

Agenda de investigación-innovación: el agua como recurso estratégico en el Altiplano Potosino (Estudio de caso: Salinas, S.L.P.)

Salinas-López, Carmen Adriana¹; Ruiz-Vera, Víctor Manuel^{1*}; Cadena-Íñiguez, Jorge¹; González-Hernández, Víctor Arturo²; Gómez-González, Adrián¹; Calzada-Lara, Gabriel¹

¹ Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Posgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, C.P. 78620, México.

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad - Fisiología Vegetal. Carr. México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Méx. C.P. 56264, México.

* Autor para correspondencia: vmanuel@colpos.mx

Contexto y problema prioritario

A nivel global, el agua dulce disponible representa menos del 3% del total del agua del planeta y su distribución es desigual. El crecimiento poblacional, la expansión agrícola y el cambio climático han intensificado la presión sobre los recursos hídricos, generando escenarios de disparidad entre la demanda y la disponibilidad de agua en diversas regiones del mundo.

En México, aproximadamente el 60% del territorio presenta condiciones de aridez o semi aridez, lo que implica una alta dependencia de otras fuentes como aguas subterráneas o corrientes superficiales y por tanto vulnerabilidad ante la variabilidad climática. La sobreexplotación de los acuíferos y la disminución en la calidad del agua constituyen problemáticas que requieren una atención prioritaria en varias regiones del país.

En el estado de San Luis Potosí, particularmente en el Altiplano Potosino, el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento para consumo humano y producción agrícola bajo riego. Las condiciones climáticas semiáridas, combinadas con el uso agrícola y el crecimiento urbano, generan una presión cada vez mayor sobre la disponibilidad y calidad del recurso. En el municipio de Salinas, esta situación se manifiesta en una dependencia casi exclusiva de pozos profundos, variabilidad en la calidad del agua y creciente demanda para uso doméstico y productivo. La ausencia de una visión integral que articule las dimensiones de salud, producción y ambiente, limita la capacidad de las instituciones gubernamentales y de la sociedad para diseñar estrategias sostenibles de gestión hídrica. Frente a este desafío, la presente Agenda de Investigación propone la integración de estos

Cómo citar: Salinas-López, C. A., Ruiz-Vera, V. M., Cadena-Íñiguez, J., González-Hernández, V. A., Gómez-González, A., & Calzada-Lara, G. (2026). Agenda de investigación-innovación: el agua como recurso estratégico en el Altiplano Potosino (Estudio de caso: Salinas, S.L.P.). *Agro-Divulgación*, 6(1). <https://doi.org/10.54767/ad.v6i1.637>

Editores académicos: Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Íñiguez.

Publicado en línea: Mayo 2026.

Agro-Divulgación, 6(1). Enero-Febrero. 2026. pp: 145-163.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



tres ejes fundamentales mediante un enfoque sistémico, que reconoce al agua como elemento transversal del desarrollo territorial.

Cada línea de investigación generará información específica y especializada; sin embargo, es su articulación eficaz, basada en evidencia científica, la que permitirá identificar las interrelaciones fundamentales entre las diferentes líneas de investigación, lo que nos lleve a la construcción de una estrategia de gestión hídrica idónea para la región. El diagrama conceptual que se presenta a continuación sintetiza la estructura del modelo propuesto, mostrando la interrelación entre ejes temáticos, líneas de investigación, gestión estratégica y transferencia del conocimiento, orientados hacia el desarrollo sostenible del Altiplano Potosino.



EJE 1. CONSUMO HUMANO

Línea de Investigación 1. Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y su relación con indicadores de salud en la población de Salinas, S.L.P.

Contexto general del tema

El municipio de Salinas se localiza en el Altiplano Potosino, una región caracterizada por clima semiárido, alta dependencia de agua subterránea y limitada disponibilidad de fuentes superficiales. En este contexto, el abastecimiento para consumo humano proviene principalmente de pozos profundos, lo que puede implicar presencia de sales, dureza elevada, flúor, arsénico u otros minerales característicos de zonas áridas. Diversos estudios en regiones similares del norte y centro de México han reportado problemas de calidad del

agua asociados a efectos dermatológicos, fluorosis dental y alteraciones gastrointestinales. Sin embargo, en Salinas no existe información sistematizada que relacione directamente la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua con indicadores de salud local.

Por ello, es necesario evaluar científicamente si las características del agua potable en Salinas representan un riesgo para la salud pública, particularmente en manifestaciones cutáneas como manchas en la piel, irritaciones o resequedad crónica.

Objetivo general

- Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua destinada al consumo humano en Salinas, S.L.P., y determinar su posible relación con afectaciones en la salud de la población.

Objetivos específicos

- Elaborar un sistema de información geográfica de la calidad del agua de los principales sistemas de abastecimiento (pozos y red domiciliaria).
- Identificar la prevalencia de problemas dermatológicos y dentales en la población local.
- Correlacionar estadísticamente la calidad del agua (pH, conductividad eléctrica, dureza total, sólidos disueltos totales, flúor, arsénico, nitratos y coliformes) con indicadores de salud reportados.
- Determinar las acciones necesarias para los casos específicos que no se ajusten a la normatividad mexicana vigente (NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de la calidad del agua).

Metas

- Muestrear al menos 50 puntos estratégicos de abastecimiento en el municipio.
- Analizar mínimo 8 parámetros fisicoquímicos y 2 microbiológicos.
- Aplicar encuestas de salud en al menos 200 hogares.
- Generar un sistema de información geográfica de calidad del agua y riesgo sanitario en Salinas.
- Publicar un informe técnico con recomendaciones de política pública para el municipio de Salinas.

Hipótesis

- La concentración elevada de sales y/o flúor en el agua subterránea de Salinas está asociada con alteraciones dermatológicas y dentales en la población.

Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿La calidad del agua en Salinas repercute en la salud y calidad de vida de los usuarios?	¿Existe relación entre la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano y la presencia de alteraciones en la salud de la población de Salinas, S.L.P.?	Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y su relación con indicadores de salud en la población de Salinas, S.L.P.	<p>Objetivo General: Evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano y determinar su relación con indicadores de salud en la población.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar la calidad fisicoquímica y microbiológica según fuente de abastecimiento. - Determinar perfil mineral del agua (dureza, flúor, arsénico, nitratos). - Identificar prevalencia de alteraciones dermatológicas y dentales en usuarios. - Correlacionar parámetros de calidad del agua con efectos en salud y límites normativos. 	<p>Independientes: fuente de agua (pozo, red), concentración de minerales, dureza, conductividad eléctrica, presencia microbiana.</p> <p>Dependientes: presencia de manchas en piel, irritaciones, fluorosis dental, malestares gastrointestinales, percepción de calidad de vida.</p>	Estadística descriptiva; ANOVA para comparar fuentes; análisis de correlación (Pearson o Spearman); regresión lineal o logística para evaluar asociación entre calidad del agua e indicadores de salud.	Se discutirá la relación entre calidad del agua y efectos potenciales en la salud, considerando límites permisibles establecidos por normatividad mexicana. Se analizará el riesgo sanitario y la necesidad de mejoras en sistemas de potabilización y monitoreo.	Artículo científico; informe técnico (con ISBN) para autoridades municipales; tesis de posgrado; base de datos regional de calidad del agua; SIG; propuesta de mejora en sistemas de tratamiento.

Línea de Investigación 2. Evaluación de un sistema de captación y purificación de agua de lluvia para consumo humano en Salinas, S.L.P.

Contexto general del tema

El municipio de Salinas se ubica en una zona semiárida con alta variabilidad interanual de precipitación y fuerte dependencia del agua subterránea para consumo humano. La sobreexplotación de acuíferos y la calidad variable del agua de pozo han generado la necesidad de buscar fuentes alternativas y complementarias.

La captación de agua de lluvia representa una estrategia viable en regiones con infraestructura limitada y altos costos de extracción profunda. Sin embargo, en Salinas no existe un modelo técnico-económico que evalúe la factibilidad de captación, purificación y eventual comercialización local de agua de lluvia como producto embotellado.

La implementación de sistemas de captación podría contribuir a disminuir la presión sobre los acuíferos, mejorar la calidad del agua disponible y generar modelos comunitarios de microempresa para la venta de agua purificada. El diseño del sistema piloto deberá considerar los lineamientos establecidos en la NOM-127-SSA1-2021 y la NMX-AA-164-SCFI-2013, garantizando el cumplimiento en calidad y especificaciones técnicas.

Objetivo general

- Evaluar la viabilidad técnica, sanitaria, hidráulica y económica de un sistema integral de captación pluvial para consumo humano en Salinas, S.L.P., considerando eficiencia de captación, estabilidad fisicoquímica, control de pérdidas y potencial de comercialización local.

Objetivos específicos

- Estimar el potencial real de captación considerando la precipitación media anual, el periodo de retorno, la relación intensidad-duración-frecuencia de la precipitación y la eficiencia efectiva del sistema.
- Determinar el balance hídrico del sistema (captación, almacenamiento y pérdidas).
- Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica pre y post tratamiento.
- Analizar el comportamiento de sales disueltas y su estabilidad durante almacenamiento.
- Evaluar la uniformidad y eficiencia del proceso de tratamiento.
- Determinar los indicadores de rentabilidad del sistema (relación costo-beneficio, tasa interna de retorno y retorno de la inversión).

Metas

- Determinar el volumen potencial de captación anual de agua de lluvia por metro cuadrado de techo.
- Instalar al menos un sistema piloto demostrativo.
- Cumplir con la normatividad oficial mexicana de agua para consumo humano post-tratamiento.

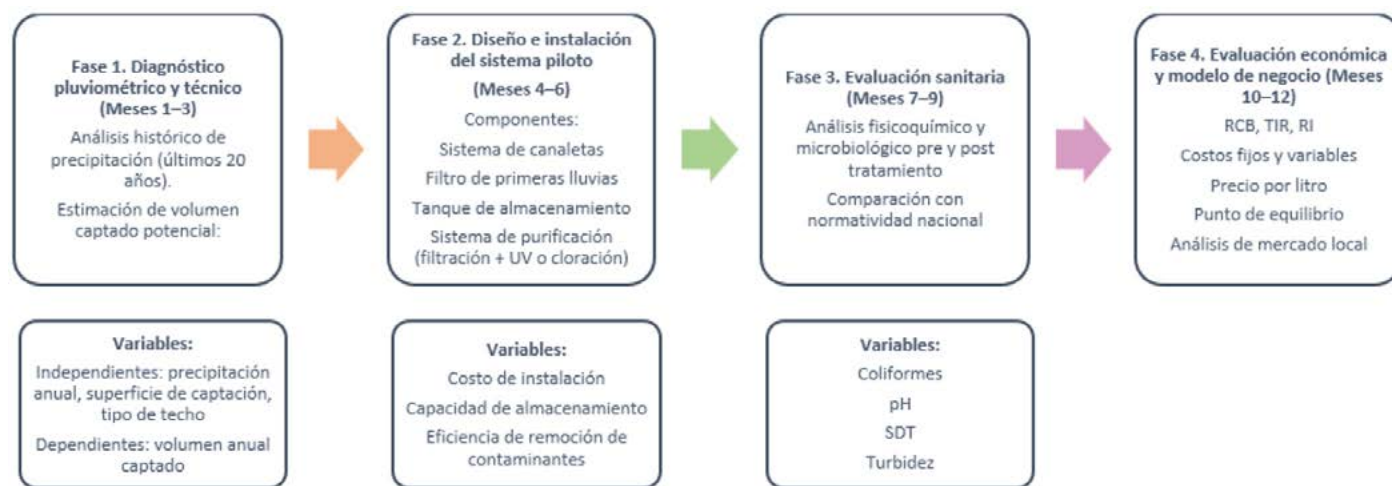
- Elaborar el análisis de rentabilidad del modelo de negocio.
- Generar una propuesta escalable a nivel municipal.

Hipótesis

- La captación y purificación de agua de lluvia en Salinas es técnica y sanitariamente viable, y puede representar una alternativa económicamente rentable para el abastecimiento y comercialización local.

Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿La captación de agua de lluvia puede ser una alternativa viable para consumo humano en Salinas?	¿Es técnica, sanitaria y económicamente viable la captación, purificación y comercialización de agua de lluvia como fuente alternativa para consumo humano en Salinas, S.L.P.?	Evaluación de un sistema de captación y purificación de agua de lluvia para consumo humano en Salinas, S.L.P.	Objetivo general: Evaluar la viabilidad técnica, sanitaria y económica del uso de agua de lluvia para consumo humano. Específicos: - Estimar el volumen potencial de captación anual. - Determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica pre y post tratamiento. - Evaluar costos de instalación y operación. - Analizar la factibilidad de comercialización local.	Independientes: precipitación anual, superficie de captación, tipo de techo, sistema de tratamiento. Dependientes: volumen captado, calidad del agua (pH, SDT, coliformes), costo por litro, rentabilidad.	Estadística descriptiva; análisis comparativo pre y post tratamiento; análisis costo-beneficio; tasa interna de retorno; retorno de la inversión; punto de equilibrio; modelación de escenarios de captación anual.	Se analizará la viabilidad del sistema considerando la calidad del agua tratada, normatividad vigente, costos de implementación y potencial reducción de presión sobre acuíferos. Se evaluará su pertinencia como alternativa comunitaria y modelo productivo.	Prototipo de sistema piloto (desarrollo tecnológico); manual técnico de captación; artículo científico; modelo de negocio replicable; solicitud de modelo de utilidad (en su caso); tesis de licenciatura o posgrado.

EJE 2. PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua como insumo estratégico para la seguridad y rentabilidad agrícola en el Altiplano Potosino

Línea de Investigación 3. Evaluación del balance hídrico en sistemas agrícolas bajo riego en el Altiplano Potosino

Contexto general del tema

En el Altiplano Potosino, particularmente en el municipio de Salinas, la producción agrícola bajo riego depende completamente del riego con agua subterránea. No obstante, la eficiencia de aplicación suele ser limitada debido al uso de métodos tradicionales, deficiente control de láminas y baja uniformidad de distribución. En condiciones semiáridas, la evaporación elevada favorece la acumulación progresiva de sales en el perfil del suelo. Cuando no se realiza un manejo adecuado del balance hídrico (incluyendo láminas de lavado técnicamente calculadas y control de pérdidas por percolación profunda) se incrementa el riesgo de salinización y disminuye la productividad del cultivo, lo cual se ve agravado por la calidad del agua subterránea, considerando que en esta zona existe un número elevado de pozos con alta concentración de sales.

En la región no existen evaluaciones sistemáticas actualizadas que integren la eficiencia real de aplicación del riego, coeficientes de uniformidad, fracción de lavado requerida, pérdidas por percolación y dinámica de sales en el perfil del suelo.

El estudio de estos factores permitirá optimizar el uso del agua, conservar la calidad del suelo y mejorar la rentabilidad agrícola.

Objetivo general

- Evaluar el balance hídrico en cultivos bajo riego por goteo, priorizando la eficiencia de aplicación y el control de sales en los tipos de suelo predominantes en los sistemas de producción agrícola del municipio de Salinas.

Objetivos específicos

- Comparar la eficiencia de aplicación y el coeficiente de uniformidad en sistemas de riego por goteo y gravedad para los tres tipos de suelo predominantes en la región.
- Estimar la fracción de lavado requerida en función de la calidad del agua y la tolerancia a la salinidad, para cultivos básicos y alternativos.
- Determinar la demanda hídrica de cultivos básicos y alternativos con base en la evapotranspiración, la humedad aprovechable del suelo y el tipo de cultivo.
- Evaluar la acumulación y distribución de sales en el perfil de los suelos predominantes en los sistemas de producción agrícola.
- Analizar la relación entre la lámina aplicada, la uniformidad del riego y la concentración de sales en la zona de raíces.
- Proponer estrategias de optimización del manejo del riego en los sistemas agrícolas del municipio de Salinas.

Metas

- Evaluar el balance hídrico en al menos tres tipos de suelo representativos.
- Elaborar un diagnóstico de salinidad en parcelas piloto.
- Generar recomendaciones técnicas de manejo del agua de riego.

Hipótesis

- La estimación adecuada del balance de sales y agua en el suelo, junto con una eficiencia y uniformidad de aplicación del riego, permiten optimizar el uso del agua en los sistemas de producción agrícola de Salinas.

Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿El manejo actual del riego está afectando la eficiencia del uso del agua y la calidad del suelo en Salinas?	¿Cómo influye la eficiencia del riego en la salinización del suelo en sistemas agrícolas del Altiplano Potosino?	Evaluación del balance hídrico en sistemas agrícolas bajo riego en el Altiplano Potosino	<p>Objetivo general: Evaluar el balance hídrico bajo en cultivos bajo riego por goteo, priorizando la eficiencia de aplicación y el control de sales en los tipos de suelo predominantes en los sistemas de producción agrícola del municipio de Salinas.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comparar la eficiencia de aplicación y el coeficiente de uniformidad en sistemas de riego por goteo y gravedad para los tres tipos de suelo predominantes en la región. - Estimar la fracción de lavado requerida en función de la calidad del agua y la tolerancia a la salinidad, para cultivos básicos y alternativos. - Determinar la demanda hídrica de cultivos básicos y alternativos con base en la evapotranspiración, la humedad aprovechable del suelo y el tipo de cultivo. - Evaluar la acumulación y distribución de sales en el perfil de los suelos predominantes en los sistemas de producción agrícola. - Analizar la relación entre la lámina aplicada, la uniformidad del riego y la concentración de sales en la zona de raíces. - Proponer estrategias de optimización del manejo del riego en los sistemas agrícolas del municipio de Salinas. 	<p>Independientes: Tipo de riego (gravedad, goteo), lámina aplicada, frecuencia de riego, calidad del agua (CE, pH, RAS), textura del suelo, humedad aprovechable, CC, PMP, Dap, ETc</p> <p>Dependientes: balance hídrico, distribución de sales en el perfil, rendimiento del cultivo, productividad del agua (kg/m³)</p> <p>Otras: Coeficiente de uniformidad (CU), eficiencia de aplicación (%), fracción de lavado estimada, contenido volumétrico de humedad, flujo profundo (pérdidas por percolación)</p>	<p>Estadística descriptiva: ANOVA para comparación entre sistemas</p> <p>Correlación y regresión múltiple</p> <p>Modelación del balance hídrico</p> <p>Análisis de eficiencia técnica</p> <p>Índices de productividad del agua</p>	<p>Se analizará la relación entre prácticas de riego y degradación del suelo por salinidad, así como el balance hídrico en el suelo proponiendo mejoras técnicas para incrementar la eficiencia del riego, la sostenibilidad productiva y reducir la presión sobre los acuíferos.</p>	<p>Manual técnico de eficiencia de riego; artículo científico; artículo de divulgación; modelo de optimización hídrica; tesis; folletos para productores.</p>

Línea de Investigación 4. Respuesta de los cultivos a la salinidad del agua de riego

Contexto general

En regiones semiáridas como Salinas, la disponibilidad de agua de buena calidad para uso agrícola es limitada, lo que obliga al uso de fuentes con alta concentración de sales. La salinidad del agua de riego es uno de los principales factores que afectan la productividad agrícola, ya que influye en la absorción de agua por las plantas, la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo fisiológico de los cultivos.

La respuesta de los cultivos a la salinidad varía según la especie, etapa fenológica y condiciones de manejo, por lo que es necesario determinar la salinidad umbral y la pendiente de reducción del rendimiento bajo condiciones locales. Actualmente, existe una limitada información específica para el Altiplano Potosino que permita establecer criterios técnicos para el uso agrícola de agua con diferente calidad.

Objetivo general

- Evaluar el efecto de la salinidad sobre la productividad de los cultivos en diferentes sistemas de producción.

Objetivos específicos

- Caracterizar la calidad fisicoquímica del agua utilizada en la agricultura de Salinas de Hgo. SLP.
- Determinar la salinidad umbral y la pendiente de reducción del rendimiento de cultivos básicos y cultivos alternativos para los tipos de salinidad del agua existentes en la región del altiplano potosino-zacatecano.
- Identificar estrategias de manejo del agua a nivel cuenca que permitan mantener la productividad agrícola.
- Generar criterios técnicos con base en la calidad del agua para el uso agrícola sostenible en la región.

Metas

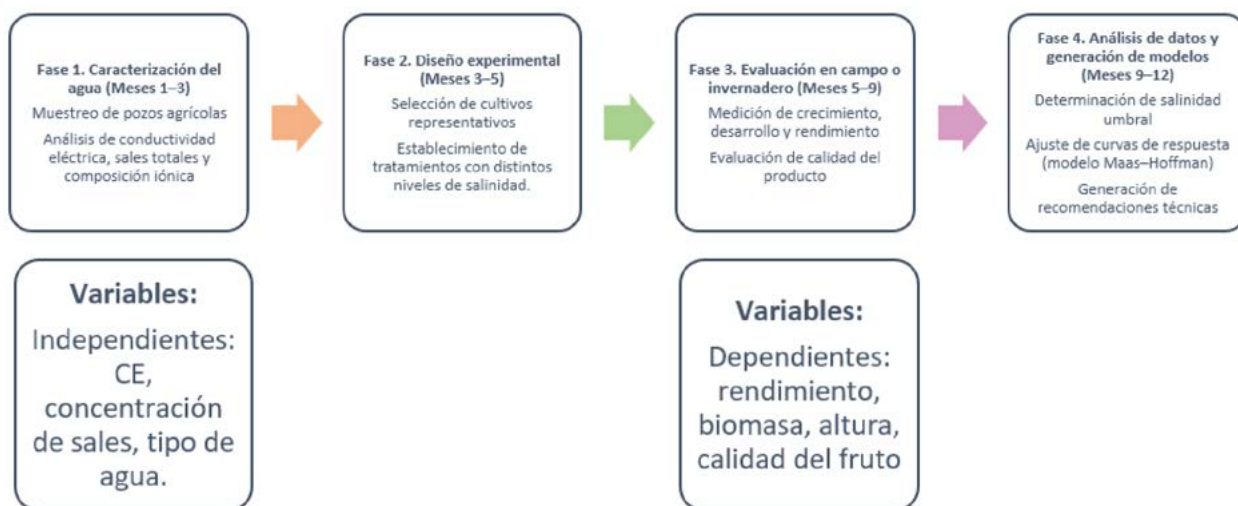
- Obtener una zonificación de cultivos en función de la concentración de sales de los pozos de la región.
- Generación de información científica específica para la región sobre la respuesta a la salinidad de los cultivos que generalmente se usan en la región y aquellos que potencialmente pueden ser más redituables.
- Propuestas de manejo del agua orientadas a mejorar la productividad agrícola en regiones con escasez hídrica.

Hipótesis

- El incremento en la salinidad del agua de riego reduce significativamente el rendimiento de los cultivos, existiendo una salinidad umbral a partir de la cual la productividad disminuye de manera proporcional.

Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿La calidad del agua utilizada en la agricultura influye en la productividad de los cultivos?	¿Cómo responden los cultivos a diferentes niveles de salinidad del agua?	Respuesta de los cultivos a la salinidad del agua de riego	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar el efecto de la calidad del agua, particularmente la salinidad y el perfil mineral, sobre la productividad de los cultivos bajo diferentes sistemas de producción.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> -Caracterizar la calidad fisicoquímica del agua utilizada en la agricultura. -Determinar la respuesta productiva de los cultivos a distintos niveles de salinidad del agua. -Identificar estrategias de manejo del agua que permitan mantener la productividad agrícola. -Generar criterios técnicos para el uso de agua de calidad variable en la agricultura. 	<p>Variable independiente:</p> <p>Calidad del agua de riego (salinidad, conductividad eléctrica, concentración de sales y minerales).</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>Productividad del cultivo (rendimiento, biomasa, crecimiento,).</p> <p>Variables de control: Tipo de cultivo, suelo, sistema de riego, manejo agronómico, condiciones climáticas.</p>	<p>Estadística descriptiva (media, desviación estándar).</p> <p>Análisis de varianza (ANOVA) para comparar la productividad entre distintos niveles de salinidad y prueba post hoc para identificar diferencias significativas.</p> <p>Análisis de correlación o regresión entre salinidad del agua y rendimiento del cultivo.</p>	<p>Interpretación de los resultados obtenidos en relación con el efecto de la salinidad del agua sobre la productividad de los cultivos, comparándolos con estudios previos.</p> <p>Se analizan las implicaciones agronómicas, ambientales y económicas del uso de agua de calidad variable y se proponen recomendaciones para un manejo sostenible del recurso hídrico en la agricultura.</p>	<p>Informe técnico o artículo científico.</p> <p>Manual o guía de buenas prácticas para el uso de agua de riego con diferente calidad.</p> <p>Base de datos de calidad del agua y productividad agrícola.</p>

Línea de Investigación 5. Captación de agua de lluvia para la producción de cultivos de alta rentabilidad en sistemas hidropónicos

Contexto general

En el municipio de Salinas, ubicado en el Altiplano Potosino, la agricultura enfrenta limitaciones importantes relacionadas con la disponibilidad y calidad del agua. El uso predominante de agua subterránea, caracterizada en muchos casos por un contenido elevado de sales puede afectar el desarrollo vegetal, disminuir el rendimiento y comprometer la calidad del producto final en diversos cultivos de la región.

La captación de agua de lluvia representa una alternativa sustentable para mejorar la calidad del agua de riego. Al mezclar agua pluvial con agua de pozo, es posible reducir la salinidad del agua y de la solución nutritiva en cultivos hidropónicos, mejorar la eficiencia hídrica y disminuir el impacto ambiental derivado de la sobreexplotación de acuíferos. Si bien esta estrategia podría aplicarse a cualquier cultivo hortícola, resulta estratégico vincular la implementación de sistemas de captación con cultivos de alta rentabilidad que permitan recuperar en menor tiempo los costos de instalación de sistemas altamente eficientes (como los hidropónicos en agricultura protegida). Entre las opciones productivas adaptables a la región, la fresa (*Fragaria × ananassa*) destaca por su alto valor comercial por metro cuadrado, su rápida recuperación de inversión pero su alta sensibilidad a la salinidad, lo que la convierte en un cultivo idóneo para evaluar el impacto agronómico y económico de las mezclas de agua de lluvia y agua de pozo.

Actualmente, no existen estudios locales que determinen las proporciones óptimas de mezcla entre agua de lluvia y agua de pozo, ni su impacto agronómico y económico bajo condiciones específicas del Altiplano Potosino.

Objetivo general

- Determinar la viabilidad agronómica y económica del uso de mezclas de agua de lluvia y agua de pozo en el cultivo de fresa bajo condiciones del Altiplano Potosino.

Objetivos específicos

- Caracterizar químicamente el agua de lluvia y de pozo.
- Evaluar diferentes proporciones de mezcla (25-50-75%).
- Medir el impacto en el crecimiento de la planta y el rendimiento y calidad de fruto.
- Determinar los indicadores económicos del sistema de producción (relación costo-beneficio, punto óptimo técnico-económico y tasa interna de retorno).

Metas

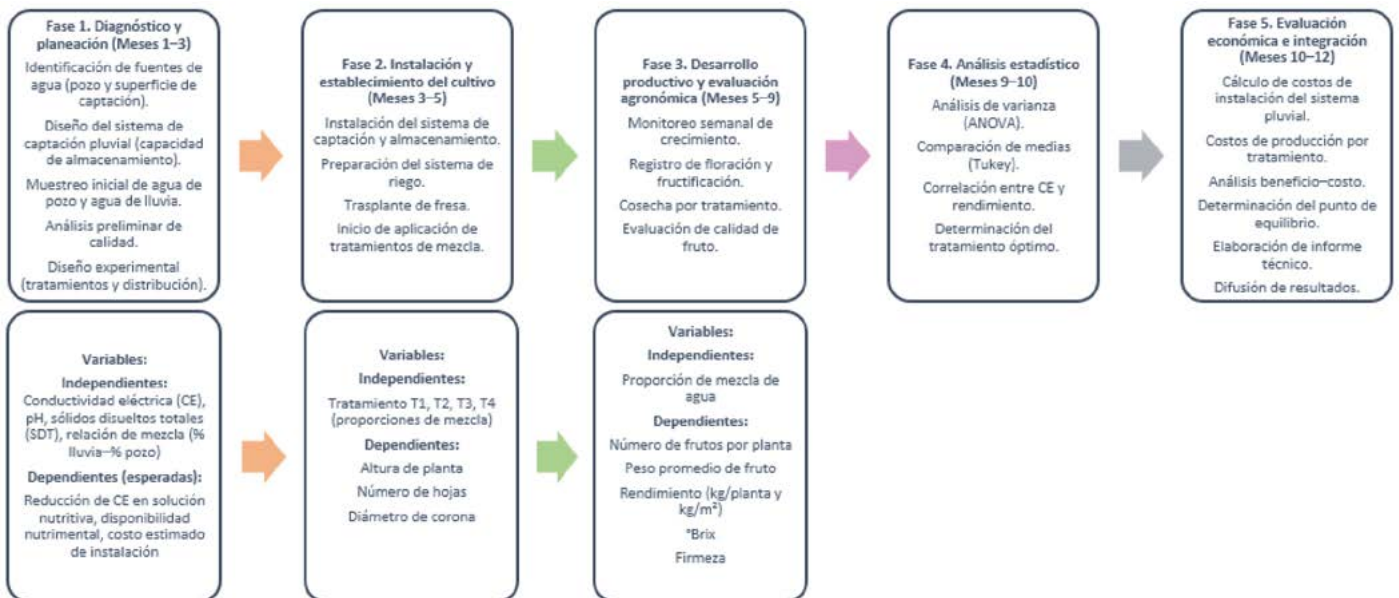
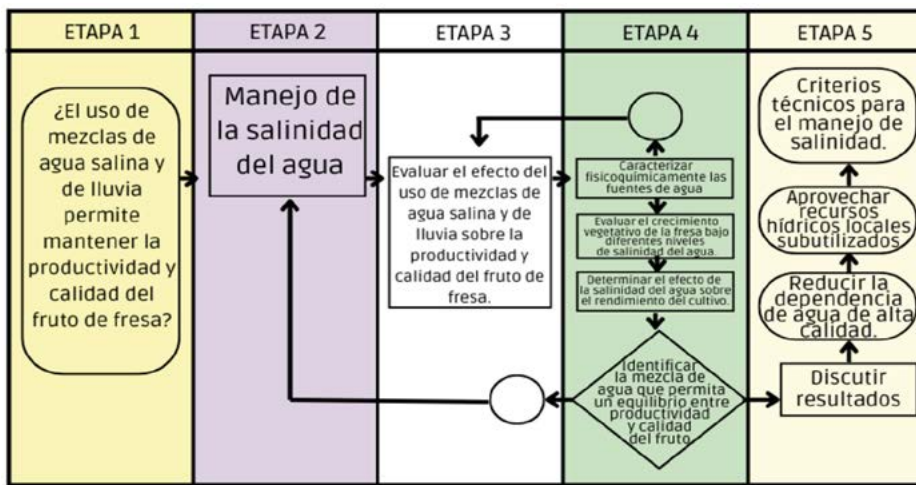
- Establecer un ensayo experimental con al menos 4 proporciones de agua de lluvia y agua de pozo.
- Determinar el rendimiento de fruto para cada mezcla de agua (kg/planta y kg/m²).
- Analizar la calidad del fruto (°Brix y firmeza).
- Determinar la relación entre la conductividad eléctrica de la solución nutritiva y el rendimiento.

Hipótesis

- La mezcla de agua de lluvia con agua de pozo mejora el rendimiento y calidad del fruto de fresa en comparación con el uso exclusivo de agua subterránea.

Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿Mezclar agua de lluvia con agua de pozo mejora el rendimiento y calidad de la fresa?	¿Cuál es la proporción óptima de mezcla de agua de lluvia y agua de pozo que maximiza el rendimiento y la calidad del fruto de fresa bajo condiciones del Altiplano Potosino?	Captación de agua de lluvia para la producción de cultivos de alta rentabilidad en sistemas hidropónicos	Objetivo general: Determinar la viabilidad técnica y económica del uso de mezclas de agua de lluvia y agua de pozo en el cultivo de fresa. Objetivos específicos: - Caracterizar químicamente ambas fuentes de agua. - Evaluar diferentes proporciones de mezcla. - Medir el impacto en rendimiento y calidad de fruto (°Brix, firmeza). - Evaluar costo-beneficio del sistema.	Independientes: proporción de mezcla (% lluvia–pozo), CE del agua. Dependientes: rendimiento (kg/planta), °Brix, firmeza, tamaño de fruto, rentabilidad.	Diseño experimental completamente al azar; ANOVA; prueba de comparación de medias (Tukey); análisis de regresión entre CE y rendimiento; análisis costo–beneficio.	Se discutirá el efecto de la reducción de salinidad en el desarrollo fisiológico del cultivo y su impacto económico, posicionando la captación de lluvia como estrategia sostenible y rentable.	Parcela demostrativa; artículo científico; protocolo técnico de la calidad del agua en función de las mezclas; modelo productivo replicable; posible registro de modelo de manejo; tesis.

Línea de Investigación 6. Optimización del uso del agua en sistemas de agricultura protegida bajo condiciones del Altiplano Potosino.

Contexto general

La agricultura protegida (invernaderos y macrotúneles) se ha incrementado en el centro-norte de México por su alta productividad y eficiencia. Sin embargo, estos sistemas demandan manejo preciso del agua y nutrientes. En regiones semiáridas como Salinas, el uso intensivo de este recurso puede incrementar la presión sobre los acuíferos si no se implementan estrategias de recirculación y optimización.

Objetivo general

- Evaluar el uso eficiente del agua en sistemas de agricultura protegida y acuaponía en Salinas y proponer modelos de optimización hídrica.

Objetivos específicos

- Cuantificar el consumo hídrico por ciclo productivo de cultivos de alta rentabilidad bajo condiciones de invernadero.
- Evaluar la eficiencia de sistemas de riego presurizado en agricultura protegida.
- Determinar la factibilidad de recirculación de drenajes en cultivos hidropónicos.
- Estimar la productividad del agua en agricultura protegida.

- Evaluar la optimización del uso del agua de un prototipo de sistema acuapónico en Salinas, SLP.

Metas

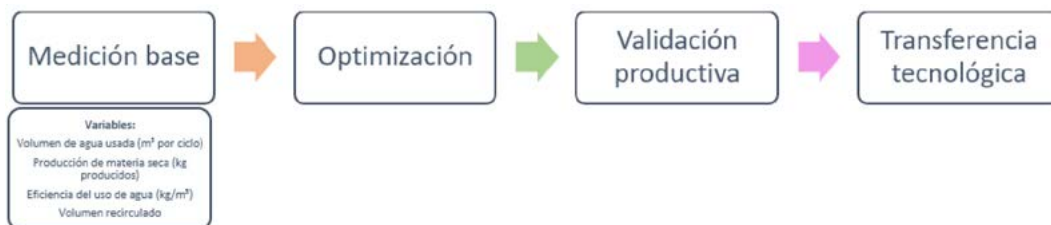
- Determinar la huella hídrica del sistema de agricultura protegida.
- Reducir al menos 15% el consumo mediante optimización del uso del agua.
- Generar un protocolo de manejo hídrico con parámetros de optimización que sea transferido a productores.

Hipótesis

- La implementación de estrategias de recirculación y control automatizado puede reducir significativamente el consumo de agua en agricultura protegida sin afectar el rendimiento de los cultivos.

Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	VARIABLES	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿Se puede producir más materia seca con menos agua en sistemas protegidos y de circuito cerrado?	¿Cómo influye la implementación de estrategias de recirculación y control automatizado en la eficiencia del uso del agua en agricultura protegida y acuaponía en Salinas?	Optimización del uso del agua en sistemas de agricultura protegida bajo condiciones del Altiplano Potosino.	Objetivo general: Evaluar la optimización del uso del agua en sistemas de agricultura protegida y acuaponía. Objetivos específicos: - Cuantificar el consumo hídrico por ciclo productivo. - Evaluar la eficiencia de riego presurizado. - Analizar la factibilidad de recirculación de drenajes en agricultura protegida y acuaponía. - Determinar la productividad por m ³ de agua aplicado.	Independientes: tipo de sistema (con/sin recirculación), frecuencia de riego, automatización. Dependientes: consumo total (m ³), rendimiento (kg/m ²), eficiencia del uso del agua (kg/m ³), volumen recirculado.	Estadística descriptiva; comparación de tratamientos (ANOVA); análisis de eficiencia hídrica; modelación de reducción porcentual de consumo.	Se evaluará la capacidad de los sistemas protegidos para reducir el consumo de agua sin afectar la productividad, destacando su papel en la sostenibilidad agrícola regional.	Protocolo de manejo hídrico; artículo científico; modelo demostrativo de agricultura protegida; modelo demostrativo de acuaponía; capacitación técnica; tesis.

EJE 3. AMBIENTE

El agua como regulador ecológico y factor de sostenibilidad territorial

Línea de Investigación 7. Evaluación del impacto de las prácticas agrícolas en la concentración de nutrientes (N y P) y pesticidas en agua subterránea del Altiplano Potosino.

Contexto general

En regiones agrícolas semiáridas, el uso intensivo de pesticidas y fertilizantes nitrogenados y fosfatados puede generar lixiviación de nutrientes hacia cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Aunque el Altiplano Potosino no posee cuerpos superficiales permanentes, el arrastre de nutrientes hacia acuíferos representa un riesgo ambiental y sanitario.

El exceso de nitratos y residuos químicos de pesticidas presentes en agua potable puede asociarse con riesgos a la salud, mientras que el fósforo contribuye a procesos de eutrofización cuando existen cuerpos receptores. Actualmente no se cuenta con un monitoreo sistemático regional que evalúe la carga real de nutrientes y residuos de pesticidas derivados de actividades agrícolas.

Objetivo general

- Determinar la concentración de nutrientes y pesticidas en fuentes de agua y su relación con actividades agrícolas.

Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones de nitratos, nitritos, amonio, fosfatos y residuos de insecticidas organofosforados (clorpirifos, diazinón y metamidofos), herbicidas (2,4-D y ametrina) y fungicidas (piraclostrobina).
- Identificar las zonas agrícolas con mayor riesgo de lixiviación contaminantes de origen agrícola.
- Evaluar las prácticas de fertilización y uso de pesticidas actuales (dosis y frecuencia de aplicación).
- Estimar cargas potenciales de contaminación.
- Proponer estrategias de manejo nutrimental y control de plagas y enfermedades eficientes con menor impacto ambiental.

Metas

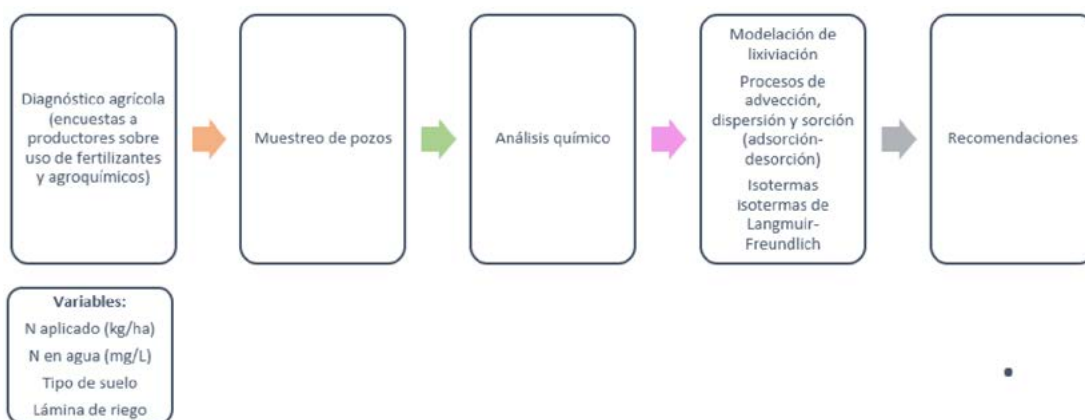
- Muestrear al menos 15 puntos estratégicos.
- Generar un mapa de riesgo de contaminación de mantos freáticos por nutrientes y pesticidas.
- Estimar el balance de N aplicado vs. N lixiviado.
- Elaborar un manual de buenas prácticas agrícolas en términos de fertilización y control de plagas y enfermedades.

Hipótesis

- El uso intensivo de fertilizantes y pesticidas sin un manejo adecuado en sistemas agrícolas del Altiplano incrementa la concentración de nitratos, nitritos y residuos químicos de pesticidas en el agua subterránea.

Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿La actividad agrícola está contaminando el agua con exceso de fertilizantes y pesticidas?	¿Existe relación entre las prácticas de fertilización agrícola y el incremento de nitratos, nitritos, fosfatos y pesticidas en aguas subterráneas de Salinas, S.L.P.?	Evaluación del impacto de las prácticas agrícolas en la concentración de nutrientes (N y P) y pesticidas en agua subterránea del Altiplano Potosino.	Objetivo general: Determinar la concentración de nutrientes y pesticidas en fuentes de agua y su relación con actividades agrícolas. Objetivos específicos: - Cuantificar nitratos, nitritos, amonio, fosfatos y pesticidas en agua subterránea. - Identificar zonas con mayor riesgo de lixiviación. - Analizar prácticas actuales de fertilización y uso de agroquímicos. - Estimar carga potencial de contaminación. - Proponer estrategias de manejo nutrimental y control eficiente de plagas y enfermedades.	Independientes: dosis de fertilización (kg/ha), tipo de cultivo, lámina de riego, tipo de suelo. Dependientes: concentración de nitratos, nitritos, fosfatos y pesticidas en agua subterránea (mg/L), índice de riesgo de contaminación.	Estadística descriptiva; análisis de correlación entre fertilización y concentración en agua; regresión lineal; análisis espacial de riesgo.	Se analizará la contribución de prácticas agrícolas al deterioro de la calidad del agua y se compararán concentraciones encontradas con límites normativos, proponiendo medidas de manejo sostenible.	Artículo científico; mapa de riesgo de contaminación; manual de buenas prácticas agrícolas; tesis; lineamientos técnicos para fertilización eficiente.

Línea de Investigación 8. Estimación del balance hídrico regional y la gestión sostenible del agua en Salinas, S.L.P.

Contexto general

El Altiplano Potosino presenta un régimen climático semiárido con alta evaporación y baja precipitación anual. En Salinas, la extracción de agua subterránea supera en muchos casos la recarga natural, generando un desequilibrio hídrico.

Es necesario estimar el balance hídrico considerando sus diferentes componentes (precipitación, evapotranspiración, escurrimiento, percolación profunda y extracción) para diseñar estrategias de gestión sostenible del recurso.

Objetivo general

- Estimar el balance hídrico del municipio de Salinas para determinar el grado de sostenibilidad en el uso del agua.

Objetivos específicos

- Analizar series históricas de precipitación, evaporación, radiación y temperatura.
- Estimar la evapotranspiración potencial y real y el escurrimiento superficial.
- Determinar el volumen anual de extracción de agua subterránea y estimar la recarga.
- Evaluar el estado actual (nivel estático y dinámico) del o los acuíferos que abastecen al municipio de Salinas y determinar la viabilidad técnica y ambiental de nuevos aprovechamientos.
- Determinar la disponibilidad oficial y el volumen concesionado de aprovechamientos en Salinas.

Metas

- Elaborar balance hídrico anual y multianual del sistema terrestre Salinas.
- Identificar el déficit o superávit hídrico.
- Determinar la tendencia de abatimiento en los últimos 20 años.
- Generar escenarios futuros bajo cambio climático.
- Generar un modelo predictivo regional incluyendo un mapa de riesgo de sobreexplotación y lineamientos para la gestión sustentable del recurso hídrico.

Hipótesis

- El balance hídrico actual de Salinas presenta un déficit estructural con tendencia a un abatimiento sostenido debido a que la extracción supera la recarga natural.

Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables).



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿Se está extrayendo más agua de la que naturalmente se recarga?	¿Cuál es el balance hídrico actual del municipio de Salinas? ¿Existe un déficit estructural entre recarga natural y extracción subterránea? ¿Es posible generar nuevos aprovechamientos?	Estimación del balance hídrico regional y la gestión sostenible del agua en Salinas, S.L.P.	Objetivo general: Estimar el balance hídrico regional para evaluar la sostenibilidad del recurso y la viabilidad de nuevos aprovechamientos. Objetivos específicos: - Analizar series históricas de precipitación, evaporación, radiación y temperatura. - Calcular la evapotranspiración potencial y real. - Estimar el escurrimiento superficial. - Determinar el volumen de extracción subterránea de los acuíferos del municipio. - Comparar recarga vs. extracción en acuíferos del municipio y generar escenarios futuros.	Independientes: precipitación (mm), temperatura, ETO, superficie agrícola. Dependientes: recarga estimada (hm ³), extracción anual (hm ³), déficit o superávit hídrico, tasa de abatimiento, niveles piezométricos.	Análisis de series de tiempo; cálculo de ETO (Penman-Monteith); balance hídrico anual; modelación de escenarios climáticos; análisis comparativo recarga-extracción.	Se discutirá la sostenibilidad del sistema hídrico regional, identificando tendencias de déficit y su relación con la expansión agrícola y el cambio climático.	Modelo predictivo de balance hídrico; artículo científico; informe técnico para planeación municipal; base de datos climática regional; tesis.