, Leadership Counsel for Justice and Accountability

Greg Norris, Natural Resources Conservation Service, California

Felice Pace

Wendy Rash, Natural Resources Conservation Service, California

Melissa Rhode, The Nature Conservancy

Jesse Roseman, Almond Board of California

Scott Seyfried, State Water Resources Control Board

Jane Sooby, California Certified Organic Farmers

Hannah Waterhouse, University of California at Berkeley, Environmental Science, Policy and Management Department

Traducción al español proporcionada por **Lingüística Interpreting & Translation** con aportes de **Francisco Flores-López, Ph.D.**, California Department of Water Resources y **Mariana Rivera-Torres**, Environmental Defense Fund.

CITAS

- ¹ Belitz, K., Fram, M.S., & Johnson, T.D. (2015). Metrics for assessing the quality of groundwater used for public supply, CA, USA: equivalent-population and area. *Environmental Science and Technology*, 49 (14), 8330–8338.
- ² Bastani, M. & Harter, T. (2019). Source area management practices as remediation tool to address groundwater nitrate pollution in drinking supply wells. *Journal of Contaminant Hydrology*, 226, 103521. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2019.103521>
- ³ Balazs, C., Morello-Frosch, R., Hubbard, A., & Ray, I. (2011). Social disparities in nitrate-contaminated drinking water in California's San Joaquin Valley. *Environmental Health Perspectives*, 119(9), 1272–1278. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002878>
- ⁴ Waterhouse, H., Broadhead, T., Massell, A., Dahlke, H., Harter, T., & Mountjoy, D. (2021). Management considerations for protecting groundwater quality under agricultural managed aquifer recharge. <https://suscon.org/agmar-white-paper/>
- ⁵ Niederholzer, F. (2012). Nitrogen use efficiency in almonds. *Sacramento Valley Almond News*, http://cesutter.ucanr.edu/newsletters/Pomology_Notes42838.pdf
- ⁶ Wang, Q., Liu, G., Morgan, K., & Li, Y. (2015). Implementing the four Rs (4Rs) in nutrient stewardship for tomato production. IFAS Extension, University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/HS/HS126900.pdf>
- ⁷ California Department of Food and Agriculture, Fertilizer Research and Education Program, UC Davis. California Crop Fertilization Guidelines. <https://www.cdffa.ca.gov/is/ffldrs/frep/FertilizationGuidelines/> accessed October 9th, 2020.
- ⁸ Gärdenäs, A.I., Hopmans, J.W., Hanson, B.R. & Šimunek, J. (2005). Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. *Agricultural Water Management*. 74:219–242.
- ⁹ Barakat, M., Cheviron, B., & Angulo-Jaramillo, R. (2016). Influence of the irrigation technique and strategies on the nitrogen cycle and budget: A review. *Agricultural Water Management*, 178, 225–238. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.09.027>
- ¹⁰ Gheysari, M., Mirlatifi, S.M., Homaei, M., Asadi, M.E., & Hoogenboom, G. (2009). Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agricultural water management* 96.6: 946-954.
- ¹¹ Thapa, R., Mirsky, S. B., & Tully, K. L. (2018). Cover crops reduce nitrate leaching in agroecosystems: A global meta-analysis. *Journal of environmental quality*, 47(6), 1400-1411.
- ¹² Bastani, M. & Harter, T. (2020). Effects of upscaling temporal resolution of groundwater flow and transport boundary conditions on the performance of nitrate-transport models at the regional management scale. *Hydrogeology Journal*, 28(4), 1299–1322. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02133-x>
- ¹³ O'Geen, A.T., Saal, M., Dahlke, H., Doll, D., Elkins, R., Fulton, A., Fogg, G., Harter, T., Hopmans, J. W., Ingels, C., Niederholzer, F., Solis, S. S., Verdegaal, P., & Walkinshaw, M. (2015). Soil suitability index identifies potential areas for groundwater banking on agricultural lands. *California Agriculture*, 69(2), 75–84. <https://doi.org/10.3733/ca.v069n02p75>
- ¹⁴ Dahlke H, Brown A, Orloff S, Putnam D, & O'Geen T. (2018). Managed winter flooding of alfalfa recharges groundwater with minimal crop damage. *California Agriculture* 72(1):65-75. <https://doi.org/10.3733/ca.2018a0001>.
- ¹⁵ Heinrichs, D. H. (1972). Root-zone temperature effects on flooding tolerance of legumes. *Canadian Journal of Plant Science* 52.6 (1972): 985-990.
- ¹⁶ Bachand P.A., Roy S.B., Stern, N., Choperena, J., Cameron, D., & Horwath, W. (2016). On-farm flood capture could reduce groundwater overdraft in Kings River Basin." *California Agriculture* 70.4: 200-207.
- ¹⁷ Baram, S., Couvreur, V., Harter, T., Read, M. Brown, P., Hopmans, J., & Smart, D. (2016). Assessment of orchard N losses to groundwater with a vadose zone monitoring network. *Agricultural Water Management*. 172. 83-95.
- ¹⁸ Waterhouse, H., Bachand, S., Mountjoy, D., Choperena, J., Bachand, P.A.M., Dahlke, H.E., & Horwath, W.R. (2020). Agricultural managed aquifer recharge – water quality factors to consider. *California Agriculture*, 74(3):144-154 <https://doi.org/10.3733/ca.2020a0020>
- ¹⁹ Murphy, N., Waterhouse, H., & Dahlke, H.E. (In Prep). Influence of Agricultural Managed Aquifer Recharge on Nitrate Transport – the Role of Soil Type and Flooding Frequency.
- ²⁰ Kocis, T. N. & Dahlke, H. E. (2017). Availability of high-magnitude streamflow for groundwater banking in the Central Valley, California. *Environmental Research Letters*, 12(8).
- ²¹ Environmental Defense Fund. (2019). Protecting Groundwater Quality in California: Management Considerations for Avoiding Naturally Occurring and Emerging Contaminants. <https://www.edf.org/sites/default/files/documents/groundwater-contaminants-report.pdf>
- ²² Community Water Center, Self-Help Enterprises, Leadership Counsel for Justice and Accountability. Framework for a Drinking Water Well Impact Mitigation Program. https://d3n8a8pro7vhm.cloudfront.net/communitywatercenter/pages/3928/attachments/original/1590776730/Well_Mitigation_Print.pdf?1590776730