



UNIVERSIDAD DE LA SIERRA

DIVISIÓN DE CIENCIAS

BIOLÓGICAS

**Impacto de la actividad ganadera sobre los
recursos hídricos, el suelo y la vegetación en
Arizona.**

MEMORIA PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

Licenciado en Biología

Presenta:

Laura Patricia Gutiérrez Velásquez

Moctezuma, Sonora.

Agosto, 2025



SECRETARÍA DE
**EDUCACIÓN
Y CULTURA**
GOBIERNO
DE **SONORA**



Moctezuma, Sonora, a 14 de agosto de 2025.

DICTAMEN

C. LAURA PATRICIA GUTIÉRREZ VELÁSQUEZ
PRESENTE:

Como resultado del análisis realizado a la Memoria de Estadía Profesional intitulada **“Impacto de la actividad ganadera sobre los recursos hídricos, el suelo y la vegetación en Arizona”** misma que fue realizada en Sky Island Alliance, Estados Unidos de América; y a propuesta de los C. **Asesores M.C. Guilebaldo Lavandera Barreras (Director Académico), Dra. Sarah Truebe (Asesora Externa) y la Q.B. Rosa Angélica Arvizu Valencia (Profesor de la División Académica)** manifiesto a usted que en base al artículo 29 del Reglamento de Estadías de la Universidad de la Sierra su documento cumple con los requisitos establecidos al respecto por la institución.

Por lo anterior, se dictamina favorablemente su trabajo y se le autoriza su reproducción para proceder a su exposición.

Atentamente,

Dr. Vladimir Fuentes Mayo
Jefe de la División de Ciencias Biológicas

C.c.p. Archivo.

DEDICATORIA

A mis padres, por su ejemplo inquebrantable de trabajo, honestidad y generosidad. Gracias por haber guiado cada uno de mis pasos con sabiduría y amor, y por enseñarme el valor del esfuerzo y la importancia de la educación. Este logro es una muestra del fruto de sus enseñanzas y sacrificios. En especial a mi querido padre, quien enfrenta con valentía y fortaleza la difícil batalla contra el cáncer. Tu coraje, resiliencia y amor incondicional han sido un faro de luz y esperanza durante todo este camino. Este logro también es para ti, como muestra de la gratitud y admiración que siento por tu ejemplo de lucha y perseverancia. Gracias por enseñarme que, aun en las circunstancias más adversas, el espíritu humano puede sobreponerse y seguir avanzando. Que esta dedicación sea un símbolo de mi apoyo inquebrantable y de mi deseo profundo de verte siempre fuerte y lleno de vida.

A mis hermanos, por su compañía a lo largo de mi vida, por su apoyo constante y por ser fuente de inspiración y fortaleza en momentos de dificultad. Compartir este trayecto con ustedes ha enriquecido mi experiencia y ha fortalecido nuestro lazo familiar.

A mi querido esposo, por ser mi compañero incansable, por su comprensión, paciencia y por alentarme a perseguir mis metas incluso ante los retos más complejos. Tu presencia, apoyo y fe en mí han sido fundamentales para culminar esta etapa.

A mi amada hija, quien representa mi mayor motivación y esperanza. Cada esfuerzo realizado durante este proceso está dedicado a tu futuro; tu sonrisa y alegría han sido mi motor diario y la razón más importante para superarme constantemente.

A todos ustedes, quienes con amor, apoyo y palabras de aliento han acompañado este largo proceso, les dedico con profunda gratitud este logro académico. Sin su respaldo incondicional, este sueño no habría sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de mi estadía, acompañándome con su apoyo, confianza y dedicación en cada etapa de este significativo proceso académico y personal.

En primer lugar, a Sky Island Alliance mi gratitud más especial por brindarme el respaldo necesario en recursos, información y orientación durante la investigación. Su compromiso con la conservación ambiental no solo enriqueció este trabajo, sino que también inspiró mi pasión por contribuir al cuidado de nuestros ecosistemas. Agradezco profundamente a la Dra. Sarah Truebe, mi asesora externa por su invaluable guía, paciencia y profesionalismo. Su confianza en mis capacidades siempre fue un motor para seguir adelante.

De igual manera, extiendo mi gratitud al maestro Guilebaldo Lavandera Barreras, mi asesor académico, a quien quiero agradecerle sinceramente por su constante apoyo, dedicación y las críticas constructivas que me ayudaron a perfeccionar este trabajo. Su acompañamiento cercano y su fe en mi potencial fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

Finalmente, agradezco profundamente a la Universidad de la Sierra, por ofrecerme un espacio académico de excelencia, recursos y un ambiente propicio para mi formación profesional y crecimiento personal. Esta institución ha sido el pilar sobre el cual he construido este logro.

A todos ustedes, expreso mi más sentido reconocimiento y gratitud, porque sin su compromiso, aliento y apoyo incondicional, este sueño no habría podido concretarse. Este logro también es suyo, y lo guardo como un testimonio del valor de la colaboración, la perseverancia y la esperanza.

RESUMEN

En Arizona, los manantiales representan ecosistemas clave, pero frágiles, dependientes de la calidad del suelo y la dinámica hidrológica regional. La actividad ganadera en la zona, a menudo con mala gestión de residuos, amenaza estos recursos mediante la compactación del suelo, destrucción de la vegetación ribereña y contaminación por excretas. Estudios previos muestran que la ganadería no solo reduce la biodiversidad y la integridad ecológica de las riberas, sino que genera riesgos sanitarios y elevadas concentraciones de nitratos y metales en el agua, sobrepasando en casos los límites aconsejados para consumo humano. Este trabajo evalúa el impacto de la actividad ganadera sobre siete manantiales en Arizona, aplicando análisis fisicoquímicos del agua y el suelo, evaluación de metales pesados, medición de materia orgánica y estudio de la vegetación circundante. Los resultados muestran que predominan suelos arenosos, con alta permeabilidad y baja retención de nutrientes, lo que facilita la lixiviación de contaminantes. Se han identificado altos niveles de nitratos y materia orgánica fácilmente oxidable en varios sitios, señalando contaminación reciente, principalmente por escurrimientos agropecuarios y ganaderos. En ciertos manantiales, se detectaron concentraciones elevadas de zinc y mercurio, que superan límites normativos y pueden afectar la salud humana y la biota acuática. La pérdida de vegetación y la compactación del suelo incrementan la erosión, la escorrentía y la vulnerabilidad del sistema hídrico a sequías y eventos extremos. Estos efectos son más críticos en un contexto de cambio climático y sobreexplotación de acuíferos, agravando el riesgo de crisis hídricas y pérdida de biodiversidad local. El estudio concluye que la presión ganadera, sin mecanismos de manejo sostenible, compromete la calidad del agua, la funcionalidad del suelo y la persistencia de los manantiales en Arizona. Se recomienda implementar planes de manejo integral de la ganadería, restaurar ecosistemas ribereños y fortalecer el monitoreo ambiental para garantizar la conservación y disponibilidad de estos recursos clave para la región.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Manantiales	3
2.2 Tipos de manantiales	3
2.3 Clasificación de los manantiales	4
2.3.1 Clasificación basada en el flujo:	4
2.3.2 Calidad del agua	5
2.3.3 Geomorfología	5
2.4 Importancia de los manantiales.....	6
2.5 Ganadería	7
2.6 La ganadería y su impacto en la tierra, suelo, agua y la biodiversidad	7
2.7 Vegetación	8
2.7.1 Plantas nativas.....	8
2.7.2 Plantas invasoras	8
2.8 Agua	9
2.8.1 Potencial de Hidrógeno (pH) del agua.....	9
2.8.2 Dureza del agua (Ca).....	9

2.8.3 Potasio (K ⁺)	10
2.8.4 Conductividad eléctrica (CE)	10
2.8.5 Sodio (Na).....	10
2.8.6 Nitrato (NO ₃)	11
2.8.7 Nitrito (NO ₂)	11
2.8.8 Cation de amonio cuaternario (NR ₄ ⁺)	11
2.8.9 Fluoruro.....	12
2.8.10 Cloruro de Sodio (NaCl)	12
2.8.11 Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	12
2.8.12 Sulfato (SO ₄).....	12
2.8.13 Metales pesados	12
2.9 Suelo	13
2.9.1 Indicadores de la calidad del suelo	13
2.9.2 Nutrientes.....	16
2.9.3 Conductividad	18
2.9.4 pH.....	18
2.10 Método para determinar la textura del suelo	19
2.11 Método para determinar nutrientes, Conductividad y pH	20
2.12 Método para determinar materia orgánica	20
2.13 Planteamiento del problema	21
2.14 Justificación	23
III. OBJETIVOS	25
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.1 Descripción del área de estudio	26

4.2 Metodología	29
4.2.1 Metodología de campo	29
4.2.2 Metodología de laboratorio.....	30
V. RESULTADOS y DISCUSIÓN	34
5.1 Análisis fisicoquímicos del agua	34
5.1.1 Nutrientes.....	34
5.1.2 Metales pesados	36
5.2 Estudio edafológico del suelo	37
5.2.1 Determinación de textura de suelo.....	37
5.2.2 Análisis fisicoquímico del suelo.....	40
5.2.3 Análisis fisicoquímico relación agua-suelo	42
5.2.4 Determinación de materia orgánica	43
5.3 Vegetación	46
VI. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	52
6.1 Conclusión	52
6.2 Recomendaciones.....	53
VII. BIBLIOGRAFÍA	55
VIII ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Clasificación de la dureza.....	10
Tabla II pH en el suelo	20
Tabla III Coordenadas de los manantiales	30
Tabla IV Determinación de la calidad de Materia Orgánica por su tipo de reacción ..	35
Tabla V Resultados fisicoquímicos del agua.....	35
Tabla VI Resultados de metales pesados	37
Tabla VII Registro de resultados de la muestra del manantial: Busch.....	38
Tabla VIII Registro de resultados de la muestra del manantial: Cienega	39
Tabla IX Registro de resultados de la muestra del manantial: Confluence	39
Tabla X Registro de resultados de la muestra del manantial: Empire	39
Tabla XI Registro de resultados de la muestra del manantial: Horse Camp	39
Tabla XII Registro de resultados de la muestra del manantial: McGrew	40
Tabla XIII Registro de resultados de la muestra del manantial: Rock Ledge	40
Tabla XIV Resultados fisicoquímicos del suelo.....	41
Tabla XV Valores de los manantiales en materia orgánica	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Bocetos de las esferas de descarga de manantiales: a) cueva, b) afloramiento, c) fuente, d) géiser, e) chorro, f) jardín colgante, g) helocreno, h) ladera, i) hipocreno, j) limnocreno, k) forma de montículo, l) reocreno. A) acuífero, l) estrato impermeable, S) manantial. El triángulo invertido representa el nivel freático o superficie piezométrica. También se muestran las líneas de falla.	3
Figura 2 Tamaño de partículas para caracterización de suelo Fuente: (MYCAL, 2022).	15
Figura 3 Triangulo de textura del suelo (Boul, et al. (2009)).....	19
Figura 4 Kit de medidores de nutrientes de la marca HORIBA, Modelo LAQUA Twin..	20
Figura 5 Mapa del Estado de Arizona, dentro del círculo se encuentran las ubicaciones de los manantiales. Fuente (Lesniewski, R. 2013. Shutterstock)	27
Figura 6 Zoom del círculo de la Figura 5) de los manantiales visitados, estos están marcados con puntos azules nombrados (Google Earth, 2025).....	28
Figura 7 Barreno de suelo con una profundidad de 30 cm.....	29
Figura 8 Tiras de metales pesados de la marca Health Metric	30
Figura 9 Muestras de suelo en bandejas de plástico rectangulares cubiertas con papel estroza identificadas con el nombre del manantial.....	31
Figura 10 Tamices U.S.A Standard Testing Sieve VWR en un Rotap Tyler RX-29-10.	31
Figura 11 Muestra de la materia orgánica por su tipo de reacción.....	33
Figura 12 Muestras sin hervir.....	43
Figura 13 Muestras después de hervir.....	44
Figura 14 Vegetación observada en el manantial Busch.....	46
Figura 15 Vegetación observada en el manantial Cienega.....	47
Figura 16 Vegetación observada en el manantial Confluence.....	48
Figura 17 Vegetación observada en el manantial Empire Ranch.....	49
Figura 18 Vegetación observada en el manantial Horse Camp.....	50
Figura 19 Vegetación observada en el manantial McGrew.....	51
Figura 20 Vegetación observada en el manantial Rock Ledge.....	51

I. INTRODUCCIÓN

La presente tiene como objetivo exponer el desarrollo del proyecto de los manantiales en las zonas ganaderas realizando una comparación del estado actual de los manantiales donde no se encuentren huellas ganaderas, realizado durante el período de enero a junio. El trabajo consistió en acceder a 7 manantiales alrededor de los condados de Santa Cruz, Pima y Cochise de Arizona conocidos por Sky Island Alliance, tomando muestras de agua, suelo y fotografías.

Los manantiales son manifestaciones naturales del agua subterránea, un recurso esencial en Arizona, donde más del 40 % del suministro de agua proviene de acuíferos. Los manantiales alimentan ríos, arroyos y pozos, siendo fundamentales para el abastecimiento doméstico, agrícola e industrial en todo el estado (Elija Flores, 2024 & SRP, S.F). Este es un estado árido y con frecuentes sequías, los manantiales son esenciales para mantener el suministro de agua durante periodos de escasez, apoyando tanto a las comunidades humanas como a los ecosistemas (Artiola J.F., et al, 2004-2006-2007).

Los manantiales son fundamentales para la ganadería porque aseguran el suministro de agua, sostienen la productividad y el bienestar animal, ayudan a conservar los ecosistemas rurales y la viabilidad económica de las actividades ganaderas.

Algunas de las problemáticas existentes detectadas en los manantiales de la zona son los siguientes escasez y reducción del recurso hídrico. Contaminación química y riesgos para la salud se han detectado contaminantes peligrosos como los compuestos PFAS, utilizados en productos industriales y espumas contra incendios. Estos químicos son persistentes, tóxicos y se han relacionado con problemas de salud como cáncer y daño hepático. La contaminación por PFAS afecta tanto a los manantiales como a los acuíferos subterráneos, poniendo en riesgo la salud pública y ambiental (Telemundo, 2023). Presión por el crecimiento poblacional y uso del suelo el aumento de la población, la expansión urbana y agrícola incrementan la demanda de agua y la presión sobre los manantiales, además de aumentar los riesgos de contaminación por el uso intensivo del suelo y la presencia de actividades potencialmente contaminantes. Impactos ecológicos la reducción de caudales y la contaminación afectan la calidad y

cantidad de hábitats acuáticos, poniendo en riesgo la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas asociados a los manantiales.

Estas son las siguientes posibles problemáticas que se pueden encontrar en la zona, la contaminación química el uso incorrecto de fertilizantes, pesticidas y productos industriales puede infiltrar contaminantes como nitratos, metales pesados y compuestos orgánicos en el agua subterránea que alimenta los manantiales. Estos contaminantes pueden provocar riesgos para la salud humana y la fauna, ya que son persistentes y difíciles de eliminar del ambiente.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Manantiales

Un manantial (Figura 1), es un lugar donde el agua brota del suelo y fluye o donde se encuentra en estanques que se reponen continuamente desde abajo, excepto las aperturas totalmente artificiales, como los pozos artesianos, no se consideran manantiales. Las condiciones y procesos que dan origen a los manantiales deben distinguirse de aquellos que provocan la descarga capilar del agua subterránea. El agua de manantiales y filtraciones se eleva bajo la presión transmitida a través del agua mientras se encuentra como un cuerpo continuo en los vacíos de la roca (Kirk, 1919).

2.2 Tipos de manantiales

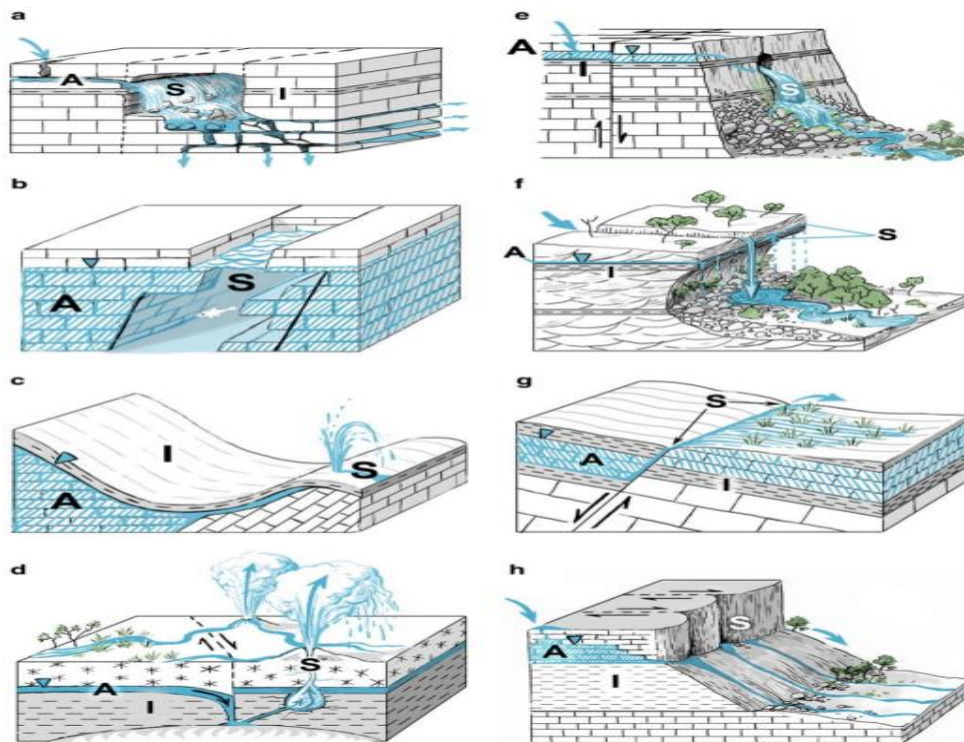


Figura 1 Bocetos de las esferas de descarga de manantiales: a) cueva, b) afloramiento, c) fuente, d) géiser, e) chorro, f) jardín colgante, g) helocreno, h) ladera, i) hipocreno, j) limnocreno, k) forma de montículo, l) reocreno. A) acuífero, I) estrato impermeable, S) manantial. El triángulo invertido representa el nivel freático o superficie piezométrica. También se muestran las líneas de falla.

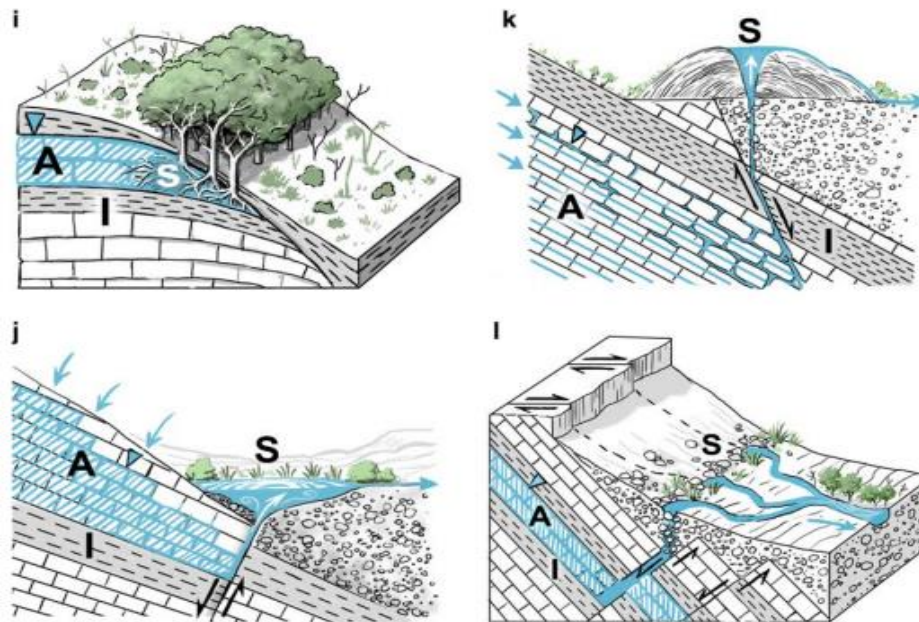


Figura 1. (continuación).

2.3 Clasificación de los manantiales

2.3.1 Clasificación basada en el flujo:

a) Magnitud de la descarga: La descarga de manantiales es una función del acuífero que varía ampliamente en magnitud dentro y entre manantiales, desde manantiales efímeros con descarga baja o altamente errática a pequeños sipeocrenos de filtración y manantiales de acuíferos profundos con descarga muy constante.

b) Variabilidad del caudal: Meinzier (1923) consideró que los manantiales eran perennes si su caudal era constante, y “intermitentes” si el caudal era interrumpido, periódico o esporádico (episódico) sobre una base estacional, anual, interanual o totalmente errática (Stevens et al., 2020).

c) Persistencia: La persistencia del ecosistema (“longevidad”) es una característica evolutivamente importante en los manantiales (Nekola, 1999., Cartwright et al., 2020). Los manantiales persistentes a lo largo funcionan como paleorefugia (sensu Nekola, 1999) a través de escalas de tiempo ecológicas y evolutivas: los manantiales que han persistido desde al menos la época del Pleistoceno tardío a menudo sustentan especies endémicas relictuales o adaptativas (Stevens et al., 2020).

2.3.2 Calidad del agua

a) Temperatura: Rango absoluto de temperatura (frio <20 °C a hipertérmico > 70 °C). La temperatura del agua varia ampliamente dentro y entre los acuíferos y las zonas climáticas, pero puede ser menos relevante entre los manantiales efímeros. Si bien tiene una importancia obvia para la ecología de los ecosistemas, la economía recreativa humana y la terapia, pero al igual que el flujo, la temperatura del agua varia ampliamente entre (y a veces dentro) de los manantiales, por lo que solo proporciona una utilidad secundaria limitada en la clasificación tipológica generalizada (Stevens et al., 2020).

b) Geoquímica: La geoquímica de los manantiales regula el desarrollo de los ecosistemas, la composición y la diversidad de los conjuntos bióticos tanto acuáticos como terrestres, y puede indicar impactos antropogénicos en los acuíferos, y durante mucho tiempo y con razón se ha considerado como un importante conjunto de variables (Stevens et al., 2020).

2.3.3 Geomorfología

a) Posición del paisaje: Varios sistemas de clasificación de manantiales se centran en la posición o ubicación de la emergencia de los manantiales dentro de los paisajes regionales, incluyendo a menudo otras características físicas (p. ej., hidrología, geoquímica, vegetación) como descriptores secundarios. Brayán (1919) describió las influencias de la geología de los acuíferos, la estratigrafía del lecho rocoso, el ángulo de la pendiente y la presión del agua subterránea en la aparición de los manantiales, un enfoque a la estructura geológica seguido por otros muchos hidrogeólogos (Stevens et al., 2020).

b) Geomorfología de la fuente de los manantiales: Springer y Stevens (2009) identificaron 12 tipos de manantiales terrestres según la geomorfología de la fuente. En este estudio, subdividieron sus 12 tipos en seis grupos relativamente lénticos y seis relativamente lóticos, y añadieron los paleomanantiales a su lista. Redefinieron la definición previa de reocrenos como manantiales que surgen dentro de canales de flujo superficial, y redefinieron su definición de manantiales de ladera, helocrenos y formadores de montículos para que cada uno incluya subtipos discretos. Los manantiales de ladera y helocrenos se producen comúnmente en entornos de llanura

aluvial (reocrénicos) o en tierras altas, lejos de la erosión por inundaciones regulares. El primer subtipo (manantiales de ladera de llanura aluvial) está fuertemente influenciado por las perturbaciones de las inundaciones regulares (Stevens et al., 2020).

c) Canales de manantiales; Geomorfológicamente, los canales de manantiales suelen ser rectos o erráticos, asimétricos y ligeramente incisos, a menudo con un caudal en o cerca del nivel de la ribera (Griffiths et al., 2008). Muchos canales de manantiales experimentan una transición distintiva, desde el predominio del caudal de la fuente hasta el predominio del caudal superficial, incluyendo una simetría creciente de los meandros. Los puntos de transición en la sinuosidad del cauce y la biota acuática (pero no necesariamente la temperatura del agua ni la geoquímica) son espacialmente discretos para cada ecosistema de manantial debido a las condiciones locales, lo que contribuye a la individualidad de cada ecosistema y a su capacidad de respuesta a la variación en las interacciones ambientales y la descarga (Stevens et al., 2020).

2.4 Importancia de los manantiales

Constituyen refugios de biodiversidad: los manantiales son ecosistemas únicos que proporcionan condiciones estables y favorables para una amplia variedad de especies acuáticas. La temperatura constante y la pureza del agua crean un entorno propicio para la reproducción y el desarrollo de diversas formas de vida (Graziati, 2025).

Funcionan como reservorios de agua dulce: los manantiales representan una fuente vital de agua dulce. Al ser alimentados por la infiltración del agua de lluvia, los manantiales forman parte del ciclo hidrológico y contribuyen a la recarga de ríos, lagos y humedales. En zonas áridas o semiáridas, donde las precipitaciones son escasas, pueden ser la única fuente de agua disponible, lo que los convierte en ecosistemas esenciales para la supervivencia de diversas especies, incluidas las comunidades humanas que dependen de ellos (Graziati, 2025).

Regulan el ciclo hidrológico: los manantiales desempeñan un papel clave en la regulación del ciclo del agua, ya que conforman puntos de descarga natural de los acuíferos, ayudando a mantener el caudal de distintos cuerpos de agua como ríos, lagos y lagunas sobre todo en épocas de sequía. Esto contribuye a la estabilidad de

los ecosistemas acuáticos y a la disponibilidad de agua para la realización de diversas actividades antrópicas (Graziati, 2025).

2.5 Ganadería

Es una actividad del sector primario que consiste en el cuidado y alimentación de cerdos, vacas, pollos, borregos, abejas, entre otros animales, para aprovechar su carne, leche, huevos, lana, miel y otros derivados para consumo humano (Economía, 2019).

2.6 La ganadería y su impacto en la tierra, suelo, agua y la biodiversidad

A través del pastoreo o la producción de cultivos forrajeros, la producción precaria ocupa aproximadamente el 30 por ciento de la superficie terrestre libre de hielo. En muchas situaciones constituye la principal fuente de contaminación terrestre al verter nutrientes y materia orgánica, patógenos, y residuos farmacológicos a los ríos, lagos y aguas costeras. Los animales y sus desechos emiten gases que inciden en el cambio climático. Otra fuente de emisión de gases es la destrucción de los bosques para su conservación en zonas de pastoreo y tierras de cultivo destinadas a la producción de alimentos para el ganado. La producción pecuaria moldea paisajes enteros y su demanda de tierras para pastizales y cultivos forrajeros modifica y reduce los hábitats naturales (Steinfeld et al., 2009).

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) retiene que los cambios en el uso de la tierra son la principal causa de pérdida de biodiversidad (EM, 2005^a). La destrucción de la cubierta vegetal también origina la liberación del carbono, contribuyendo así al cambio climático. Además, la deforestación afecta el ciclo del agua, reduciendo la infiltración y el almacenamiento y aumentando la escorrentía por la remoción de la cubierta forestal y la hojarasca, así como por la reducción de la capacidad de infiltración del suelo provocada por la disminución en el contenido de humus (Ward et al., 2000).

El sector agrícola es el principal consumidor de agua dulce. En el año 2000, la agricultura dio cuenta del 70 por ciento del uso mundial de agua y fue responsable de un 93 por ciento de su agotamiento (Turner et al., 2004). Durante el último siglo la superficie de regadío se ha multiplicado casi cinco veces y en el año 2003 ascendía a 277 millones de hectáreas (FAO, 2006b).

La ganadería es una de las principales de causas de la transformación del hábitat (deforestación, destrucción de bosques ribereños, drenaje de humedales), ya sea para la producción pecuaria en sí mismo o para la producción de piensos. La ganadería también contribuye al cambio de hábitat cuando el sobrepastoreo y las altas densidades de carga aceleran la desertificación (Steinfeld et al., 2009).

Los animales en pastoreo también son importantes agentes de cambios geomorfológicos, ya que sus pezuñas reconfiguran físicamente la tierra. En ciertos puntos, los bovinos, ovinos, y caprinos pueden ejercer una presión sobre el suelo similar a la de un tractor (Trimble y Mendel, 1995; Sharrow, 2003). La formación de capas compactas dentro del suelo disminuye la infiltración y causa la saturación del suelo (Engels, 2001).

2.7 Vegetación

La vegetación como concepto general está referida al conjunto de componentes vegetales que interactúan entre sí, tales como árboles, arbustos, hierbas, lianas, epifitas, musgos, entre otros, que forman un tapiz vegetal, en una determinada zona o área geográfica.

2.7.1 Plantas nativas

Las plantas nativas son plantas que crecen de forma natural en una zona particular o ecosistema. Con el paso del tiempo, estas se van evolucionando y adaptando a las tierras y el clima, así como otras plantas y animales nativos. En sus propios ecosistemas, las plantas nativas desempeñan una función particular, o nicho ecológico. Proporcionan alimento, refugio y lugares para anidar para muchos animales. Las hojas de plantas nativas eliminan sustancias nocivas el aire. Las raíces de las plantas absorben agua de la tierra. Esto reduce la erosión y la polución (BLM, S, F).

2.7.2 Plantas invasoras

Las plantas invasoras son especies que se trasladan de un ecosistema a otro ocasionando pérdidas ambientales y económicas. Diversas denominaciones son usadas para definir a las plantas invasoras como introducidas, importadas, casuales, transformadoras. Las primeras etapas de una invasión pasan desapercibidas y la especie va incrementando su presencia a través de la fundación de poblaciones. El impacto de las plantas invasoras se manifiesta en ambientes naturales a través de la

alteración de la vegetación natural por competencia y alelopatía, alteraciones de los ciclos de nutrientes y en la dinámica del agua, suelo, cambios en la frecuencia de los incendios, reducciones de la diversidad genética de las plantas, aumento de la erosión, alteraciones de las formaciones geológicas, reducción de la producción forrajera, cambios en la vida silvestre y una intensificación del impacto del cambio climático global (Bentivegna et al., 2014).

2.8 Agua

Es la única sustancia que se puede encontrar en los tres estados de la materia (líquido, sólido y gaseoso) de forma natural en la Tierra. No tiene color, sabor ni olor. El agua del planeta está cambiando constantemente y siempre está en movimiento. Su punto de congelación es a cero grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), mientras que el de ebullición es a 100°C (a nivel del mar). El agua del planeta está cambiando constantemente y siempre está en movimiento. La fórmula química del agua es H_2O , un átomo de oxígeno ligado a dos de hidrógeno. La molécula del agua tiene carga eléctrica positiva en un lado y negativa del otro. Debido a que las cargas eléctricas opuestas se atraen, las moléculas del agua tienden a unirse unas con otras.

El agua es conocida como el “solvente universal”, ya que disuelve más sustancias que cualquier otro líquido y contiene valiosos minerales y nutrientes (CONAGUA, 2017).

2.8.1 Potencial de Hidrógeno (pH) del agua

El pH del agua debe estar en un rango de ca 6.5 a 8.5 para mantener una buena calidad del líquido. La mayoría de las aguas naturales variarán entre 4.5 a 8.5 en la escala del pH, aunque este límite puede variar ligeramente dependiendo de la región y donde se obtenga el agua (Delgado, 2023).

2.8.2 Dureza del agua (Ca)

El grado de dureza es una medida de la concentración total, en peso, del contenido de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , expresada como equivalente de carbonato de calcio y usualmente medida en partes por millón o miligramos por litro (Proain, 2020).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Tabla I), la clasificación de la dureza del agua en mg/l CaCO_3 es:

Tabla I Clasificación de la dureza

Dureza (mg/l CaCO₃)	Tipos de agua
0 – 60	Blanda
61 – 120	Moderadamente dura
121 – 180	Dura
> 180	Muy Dura

Fuente. Organización Mundial de la Salud (OMS, s.f.).

2.8.3 Potasio (K⁺)

El potasio (K⁺) es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y la función biológica general, desempeñando un papel vital en diversos procesos fisiológicos. En el monitoreo de la calidad del agua, los niveles de potasio se monitorean para evaluar el contenido de nutrientes y los impactos potenciales en los ecosistemas acuáticos. Las concentraciones elevadas de potasio pueden ser el resultado de la escorrentía agrícola, el vertido de aguas residuales o la meteorización natural de rocas y minerales. Aunque el potasio no suele considerarse un contaminante primario, unos niveles excesivos pueden contribuir a desequilibrios de nutrientes, floraciones de algas y alteraciones ecológicas en los entornos acuáticos (Badger Meter, s.f.).

2.8.4 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) de una disolución puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica, y dependerá, además del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse. En disoluciones acuosas, y puesto que su viscosidad disminuye con la temperatura, la facilidad de transporte iónico o conductividad aumentará a medida que se eleva la temperatura. La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), en millonésimas (10⁻⁶) de unidades, es decir microSiemens/cm (µS/cm), o en milésimas (10⁻³) es decir miliSiemens/cm (mS/cm) (Reitec, s.f.).

2.8.5 Sodio (Na)

Dependiendo de su concentración de salinidad, la calidad de las aguas subterráneas se divide en tres categorías:

Agua dulce, con concentraciones entre 0 y 1 %; agua salinizada, con concentraciones entre 1% y 3,5 %; y agua salina, con concentraciones entre el 3,5 % y el 35,7 %.

El límite del 1% separa la flora y la fauna de agua dulce de la de agua salada; el límite del 3,5 % es la salinidad del agua de mar; el límite de 35,7 % es la concentración de saturación de cloruro de sodio en agua, a 20 °C (Ponce, 2022).

2.8.6 Nitrato (NO_3)

Los nitratos se producen de forma natural. Todos los acuíferos pluviales y subterráneos contienen algo de nitrógeno-nitrato. Sin embargo, los suministros de agua rural contaminados proporcionan una pista para descubrir otras fuentes de nitratos. El nitrato se acumula en las cuencas hidrográficas agrícolas donde los agricultores esparcen fertilizantes inorgánicos y abono animal en las tierras de cultivo. El nitrógeno que no es absorbido por los cultivos puede filtrarse a través del suelo al agua subterránea y luego fluir a áreas de recarga o pozos privados. Los residentes de las comunidades rurales suelen utilizar sistemas sépticos en el lote y algunos propietarios usan de los fertilizantes para césped. Estos también pueden ser fuentes de nitrato en el agua potable (Robillard et al., 2023).

2.8.7 Nitrito (NO_2)

Los nitritos también se forman durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados y se utiliza como indicador de contaminación fecal en aguas naturales. Los nitratos no se consideran en sí tóxicos, pero la ingesta de grandes cantidades produce un efecto diurético. Por otra parte, los nitritos pueden producir compuestos cancerígenos, las nitrosaminas, por su reacción con aminas secundarias o terciarias, además de interaccionar con los glóbulos rojos de la sangre produciendo metahemoglobinemia que impide el transporte de oxígeno al cuerpo (Cabrera et al., 2003).

2.8.8 Cati3n de amonio cuaternario (NR_4^+)

Los cationes de amonio cuaternario (QAC o Quats) son un tipo de molécula que se utiliza a menudo como desinfectante en diversas industrias, como las queserías. Todos los QAC consisten en un cati3n de nitr3geno unido a cuatro moléculas laterales separadas (R1-4). Los QAC funcionan por contacto directo con las bacterias. Su cambio positivo y su forma hacen que desgarran las paredes celulares y las membranas bacterianas (Aquafix, s.f.).

2.8.9 Fluoruro

El promedio de los niveles de fluoruros en aguas superficiales es cerca de 0.2 partes de fluoruro por millón de partes de agua. Los niveles de fluoruros en aguas de manantial generalmente varían de 0.02 hasta 1.5 ppm, pero a menudo sobrepasan 1.5 ppm en áreas del suroeste de Estados Unidos. Muchas comunidades añaden flúor a sus suministros de agua; el nivel de flúor que se recomienda es alrededor de 1 ppm (ATSDR, 2003).

2.8.10 Cloruro de Sodio (NaCl)

El cloruro de sodio es un compuesto iónico. Se le conoce comúnmente como sal de mesa, en el estado fundido y en solución acuosa conduce la electricidad.

Pertenece al sistema cristalino isométrico, se encuentra de forma natural en depósitos evaporíticos continentales (lagos salados) y marinos, depósitos subterráneos donde forma capas sedimentarias, así como en la mineral halita (COSMOS, 2025).

2.8.11 Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, inflamable, corrosivo, tóxico en altas concentraciones. El sulfuro de hidrógeno es un elemento que está presente de manera natural en distintos lugares de la naturaleza. Podemos encontrarlo en el petróleo, en el gas natural, en los gases que emiten los volcanes o incluso en las aguas termales o géiseres. También aparece como producto de la descomposición anaeróbica (ausencia de oxígeno) de materia orgánica vegetal y animal (Suez, 2022).

2.8.12 Sulfato (SO₄)

El sulfato se encuentra en la gran mayoría de las fuentes naturales de agua. Los sulfatos son una mezcla de oxígeno y azufre y son partes de las sustancias existentes en algunas formaciones de rocas y suelos que incorporan agua subterránea. El mineral se convierte gradualmente en una solución y se libera al agua subterránea (PureAqua, 2020).

2.8.13 Metales pesados

Los metales pesados como plomo, cadmio, cromo, zinc, mercurio entre otros son liberados hacia ecosistemas acuáticos, así como a los suelos principalmente debido a diversas actividades antropogénicas y presenta una seria amenaza para las plantas, animales e incluso los humanos debido a su persistencia, bioacumulación, propiedad

no biodegradable y su toxicidad incluso a bajas concentraciones (Trivedi et al., 2000 y Ahmed et al., 2013).

El hecho de que estos metales se encuentren en los diversos ecosistemas es de preocuparse, dado que muchos seres vivos dependen del adecuado equilibrio en su lugar de alimentación o de vivienda, el cómo llegan dichos metales a los distintos ecosistemas varía según el tipo de actividad que se desarrolla por el hombre, por ejemplo el cromo que es un compuesto ampliamente usado en la industria en áreas como el revestimiento plástico, galvanoplastia de metales para resistencia de la corrosión, curtido y acabado de cueros, en pigmentos y para conservantes de madera (Mohan et al., 2006), otro tipo de metales como el cadmio son usados en la industria para la fabricación de baterías de níquel-cadmio, agentes anticorrosivos y pigmentos (Al-Hamouz et al., 2017). Para el mercurio se han identificado seis fuentes de contaminación que son la deposición atmosférica, erosión, descargas humanas, materiales agrícolas, minería y las descargas industriales y de combustión, como tal en las aguas subterráneas naturales y aguas superficiales el contenido de este metal está por debajo de 0.5 µg/L, sin embargo en aguas residuales descargadas cerca de depósitos minerales locales y otros sitios contaminados la concentración de mercurio es mucho mayor (WEu et al., 2016). El plomo también es liberado al ambiente debido a la industria minera y la quema de combustibles fósiles, está involucrado en la fabricación de baterías, municiones, productos metálicos y dispositivos para la protección contra los rayos X (Mohammed et al 2017).

2.9 Suelo

Estas definiciones fueron sintetizadas por el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America (Karlen et al., 1997) como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat.

2.9.1 Indicadores de la calidad del suelo

Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo. Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones (Doran y Parkin, 1994): a) describir los

procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensitivas a variaciones de clima y manejo; e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; i) y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

a) Composición del suelo; El suelo está compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua y aire en distintas proporciones. Partículas minerales, según su tamaño reciben distintos nombres: las más grandes se llaman gravas, las intermedias, arenas y limos, y las más pequeñas: arcillas. Todos los suelos están compuestos de arena, limo y arcilla (figura 2), aunque algunos suelos tienen concentraciones más altas de estos minerales que otros, por ejemplo, las rocas y los minerales constituyen la mayor parte de la composición del suelo, además, estos derivan de materiales inorgánicos e inertes (MYCAL, 2022). La arena está hecha de cuarzo fino entre otros minerales y no es rica en los nutrientes que necesitan las plantas, pero este mineral es el grano de suelo más grande y grueso, y el agua puede atravesar más fácilmente que otros suelos. Las partículas aluviales o limo son más pequeñas que la arena, pero más grandes que la arcilla, en cambio la arcilla tiene una ventaja, es el más rico de los minerales del suelo y contiene nutrientes como hierro, potasio y calcio (MYCAL, 2022). Las arcillas son partículas tan pequeñas que se cargan eléctricamente lo cual hace que tengan la capacidad para atraer, retener e intercambiar elementos químicos (potasio, calcio, magnesio, nitrógeno, aluminio, cloro, etc.) muchos de los cuales, son esenciales para el crecimiento de las plantas (Konijnengbur, 2006).

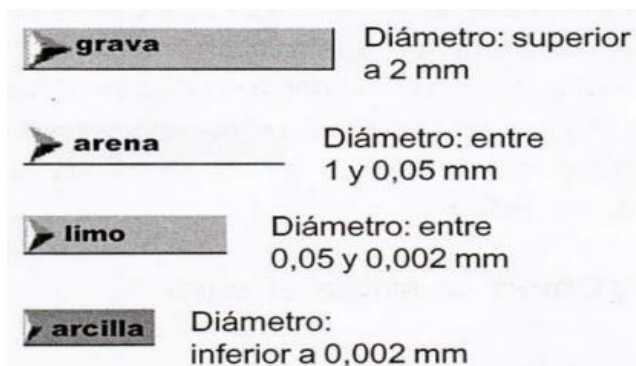


Figura 2 Tamaño de partículas para caracterización de suelo Fuente: (MYCAL, 2022).

b) Materia orgánica: La materia orgánica (MO) es un componente fundamental del suelo ya que de ella dependen muchas de sus propiedades. Las variaciones en la MO significan cambios en la fertilidad del suelo y en su resistencia a la erosión, como así también en la facilidad de laboreo y en su capacidad de infiltración y de almacenaje de agua (Robinson et al., 1994). En un estudio realizado por Eiza y colaboradores (2006), se demostró que el manejo tradicional de la producción en el Sureste Bonaerense con la alternancia de ciclos de agricultura con ciclos bajo praderas (i.e. rotaciones mixtas, RM), contribuía al mantenimiento de alta fertilidad y productividad de los suelos. La materia orgánica afecta la naturaleza física, química y biológica de los suelos por medio de una mayor presencia y actividad de los organismos benéficos que contribuyen a crear un ambiente más sano y equilibrado, el control de algunos patógenos, el incremento de la porosidad del suelo, la retención del agua, la formación de estructuras más resistentes a la erosión, una mayor capacidad para retener elementos esenciales, establecer filtros para compuestos tóxicos y un ambiente más favorable para el crecimiento del sistema radical de las plantas (Sadeghian Khalajabadi, 2010).

c) Indicadores físicos: Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000). Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas

con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

d) Indicadores químicos; Los indicadores químicos propuestos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (SQI, 1996).

e) Indicadores biológicos; Los indicadores biológicos propuestos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Incluyen funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (SQI, 1996; Karlen et al., 1997). Como la biomasa microbiana es mucho más sensible al cambio que el C total se ha propuesto la relación C microbiano: C orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica (Sparling, 1997).

2.9.2 Nutrientes

Los suelos no tienen una estructura uniforme: están constituidos por capas que se diferencian por el tamaño y composición de las partículas. La capa superficial es más compacta, se seca con rapidez y está poblada por pocos organismos, especialmente lombrices. Por debajo de ella, está el humus, donde se acumulan microorganismos y nutrientes. Las propiedades químicas del suelo dependen de la proporción de los distintos minerales y sustancias orgánicas que lo componen. El contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio debe ser abundante y equilibrado. La materia orgánica siempre contiene carbono, oxígeno e hidrógeno, además de otros elementos. Al despedazar y descomponer las plantas y animales muertos, los microorganismos liberan los nutrientes permitiendo que puedan ser utilizados nuevamente (FAO, 1996).

a) NO_3^- ; Los nitratos (NO_3^-) existentes en el suelo son absorbidos por las plantas, donde emplen el nitrógeno en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos (ADN y ARN) y otras

moléculas fundamentales del metabolismo. Es decir, tienen unos efectos beneficiosos puesto que hacen que la planta se desarrolle (Gutiérrez, 2016).

b) Ca; La cantidad total de Ca en el suelo es variable, debido a que el Ca existe como un catión. Este nutriente está gobernado por los fenómenos del intercambio catiónico al igual que los otros cationes, y se mantiene adherido como Ca intercambiable en la superficie de los coloides cargados negativamente. Generalmente es el catión dominante en el suelo, aun a valores de pH bajos (Guerrero, 1996). Generalmente el calcio existe en los suelos áridos y calcáreos a niveles muy altos, en cambio en suelos viejos de los trópicos existen en bajos niveles. Por otro lado, existe más calcio en suelos arcillosos que en suelos arenosos.

c) Na; El sodio (Na) se encuentra en todos los suelos y cultivos. El sodio se encuentra presente como catión monovalente (Na^+) y es retenido libremente por el complejo de intercambio de cationes del suelo. Por lo tanto, el Na^+ se lixivia fácilmente con el agua que se mueve a través del perfil del suelo por las lluvias o la irrigación. El sodio no se considera un nutriente esencial para las plantas, pero todos los cultivos contienen algo de Na. El sodio en los suelos, el contenido de sodio de la corteza terrestre es de aproximadamente 2,8 %, lo cual es similar al contenido de potasio (K); pero los suelos, por lo general, contienen de 0,1 a 1 % de sodio total, en comparación con aproximadamente 0,8 % de K total. El menor contenido de sodio en los suelos se debe a la erosión del sodio de los minerales que lo contienen con la posterior lixiviación del perfil del suelo a causa de las lluvias o la irrigación. Si bien hay menos sodio intercambiable en los suelos de regiones húmedas, el sodio es más común en la mayoría de los suelos áridos y semiáridos (Borax, s.f).

d) K; La tasa de transformación de formas de K más estables a más inestable está determinada por factores ambientales (humedad y temperatura de suelo) y por la capacidad de amortiguación de este. Suelos de texturas medias y arcillosas poseen mayor capacidad buffer que los de texturas gruesas. Por lo tanto, en suelos de texturas gruesas (arenosos) la concentración de K en la solución del suelo varía significativamente ante los cambios en factores ambientales, mientras que, en los suelos arcillosos, el rango de concentración se mantiene relativamente constante. La carencia de K es mucho más frecuente en los suelos arenosos, debido a que este

elemento se lava con la lluvia y el riego continuado, dejándolo fuera del alcance de las raíces (Baquero, 2012).

2.9.3 Conductividad

Su medida se basa en que la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina es proporcional a la concentración de sales en solución. En un principio se propuso definir como suelo salino aquel que presentase más de un 0,1% de sales solubles. Esta afirmación no acaba de ser del todo correcta ya que no considera la textura del suelo. Una solución conduce la electricidad en mayor grado cuanto mayor sea su concentración de sales (CE). Así cuanto mayor es la CE de una solución salina, mayor concentración de sales. Como unidad de medida para soluciones se utiliza el $\mu\text{S}/\text{m}$. Como la conductividad varía con la temperatura se suele utilizar, como norma general, la medida a 25°C . La conductividad depende, en el caso de suelos, y 10 con la misma cantidad de sales del agua que éstos contengan (estarán más o menos diluidas). La CE de un suelo (CEs) cambia con el contenido en humedad, disminuye en capacidad máxima (pues se diluye la solución) y aumenta en el punto de marchitamiento (se concentran las sales). Se ha aceptado que la medida de la CEs se hace sobre el extracto de saturación a 25°C .

2.9.4 pH

Los suelos presentan diferentes propiedades y características en función de los procesos fisicoquímicos que los originaron, por lo que los elementos que determinan su fertilidad son diversos, uno de ellos y quizá de los más importantes es el pH (FAO, 2019). El pH es un indicador de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que influyen en su fertilidad, ya que valores de pH (Tabla II) cercanos a la neutralidad permiten que varios nutrimentos se encuentren en su máxima disponibilidad para ser absorbidos por las plantas (Castellanos, 2000).

Tabla II pH en el suelo

pH	Categoría
<5.0	Extremadamente ácido
5.0 – 5.5	Fuertemente ácido
5.5 – 6.0	Moderadamente ácido
6.0 – 6.5	Ligeramente ácido
6.5 – 7.3	Neutro
7.4 – 8.0	Alcalino
>8.0	Muy alcalino

Fuente: (ICA, 1992).

2.10 Método para determinar la textura del suelo

El conocer la textura de un determinado suelo permite conocer sus características, así como sus ventajas o desventajas para un determinado cultivo de plantas en él, qué tipo de nutrientes requiere y, de ser posible, la forma de cómo alterar su textura. El conjunto de arenas, limos y arcillas del suelo es el componente sólido y es lo que se denomina textura del suelo. En función de su composición, los suelos poseen diferente capacidad de retención de humedad, que depende también del contenido de materia orgánica presente, aspectos fundamentales que son básicos para la técnica. Existen dos escalas de clasificación de texturas: la internacional y la americana, de las cuales ésta última es la más utilizada. Son conocidas como triángulo de texturas (Figura 3). Las líneas trazadas en el triángulo (paralelas a los lados), fijan los límites porcentuales de cada componente: arcilla, limo y arena (Ciancaglini, 2018).

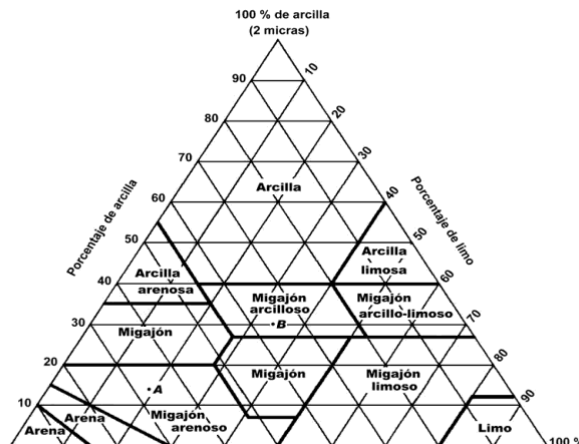


Figura 3 Triángulo de textura del suelo (Boul, et al. (2009)).

2.11 Método para determinar nutrientes, Conductividad y pH

Consiste en la medición de varios nutrientes, cada uno se midió con un kit de medidores de nutrientes de la marca HORIBA, Modelo Laqua Twin (Figura 4) agregando unas gotas de la solución obtenida de la filtración de la mezcla mencionada anteriormente, los nutrientes medidos fueron NO₃⁻, Ca²⁺, Na⁺, K⁺. El pH y conductividad de igual manera se midió con dispositivos incluidos dentro del kit con gotas de solución de la filtración de la mezcla homogénea ya realizada.



Figura 4 Kit de medidores de nutrientes de la marca HORIBA, Modelo LAQUA Twin

2.12 Método para determinar materia orgánica

En la reacción interactúan el ácido sulfúrico (H₂SO₄), que actúa como un agente oxidante, y el permanganato de potasio (KMnO₄), un compuesto químico conocido por su intenso color púrpura característico debido al ion permanganato (MnO₄⁻). Cuando se mezcla permanganato de potasio con ácido sulfúrico concentrado en presencia de materia orgánica, el ácido sulfúrico facilita la oxidación de dicha materia, mientras que el permanganato de potasio se reduce. Durante esta reacción, el ion permanganato (MnO₄⁻) se convierte en un ion manganeso de menor estado de oxidación (generalmente Mn²⁺), lo que provoca la decoloración de la solución. Este cambio en el estado de oxidación es indicativo de la presencia de materia orgánica que sirve como

agente reductor. Si la solución permanece con su color púrpura original, significa que no hubo una reducción significativa del ion permanganato, lo que indica la ausencia de materia orgánica que pueda ser oxidada. La temperatura juega un papel crucial en esta reacción, ya que un aumento en la temperatura acelera la cinética de las reacciones químicas, promoviendo una interacción más rápida y eficiente entre los reactivos. En este caso, el calor incrementa la velocidad con la que el permanganato de potasio oxida la materia orgánica.

2.13 Planteamiento del problema

En el ámbito global la presión por aumentar la competitividad y responder a las fuerzas del mercado ha aumentado la intensificación de la agricultura, con graves impactos ambientales: la degradación física de los hábitats litorales y de agua dulce debido al empobrecimiento de los suelos, la transformación de los bosques de manglar y destrucción de humedales, la salinización del agua potable y de la destinada a la agricultura, y el corrimiento de terrenos debido a la extracción de aguas subterráneas (Jensen y Glyki, 2010).

Según la FOA, la intensificación de la producción ganadera implica que “el sector ganadero compita en, mayor medida y más directamente por la tierra, el agua y otros recursos naturales escasos”. Esto tiene enormes consecuencias en términos de equidad y sostenibilidad, y para lograr una prosperidad de amplia base para la población mundial (MacDonald, 2011).

Un estudio de la UNESCO calcula que el 29% de la “huella hídrica” del sector agrícola del mundo se debe a la producción de animales. Merece mencionarse, por ejemplo, que las importaciones de soja brasileña también suponen para China una importación de “agua virtual” de hasta un 14% por encima de lo que son sus necesidades, según un análisis (Steinfeld et al., 2009).

La actividad ganadera se considera uno de los sectores más perjudiciales para los recursos hídricos, contribuyendo a la contaminación del agua, la eutrofización (proliferación de biomasa vegetal debido a la excesiva presencia de nutrientes). Los principales agentes de contaminantes son los desechos animales, los antibióticos y las hormonas, los productos químicos utilizados para teñir las pieles, los fertilizantes y pesticidas que se usan para fumigar los cultivos forrajeros. El sobrepastoreo afecta al

ciclo del agua e impide que se renueven los recursos hídricos tanto de superficie como subterráneos. La producción de forraje obliga a desviar importantes cantidades de agua (FAO, 2006b). Respecto de la degradación de los suelos, es importante considerar que la ganadería es la actividad humana que ocupa una mayor superficie de tierra. En total, a la producción ganadera se destina el 30 % de la superficie de tierra del planeta. Alrededor del 73 % de los pastos y praderas del mundo destinados a esta actividad, están situados en zonas áridas, en las cuales se presenta algún grado de degradación causada principalmente por el sobrepastoreo, la compactación y la erosión resultantes de la acción del ganado (Steinfeld et al, 2009).

En México, a pesar de la existencia de un amplio cuerpo normativo de gestión ambiental y de la existencia de alternativas tecnológicas para el tratamiento de estos residuos, gran parte de las granjas tienen una mala gestión de las deyecciones animales, de manera que estas tienen un impacto directo sobre la cantidad de nitrógeno y contaminantes en el suelo y en su posterior transferencia a los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos (Martínez et al, 2009).

La relación entre la agricultura y los ríos ha sido complicada. Hoy en día, casi el 85 % del consumo de agua en Estados Unidos se utiliza con fines agrícolas, según el Servicio de Investigación Económica del USDA. Los agricultores y ganaderos dependen del agua de ríos, lagos, manantiales y embalses para tener una temporada exitosa. Desafortunadamente, también pueden ser una fuente de daño a estos recursos naturales. Los ganaderos y el ganado también afectan los recursos hídricos. La industria cárnica y láctea es enorme y sus impactos en los recursos naturales lo demuestran. Del agua utilizada para la agricultura, el 23% se destina al riego de cultivos utilizados para alimentar al ganado. El ganado también necesita agua potable, que no requiere un porcentaje tan grande como el de los cultivos, pero sigue siendo significativo. En algunas partes del mundo, el pastoreo de ganado provoca deforestación, lo que provoca menos agua en las cuencas debido a la erosión. Tanto el ganado como los cultivos tienen efectos adversos sobre los ríos y otras fuentes de agua. El agua contaminada puede provocar la proliferación de algas, la destrucción de ecosistemas, la propagación de enfermedades e incluso la muerte (Admin, 2023).

Esta problemática se presenta por los desechos del ganado contaminan las fuentes de agua, y el ganado es la fuente difusa de agua que más contamina en Occidente. El pastoreo de ganado es también la mayor causa de pérdida de biodiversidad y la mayor amenaza para las especies en peligro de extinción y amenazadas. El ganado no solo consume grandes cantidades de pastos nativos, sino que también pisotea las costras microbióticas, lo que resulta en una mayor erosión y escorrentía, inundaciones y disminución de los nutrientes del suelo. El ganado también promueve la propagación de malezas invasoras y destruye la vegetación de las riberas.

El pastoreo intensivo permite que el ganado entre directamente a los manantiales, provocando sedimentación, compactación del suelo y contaminación por excretas. Esto afecta la estabilidad de los cauces y reduce la capacidad de almacenamiento natural del agua (Los padres, 2018, y Loaiza y Osorio, 2009).

Si esta situación continua, la agudización de crisis sanitarias, el aumento de nitratos en aguas subterráneas superaría los 10 mg/L, nivel asociado a metahemoglobinemia en niños y mayor incidencia de cáncer, diabetes y malformaciones congénitas en poblaciones expuestas (Luzardo et al, 2014). La exposición crónica a antibióticos y disruptores endocrinos presentes en el agua potable amplificaría estos riesgos (Luzardo et al, 2014). Colapso de ecosistemas acuáticos, la eutrofización por exceso de nitrógeno y fósforo generaría zonas muertas en cuerpos de agua, con pérdida irreversible de biodiversidad. Esto se combinaría con toxicidad por metales pesados y fármacos veterinarios, afectando especies sensibles como anfibios y peces. Agotamiento de recursos hídricos, la combinación de contaminación y sobreexplotación de acuíferos llevaría al colapso de manantiales, especialmente en zonas áridas. En España, el 37% de las aguas subterráneas ya supera los límites legales de nitratos, patrón que se replicaría globalmente sin medidas correctivas (Civieta, 2024).

2.14 Justificación

El estudio sobre la contaminación de la actividad ganadera en los manantiales aborda una problemática ambiental crítica con escasos estudios en Arizona. La ganadería en contribuye a la degradación de manantiales mediante la introducción de contaminantes orgánicos y la destrucción de vegetación riparia, fenómeno ampliamente documentado

en regiones vecinas como Sonora. Esto no solo amenaza especies endémicas, sino que incrementa los costos de tratamiento hídrico. Su regulación es urgente para cumplir con estándares binacionales de calidad del agua.

Esta investigación se justifica al abordar un vacío crítico, la evaluación cuantitativa de los impactos ganaderos en manantiales de Arizona y el diseño de estrategias de manejo adaptativo que integren conocimiento local y científico.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el impacto de la actividad ganadera en los manantiales, analizando su influencia sobre los recursos hídricos, el suelo, la vegetación y el equilibrio del ecosistema circundante. Haciendo una comparación con datos antiguos de cuando no había actividad ganadera al actual estado.

Objetivos específicos

- Realizar un estudio edafológico de los suelos adyacentes a las áreas de manantiales
- Realizar análisis fisicoquímicos a las aguas de los manantiales
- Realizar análisis de metales pesados en suelo y agua de manantiales

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del área de estudio

Las áreas de estudio comprenden del estado de Arizona (Figura 5) con las siguientes coordenadas (Figura 6) (Tabla III), “Rock Ledge spring” con coordenadas 32.30544 - 110.78541, “McGrew Spring” con coordenadas 31.85118 -110.35703, “Horse Camp Spring” con coordenadas 32.3781305 -110.6820333, “Busch Spring” con coordenadas 32.4362222 -110.7601389, “Empire Ranch Spring” con coordenadas 31.7878333 - 110.6386944, “Confluence Spring” con coordenadas 31.718705 -110.757632 y “Cienega Creek Spring” con coordenadas 32.018076 -110.642928 con clima árido y presencia de manantiales perennes y estacionales. Arizona se caracteriza predominantemente por suelo Aridisol, típico de ambientes áridos y semiáridos, el suelo Caliche también es frecuente, el suelo de pavimento desértico, también conocido como barniz desértico, es un tipo de suelo único que se encuentra en las regiones desérticas del condado de Pima el suelo Regosol, caracterizado por su poca profundidad y desarrollo limitado, se encuentra en el terreno montañoso y rocoso de Arizona (Pinkus, 2024). Se eligió por su representatividad en conflictos agua-ganadería y su impacto ambiental.



Figura 9 Mapa del Estado de Arizona, dentro del círculo se encuentran las ubicaciones de los manantiales. Fuente (Lesniewski, R. 2013. Shutterstock)



Figura 18 Zoom del círculo de la Figura 5) de los manantiales visitados, estos están marcados con puntos azules nombrados (Google Earth, 2025).

Tabla III Coordenadas de los manantiales

Nombre	Lat	Lon
Busch Spring	32.4362222	-110.7601389
Confluence Spring	31.718705	-110.757632
Cienega Creek Spring	32.018076	-110.642928
Empire Ranch Spring	31.7878333	-110.6386944
Horse Camp Spring	32.3781305	-110.6820333
McGrew Spring	31.85118	-110.35703
Rock Ledge Spring	32.30544	-110.78541

Nota. Estas son las coordenadas de los 7 manantiales estudiados en los condados de Santa Cruz, Pima y Cochise del estado de Arizona.

4.2 Metodología

4.2.1 Metodología de campo

a) Estudio edafológico de los suelos

Se delimitó el área de muestreo con mayor proximidad al manantial, se utilizó un barreno de suelo con una profundidad de 30 cm (Figura 7) excavando con ella recolectando aproximadamente 1 kg de tierra, se guardó en bolsas ziplock de un galón donde se le identificó con el nombre con la ayuda de un sharpie. Se realizó un registro de lo observado y hubo toma de fotografías.



Figura 26 Barreno de suelo con una profundidad de 30 cm

b) Análisis fisicoquímicos del agua

Se tomó muestra del agua del manantial con un tubo de ensayo de vidrio de 12 mm X 75 mm y se tomó agua con una pipeta de 1 ml donde se le agregaron de 2 a 5 gotas a los medidores de nutrientes de la marca HORIBA modelo LAQUA twin hasta cubrir la superficie en forma de pera, ahí se esperó a los resultados que solo toman algunos segundos, de ahí se anotaron en una libreta. Con la misma muestra de agua se tomó el análisis de los metales pesados de la marca Health Metric (Figura 8)

que son unas tiras que se colocaron dentro de la pipeta de agua y se esperaron 10 minutos para sus resultados los cuales al igual fueron registrados en la libreta.



Figura 32 Tiras de metales pesados de la marca Health Metric

4.2.2 Metodología de laboratorio

a) Estudio edafológico de los suelos

1) Determinación de textura del suelo por el método Llorca, et al. (2004)

Las muestras se sacaron de sus respectivas bolsas ziplock y se colocaron en bandejas extendidas cubiertas con papel estraza ya identificadas con el nombre (Figura 9), se secaron al aire libre por 24 h, se pesaron 300 g de suelo seco en una balanza digital TOR-REY con capacidad de 40 kg. Se prosiguió colocando tamices U.S.A Standard Testing Sieve VWR en un Rotap Modelo Tyler RX-29-10 (Figura 10) con un orden específico de: tapa, arena gruesa con apertura de malla de 2.0 mm, arena media con apertura de 1.0 mm, arena fina con apertura de 0.250 mm, limo con apertura de 0.90 micras (mc), arcilla con apertura de 0.45 micras y el fondo. Se agitaron durante un minuto y se preparó el contenido de los tamices, siendo arena gruesa, arena media y arena fina; los equivalentes para obtener el porcentaje del suelo con los primeros 3 tamices; limo por sí solo; y el último tamiz y fondo son los equivalentes para el porcentaje de arcilla. Las muestras se colocaron respectivamente en vasos de precipitado KIMAX de 250 ml para obtener cantidades en gramos. Para poder obtener el porcentaje de arena, se pesaron con la misma balanza utilizada anteriormente, los segmentos de arena, limo y arcilla de manera individual. Con las cantidades ya

notadas, se calcularon los porcentajes respectivamente con una regla de tres, teniendo en cuenta la muestra inicial con un peso de 300 g como el 100 %.

$$300 \text{ g} - - - 100 \%$$

$$\text{Fracción } g - x \%$$

Ya obtenidos los resultados, se utilizó el triángulo de texturas descrito por Boul, et al. (2000) para caracterizar el suelo. Teniendo un porcentaje equivalente de arena, limo y arcilla obtenidos, se trazaron puntos para después marcar líneas paralelas en el triángulo, estos determinan los límites porcentuales de cada componente, permitiendo así clasificar la textura del suelo en categorías como: franco arenoso, franco arcilloso, arcilloso arenoso, arcillo limoso, limoso arenoso, entre otros.



Figura 9 Muestras de suelo en bandejas de plástico rectangulares cubiertas con papel estraza identificadas con el nombre del manantial



Figura 10 Tamices U.S.A Standard Testing Sieve VWR en un Rotap Tyler RX-29-10

2) Análisis fisicoquímicos del suelo

Para la obtención de los análisis fisicoquímicos del suelo, se partió la muestra homogénea de suelo para pasarla a un tamizador U.S.A Standard Testing Sieve con una apertura de 2.00 mm, de esa muestra se toman 300 g para pasarla a un vaso de precipitado KIMAX de 500 ml donde se agregaron 100 ml de agua destilada para después agitarla; dicha muestra se depositó en el embudo Buchner con papel filtro Whatman #2 conectado a una bomba de vacío Mastercool que filtró la mezcla homogenizada anteriormente en un matraz Kitasato de 500 ml. Se obtuvo el agua filtrada de cada muestra de tierra y se pasó a un matraz de 125 ml, con una pipeta nueva de 1 ml se colocó el agua y se le agregaron de 2 a 5 gotas a los medidores de nutrientes de la marca HORIBA modelo LAQUA twin hasta cubrir el sensor óptico en forma de pera, ahí se esperó a los resultados que solo toman algunos segundos, de ahí se anotaron en una libreta.

3) Determinación de materia orgánica

Para la obtención de materia orgánica, se utilizó la misma agua filtrada utilizada en los análisis fisicoquímicos del suelo, para poder estimar en forma cualitativa si el contenido de materia orgánica en una muestra de agua es alto, medio o bajo se procedió a colocar en un tubo de ensayo 10 ml de muestra, se agregaron cinco gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluido (1:3) y tres gotas de solución de permanganato de potasio ($KMnO_4$) N/100. Se agitó y se dejó reposar hasta observar alguna reacción (Figura 10). En caso de no haber obtenido una decoloración, se recomienda calentar la muestra utilizando un mechero de alcohol, agitando cuidadosamente con unas pinzas para

evitar que el líquido salte del tubo. Según el contenido de materia orgánica de la muestra, variaría el consumo de $KMnO_4$ y el tipo de reacción observada (Tabla IV).

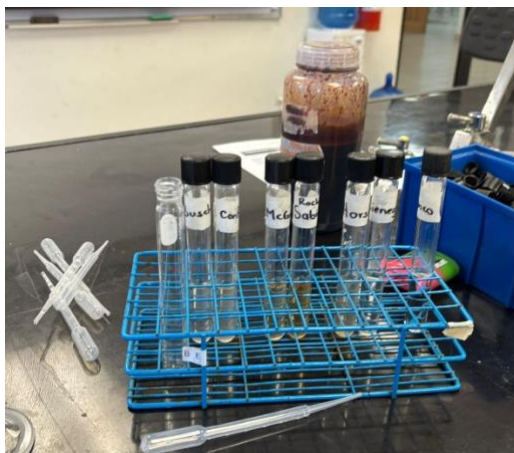


Figura 11 Muestra de la materia orgánica por su tipo de reacción

Tabla IV Determinación de la calidad de Materia Orgánica por su tipo de reacción

N Cantidad de M.O	Consumo de $KMnO_4$	Reacción
Alto	> 30 mg/l	Decolora sin calentar
Medio	20 – 30 mg/l	Decolora luego de hervir
Bajo	12 – 20 mg/l	Decolora luego de hervir y reposar
No detectable	< 12 mg/l	No decolora

Fuente: Departamento de ecología, genética y evolución. Universidad de Buenos Aires, 2008

V. RESULTADOS y DISCUSIÓN

5.1 Análisis físicoquímicos del agua

5.1.1 Nutrientes

Resultados exactos obtenidos de los análisis físicoquímicos descritos en la (Tabla V).

Tabla V Resultados físicoquímicos del agua

Análisis	Busch	Cienega	Confluence	Empire Ranch	Horse Camp	McGrew	Rock Ledge
Ca²⁺ (ppm)	34	290	230	120	262	10	33
CE (μS/cm)	144	1362	615	634	324	435	958
K⁺ (ppm)	250	230	210	49	13	110	130
Na⁺ (ppm)	30	120	21	52	21	40	140
NO₃⁻ (ppm)	11	10	11	10	9	9	31
pH	7.7	8.4	8.1	7.7	7.9	7.9	7.1

Nota; Estos son análisis que se realizaron en el agua Calcio (Ca²⁺), Conductividad Eléctrica (CE), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Nitrato (NO₃⁻), y pH.

a) Calcio (Ca²⁺); los valores varían ampliamente (10–290 ppm). Las concentraciones elevadas, como en Cienega (290 ppm) y Horse Camp (262 ppm), indican aguas muy duras, lo que puede causar incrustaciones en sistemas hidráulicos y afectar la absorción de otros nutrientes en plantas. Valores bajos, como en McGrew (10 ppm), podrían asociarse a deficiencia de calcio para cultivos o procesos industriales sensibles.

b) Conductividad Eléctrica (CE); los valores más altos (Cienega: 1362 μS/cm; Rock Ledge: 958 μS/cm) sugieren una alta presencia de sales disueltas, lo que puede limitar el uso agrícola (especialmente en plántulas, donde el umbral es 1000 μS/cm). Empire, Confluence y McGrew presentan valores intermedios, mientras que Busch muestra el menor (144 μS/cm), indicando agua de baja salinidad y mayor aptitud para riego y consumo.

c) Potasio (K^+); las concentraciones son inusualmente altas en todas las estaciones, especialmente en Busch (250 ppm), Cienega (230 ppm) y Confluence (210 ppm). Aunque el potasio no suele ser limitante ni tóxico para plantas en estos niveles, son inusualmente altos comparados con los valores naturales. Aunque para plantas rara vez generan toxicidad directa, en el caso del ganado y fauna silvestre, el riesgo depende de la especie, el tipo de dieta y la salud previa de los animales.

Para el ganado, no existen estándares universales estrictos sobre potasio máximo en agua potable, pero en general se considera que niveles hasta 20 mg/L no presentan riesgos. A partir de 250 mg/L, pueden presentarse problemas, especialmente en animales con disfunción renal, estrés o dietas altas en potasio. El exceso de potasio en animales puede alterar el equilibrio electrolítico, afectar la función cardíaca y muscular, y, en vacas lecheras preparto, aumentar el riesgo de hipocalcemia (fiebre de leche). En animales sanos, un episodio agudo de consumo de agua con potasio elevado puede no provocar efectos graves, pero la exposición crónica sí podría inducir problemas metabólicos si coincide con dietas ricas en potasio (Constable, 2021).

En fauna silvestre, no hay datos específicos en la literatura para la potabilidad respecto a potasio, pero los riesgos probablemente sean similares: animales con alimentación y acceso al agua variados pueden soportar transitoriamente cargas altas, pero concentraciones persistentemente tan elevadas podrían tener efectos adversos, especialmente en especies sensibles o en individuos enfermos (Swistock, 2024).

d) Sodio (Na^+); valores superiores a 50 ppm pueden ser problemáticos para el riego por el riesgo de sodificación del suelo y toxicidad en plantas sensibles. Cienega (120 ppm) y Rock Ledge (140 ppm) superan ampliamente este umbral, lo que podría afectar la estructura del suelo y limitar el uso agrícola sin tratamiento previo.

e) Nitrato (NO_3^-); todas las estaciones, excepto Rock Ledge (31 ppm), presentan valores entre 9–11 ppm. El límite para agua potable suele ser 10 ppm; por encima de esto se considera indicio de posible contaminación por aguas residuales o fertilizantes. Rock Ledge excede notablemente este valor, lo que representa un riesgo para la salud humana y evidencia contaminación significativa.

f) pH; los valores oscilan entre 7.1 (Rock Ledge) y 8.4 (Cienega). Un pH superior a 7.0 indica aguas alcalinas, lo que puede reducir la disponibilidad de micronutrientes

esenciales y favorecer la precipitación de algunos metales. Aunque estos valores no son extremos, el rango óptimo para la mayoría de los usos agrícolas y potables es 6.5–8.0; Cienega (8.4) y Confluence (8.1) están ligeramente por encima, lo que puede requerir ajustes para ciertos usos.

5.1.2 Metales pesados

Resultados obtenidos de los metales pesados (Tabla VI):

Tabla VI Resultados de metales pesados

Metales Pesados	Busch	Cienega	Confluence	Empire Ranch	Horse Camp	McGrew	Rock Ledge
Cu	0	0.5	0	0.5-1	0	0	0
Sn	0	0	0	0	0-10	0	0
Fe	0	0	0	0	0	0	0
Hg	0	0	0	0	0.5	0	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0
Pb	0	0	0	0	0	0	0
Zn	0	2-5	2	5-10	0	0	2

Nota; los metales pesados analizados son los siguientes: Cobre (Cu), Estaño (Sn), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn).

a) Cobre (Cu); se detecta en Cienega (0.5 mg/L), Confluence (0.5–1 mg/L) y Empire Ranch (0.5–1 mg/L). Estos valores están por debajo del límite máximo permitido para agua potable 2 mg/L según la normativa europea y 1.3 mg/L como nivel de acción de la EPA. Sin embargo, la presencia de cobre podría estar relacionada con aportes industriales, agrícolas o la corrosión de tuberías (EPA, s.f.).

b) Estaño (Sn); solo se detecta en Horse Camp (0–10 mg/L), siendo inusual encontrar estaño en agua natural en concentraciones apreciables. Aunque no existen límites internacionales estrictos para esta sustancia en agua potable, la presencia de estaño podría indicar contaminación puntual por actividades industriales o residuos de soldaduras.

c) Hierro (Fe), Níquel (Ni) y Plomo (Pb); no se detectan en ninguna estación (0 mg/L). Esto es positivo, ya que estos metales pueden ser tóxicos incluso en bajas concentraciones y su presencia suele asociarse a actividades industriales o a la corrosión de infraestructuras.

d) Mercurio (Hg); se detecta únicamente en Horse Camp (0.5 mg/L). Este valor supera ampliamente el límite permitido para agua potable (1 µg/L o 0.001 mg/L). La presencia de mercurio representa un riesgo significativo para la salud humana y el ambiente, ya que es altamente tóxico y puede bioacumularse en organismos acuáticos.

e) Zinc (Zn); se detecta en Cienega (2–5 mg/L), Confluence (2 mg/L), Empire Ranch (5–10 mg/L) y Rock Ledge (2 mg/L). Aunque el zinc es menos tóxico que otros metales pesados y su límite para agua potable suele ser de 3 mg/L, valores superiores pueden afectar el sabor del agua y tener efectos tóxicos en organismos acuáticos sensibles. Las concentraciones más altas en Empire Ranch (hasta 10 mg/L) podrían indicar contaminación puntual.

La mayoría de los metales pesados analizados no se detectan o están por debajo de los límites normativos para agua potable, lo que sugiere buena calidad en términos de contaminación metálica en la mayoría de los sitios. Las excepciones preocupantes son el mercurio en Horse Camp y el zinc en Empire Ranch, que superan los valores recomendados y podrían implicar riesgos para la salud y el ambiente si el agua se utiliza para consumo humano o riego. La presencia de metales pesados suele estar asociada a actividades antropogénicas como industria, minería o uso de fertilizantes y pesticidas, lo que resalta la importancia de monitorear fuentes potenciales de contaminación y tomar medidas preventivas.

5.2 Estudio edafológico del suelo

5.2.1 Determinación de textura de suelo

a) Manantial “Busch”. Los resultados obtenidos en la muestra arrojan que el suelo tiene un 80 % de arena, 13.3 % de limo y un 5 % de arcilla (Tabla VII). Dando una clasificación de textura de: Franco arenoso.

Tabla VII Registro de resultados de la muestra del manantial: Busch

Busch	Gramos	Porcentaje	Clasificación
Arena	240	80	
Limo	40	13.3	Franco arenoso
Arcilla	15	5	

b) Manantial “Cienega”. Los resultados obtenidos en la muestra arrojan que el suelo tiene un 91.6 % de arena, 5 % de limo y un 1.6 % de arcilla (Tabla VIII), dando una clasificación de textura de: Arena.

Tabla VIII Registro de resultados de la muestra del manantial: Cienega

Cienega	Gramos (gr)	Porcentaje (%)	Clasificación
Arena	275	91.6	
Limo	15	5	Arena
Arcilla	5	1.6	

c) Manantial “Confluence”. Los resultados obtenidos en la muestra arrojan que el suelo tiene un 53.3 % de arena, 33.3 % de limo y un 11.6 % de arcilla (Tabla IX), dando una clasificación de textura de: Franco.

Tabla IX Registro de resultados de la muestra del manantial: Confluence

Confluence	Gramos	Porcentaje	Clasificación
Arena	160	53.3	
Limo	100	33.3	Franco
Arcilla	35	11.6	

d) Manantial “Empire Ranch”. Los resultados obtenidos en la muestra arrojan que el suelo tiene un 78.3 % de arena, 11.6 % de limo y un 10 % de arcilla (Tabla X), dando una clasificación de textura de: Franco arenoso.

Tabla X Registro de resultados de la muestra del manantial: Empire Ranch

Empire Ranch	Gramos	Porcentaje	Clasificación
Arena	235	78.3	
Limo	35	11.6	Franco arenoso
Arcilla	30	10	

e) Manantial “Horse Camp”. Los resultados obtenidos en la muestra arrojan que el suelo tiene un 93.3 % de arena, 5 % de limo y un 1.6 % de arcilla (Tabla XI), dando una clasificación de textura de: Arena.

Tabla XI Registro de resultados de la muestra del manantial: Horse Camp

Horse Camp	Gramos	Porcentaje	Clasificación
Arena	280	93.3	
Limo	15	5	Arena
Arcilla	5	1.6	

f) Manantial “McGrew”. Los resultados obtenidos en la muestra arrojan que el suelo tiene un 86.6 % de arena, 6.6 % de limo y un 1.6 % de arcilla (Tabla XII), dando una clasificación de textura de: Arena.

Tabla XII Registro de resultados de la muestra del manantial: McGrew

McGrew	Gramos	Porcentaje	Clasificación
Arena	260	86.6	
Limo	20	6.6	Arena
Arcilla	5	1.6	

g) Manantial “Rock Ledge”. Los resultados obtenidos en la muestra arrojan que el suelo tiene un 80 % de arena, 13.3 % de limo y un 6.6 % de arcilla (Tabla XIII), dando una clasificación de textura de: Franco arenoso.

Tabla XIII Registro de resultados de la muestra del manantial: Rock Ledge

Rock Ledge	Gramos	Porcentaje	Clasificación
Arena	240	80	
Limo	40	13.3	Franco arenoso
Arcilla	20	6.6	

La textura del suelo se define por la proporción relativa de arena, limo y arcilla. Esta característica influye directamente en la capacidad de retención de agua y nutrientes, aireación, drenaje, así como en la disponibilidad de agua para las plantas y movilidad de contaminantes en sistemas naturales.

Los resultados analizados en siete manantiales muestran que la mayoría de los suelos tienen un predominio de arena, con clasificaciones texturales que oscilan entre “arena”, “franco arenoso” y “franco”, lo cual proporciona una visión aproximada de las características físicas del medio donde se desarrollan estos manantiales.

Los manantiales Busch, Empire Ranch, y Rock Ledge tienen una textura franco arenoso esto quiere decir que tiene un suelo con buen drenaje, pero con baja retención de humedad y nutrientes. Puede favorecer la rápida infiltración del agua, lo cual es útil para evitar el encharcamiento, pero limitado para cultivos que requieren suelos más fértiles o con mayor capacidad de retención de agua.

Los manantiales Cienega, Horse Camp, y McGrew con una textura de arena requiere prácticas especiales (como enmiendas orgánicas) para fines agrícolas o ecológicos. Si se considera su uso para conservación ecológica o riego, será necesario implementar medidas para reducir lixiviación y mejorar fertilidad.

Manantial Confluence con una textura franco, este es el único suelo clasificado como “franco”, considerado ideal para la mayoría de los cultivos por su buen equilibrio entre retención y drenaje, aireación adecuada y facilidad de trabajo. Tiene características físicas muy favorables desde el punto de vista agroambiental.

Predomina la textura “Arena” o “Franco arenoso”, observada en 6 de los 7 manantiales. Solo Confluence presenta un suelo francamente equilibrado (franco), lo que lo hace excepcionalmente apto para uso agrícola o natural debido a su textura intermedia. La alta concentración de arena en la mayoría de los suelos indica regiones con alta permeabilidad, bajo almacenamiento hídrico, y un alto potencial de lixiviación, lo que significa que contaminantes como sales y metales pesados podrían moverse fácilmente hacia el agua subterránea.

5.2.2 Análisis fisicoquímico del suelo

Resultados exactos obtenidos de los análisis fisicoquímicos analizados en los suelos (tabla XIV).

Tabla XIV Resultados fisicoquímicos del suelo

Análisis	Busch	Cienega	Confluence	Empire Ranch	Horse Camp	McGrew	Rock Ledge
Ca²⁺ (ppm)	73	82	310	160	31	140	110
CE (μS/cm)	767	1008	988	650	252	686	4.72
K⁺ (ppm)	93	22	45	110	17	71	61
Na⁺ (ppm)	22	53	20	55	36	40	790
NO₃⁻ (ppm)	75	180	87	310	140	170	540
pH	8.3	8	8.2	8.1	8.3	8.2	8.1

Nota; Estos son análisis que se realizaron en el agua Calcio (Ca²⁺), Conductividad Eléctrica (CE), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Nitrato (NO₃⁻), y pH.

a) Calcio (Ca²⁺); Rango: 31 ppm (Horse Camp) – 310 ppm (Confluence). El calcio es esencial para estabilizar la estructura del suelo y facilitar la absorción de nutrientes. El valor más alto encontrado en Confluence (310 ppm) sugiere una mayor fertilidad y buena estructura. Por el contrario, valores bajos como en Horse Camp (31 ppm) podrían asociarse con suelos degradados o lixiviados, comunes en suelos altamente arenosos como se observó en su análisis textural.

b) Conductividad eléctrica (CE); Rango: 4.72 μS/cm (Rock Ledge) – 1008 μS/cm (Cienega). La CE es un indicador indirecto de la salinidad del suelo. Valores mayores a 800 μS/cm, como en Cienega (1008 μS/cm) y Confluence (988 μS/cm), deben considerarse con precaución, ya que pueden afectar cultivos sensibles a la sal. Rock Ledge muestra un valor extremadamente bajo (4.72 μS/cm), excepcionalmente bajo incluso para suelos no salinos, lo que podría deberse a un error o a condiciones muy pobres en sales disueltas.

c) Potasio (K⁺); Rango: 17 ppm (Horse Camp) – 110 ppm (Empire Ranch). El potasio es vital en procesos fisiológicos de las plantas. Suelos con valores entre 40 y 80 ppm son considerados medianamente fértiles. Empire Ranch (110 ppm) y Busch (93

ppm) ofrecen niveles óptimos, mientras que Horse Camp (17 ppm) refleja una deficiencia significativa, posiblemente debido a su naturaleza arenosa (poca retención de nutrientes).

d) Sodio (Na^+): Rango: 20 ppm (Confluence) – 790 ppm (Rock Ledge). El sodio en exceso puede causar problemas graves de salinización y sodificación del suelo, afectando su estructura y capacidad de infiltración. Rock Ledge presenta una concentración alarmante (790 ppm), lo que sugiere un suelo con problemas de sodificación severos, potencialmente limitando el crecimiento vegetal y afectando la infiltración del agua. El resto de los sitios presentan concentraciones moderadas, pero Cienega (53 ppm) y Empire Ranch (55 ppm) deben ser monitoreados si se usan para agricultura.

e) Nitratos (NO_3^-): Rango: 75 ppm (Busch) – 540 ppm (Rock Ledge). El nitrato es una forma nitrogenada soluble y esencial para la nutrición vegetal, pero también es altamente móvil en el suelo, y su exceso puede llevar a la contaminación de aguas subterráneas. Empire Ranch (310 ppm) y Rock Ledge (540 ppm) presentan niveles muy elevados, lo que puede indicar una contaminación por fuentes agrícolas o aguas residuales, aumentando el riesgo de lixiviación hacia los manantiales asociados.

f) pH: Rango: 8.0 – 8.3, en todos los sitios. Todos los suelos presentan un pH ligeramente alcalino, típico de regiones semiáridas o con materiales calcáreos. Este valor es generalmente apto para la mayoría de los cultivos, aunque puede afectar la disponibilidad de ciertos micronutrientes (como hierro o fósforo) a largo plazo.

5.2.3 Análisis fisicoquímico relación agua-suelo

a) Potasio (K^+): En el agua las concentraciones en Busch (250 ppm), Cienega (230 ppm) y Confluence (210 ppm) son notoriamente altas respecto a los otros sitios y a valores típicos de agua natural. En el suelo los valores son mucho menores (máximo 110 ppm en Empire Ranch), destacando el desbalance agua/suelo en Busch, Cienega y Confluence, donde el agua lleva mucho más potasio que el suelo. Esto sugiere una fuente puntual o antropogénica de potasio para el agua, probablemente por fertilizantes o descargas, ya que no hay una relación directa con el contenido de K del suelo.

b) Conductividad eléctrica (CE); Agua y suelo coinciden en indicar una carga salina importante en ciertos sitios, posiblemente por aporte de sales solubles.

c) Nitratos (NO_3^-); En el agua son generalmente bajos (9-11 ppm), solo Rock Ledge muestra 31 ppm y en el suelo son mucho más altos (hasta 540 ppm en Rock Ledge), sugiriendo que la mayor parte del nitrato permanece en la fase sólida y hay poco lixiviado hacia el agua, salvo en Rock Ledge.

d) Sodio (Na^+); En el agua aumenta especialmente en Cienega (120 ppm) y Rock Ledge (140 ppm) y en el suelo Rock Ledge presenta un valor muy elevado (790 ppm); los otros sitios tienen suelos con mucho menos sodio. El caso de Rock Ledge sugiere un proceso acumulativo de sodio, probablemente por evaporación o aporte externo sostenido.

e) Calcio (Ca^{2+}); Agua y suelo muestran variabilidad, pero en general no hay desbalances llamativos salvo en Cienega (agua: 290 ppm, suelo: 82 ppm).

f) pH; Agua y suelo son claramente alcalinos (pH 7.7-8.4), típico de ambientes áridos/semiáridos, pero elevados para ecosistemas acuáticos.

5.2.4 Determinación de materia orgánica

En la (Figura 12) se puede observar como el manantial Busch no tuvo ninguna reacción al tocar los reactivos así que solo a esa muestra se le calentó con ayuda del mechero y se dejó reposar solo así tuvo un poco de cambio (Figura 13). A continuación, los resultados de la materia orgánica (Tabla XV).

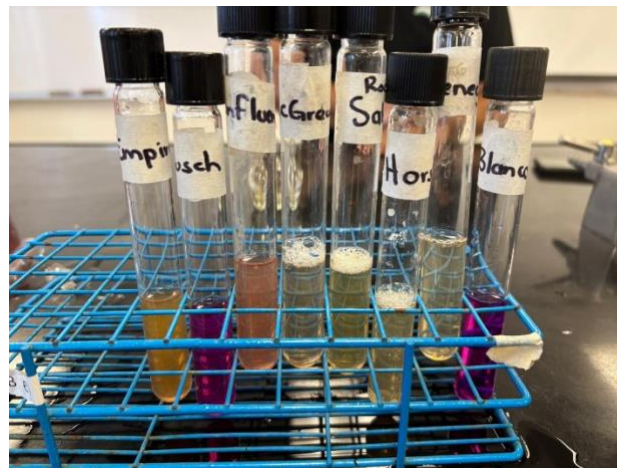


Figura 12 Muestras sin de hervir

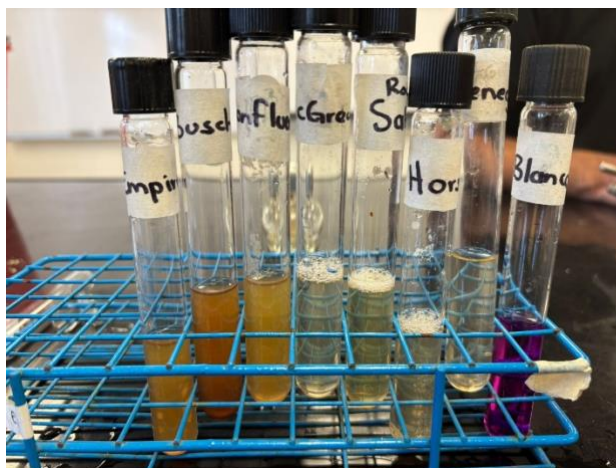


Figura 13 Muestras después de hervir

Tabla XV Valores de los manantiales en materia orgánica

Muestra	M.O	Valores
Busch	Bajo	12-20 mg/L, decolora luego de hervir y reposar
Cienega	Alto	>30 mg/L, decolora sin calentar
Confluence	Medio	20-30 mg/L, decolora luego de hervir
Empire Ranch	Medio	20-30 mg/L, decolora luego de hervir
Horse Camp	Alto	>30 mg/L, decolora sin calentar
McGrew	Alto	>30 mg/L, decolora sin calentar
Rock Ledge	Alto	>30 mg/L, decolora sin calentar

Manantial Busch presenta menor concentración de M.O. (<20 mg/L), lo que indica baja actividad biológica o escasa descomposición orgánica, lo cual es favorable para potabilización. La necesidad de hervir y reposar para decolorar sugiere materia orgánica moderadamente estable.

Cienega, Horse Camp, McGrew y Rock Ledge muestran altos niveles de M.O. (>30 mg/L) que se decoloran sin calentar, indicando materia orgánica más fina o de origen fácilmente oxidable, como compuestos orgánicos solubles provenientes de raíces, lixiviados superficiales o vegetación en descomposición. Estos sitios, por lo tanto,

podrían tener mayor riesgo de eutrofización o costos operativos mayores si el agua se trata para consumo.

Confluence y Empire, con niveles medios (20–30 mg/L), requieren calentamiento para decoloración, lo cual es típico de M.O. más humificada o pesada, posiblemente constituida por compuestos húmicos persistentes provenientes de suelos ricos en materia vegetal.

Implicaciones generales:

Los manantiales con mayor materia orgánica fácilmente removible sin calentar (Cienega, Horse Camp, McGrew, Rock Ledge) podrían reflejar una mayor carga de entrada reciente de residuos vegetales o exudados del suelo.

Los que requieren hervor para precipitar la M.O. (Busch, Confluence, Empire) presentan un entorno con materia orgánica más estable, menos reactiva y probablemente de mayor antigüedad biológica o humificación.

El exceso de materia orgánica puede; reducir la calidad del agua visualmente, aumentar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), favoreciendo procesos de eutrofización, y generar subproductos tóxicos en el proceso de cloración, como los trihalometanos (THMs).

5.3 Vegetación

a) Manantial Busch; en la (Figura 14) se puede observar una vegetación compuesta principalmente por pastos y algunas plantas herbáceas. Entre los detalles notables están: pastos secos, indicando un área que probablemente ha experimentado condiciones de sequía o calor reciente. Plantas herbáceas verdes, estas presentan hojas anchas y de color verde, lo que indica que son plantas que todavía retienen humedad. Musgo o vegetación rasante, en las zonas más sombrías y cercanas a las áreas húmedas, se nota la presencia de vegetación de bajo perfil. No se observan árboles pequeños ni plantas leñosas jóvenes. Destacan los restos de troncos quemados en primer plano, lo que indica que la zona fue afectada por un incendio reciente.



Figura 14 Vegetación observada en el manantial Busch

b) Manantial Cienega; en la (Figura 15) se puede observar una vegetación propia de un entorno ribereño o de un pequeño humedal. Árboles de ribera: hay varios árboles de tamaño grande y mediano, muchos de ellos con copas densas y hojas verdes, típicos de zonas donde hay acceso constante a agua. También se observan varios troncos caídos, posiblemente por inundaciones o tormentas. Se aprecian arbustos y matorrales de hojas verdes, algunos sobresaliendo por encima del agua. Vegetación herbácea y gramíneas, se nota vegetación baja, compuesta por pastos, hierbas y gramíneas, en tonos verdes y amarillos. Plantas acuáticas, se observa una capa de algas o lentejas de agua, característica de cuerpos de agua estancada o de lento flujo. Plantas flotantes y sumergidas, hay pequeñas manchas verdes oscuras en el agua, que corresponden a plantas propias de ese hábitat.



Figura 15 Vegetación observada en el manantial Cienega

c) Manantial Confluence; en la (Figura 16) se observa hierbas de hoja ancha, se aprecian plantas herbáceas de hojas ovaladas, posiblemente especies como lengua de vaca (*Rumex sp.*) o similares, adaptadas a suelos húmedos. Pastos y gramíneas hay varias áreas con pastos verdes que crecen en zonas donde el suelo parece estar mojado o incluso lodoso. Matorrales bajos se observan arbustos o tallos de plantas más leñosas, que suelen prosperar junto a corrientes de agua. Plantas pequeñas y rastreras hay pequeñas plantas de porte bajo, probablemente musgos, hepáticas o plántulas típicas de ambientes húmedos y sombríos. Restos de troncos y madera caída, aunque no es vegetación viva hay presencia de madera, lo que puede influir en la flora del suelo al mantener la humedad y servir de refugio para pequeñas plantas.



Figura 16 Vegetación observada en el manantial Confluence

d) Manantial Empire Ranch; en la (Figura 17) se observa arbustos y matorrales de ramas delgadas y hojas pequeñas, probablemente sauces o similares que suelen crecer cerca de cuerpos de agua. Hierbas y pasto bajo, de tipo seco, que crecen en las zonas donde el suelo está más alejado del cauce, indicando posiblemente un ambiente semiárido o de transición. Algunos árboles pequeños o arbustos altos con

follaje verde claro, adaptados a suelos con humedad variable. Cerca del agua se notan plantas de ribera, que suelen desarrollarse a la orilla de arroyos y proporcionan sombra y protección al ecosistema acuático. La vegetación es variada, predominando plantas adaptadas tanto a la presencia de agua como a condiciones más secas en los bordes del arroyo.

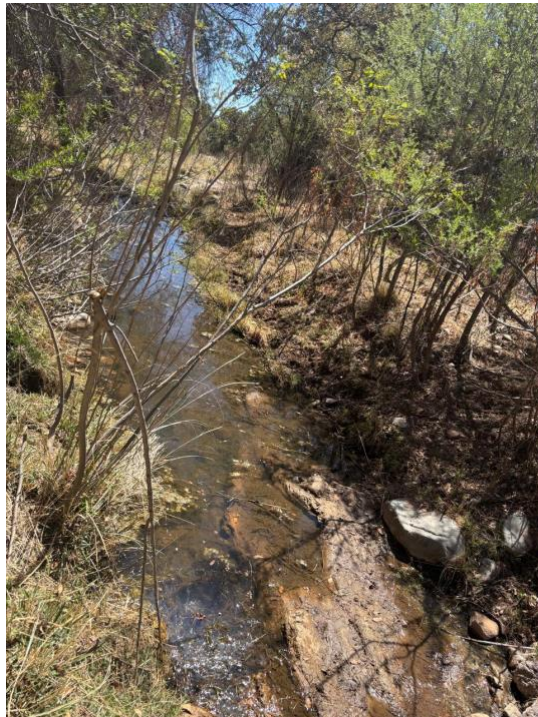


Figura 17 Vegetación observada en el manantial Empire Ranch

e) Manantial Horse Camp; en la (Figura 18) se puede observar árboles de tronco delgado y corteza clara posiblemente álamos, sauces o fresnos, especies típicas en zonas cercanas a arroyos debido a su preferencia por suelos húmedos. Arbustos y ramas bajas hay varias plantas arbustivas creciendo cerca del suelo, que suelen aprovechar la humedad cerca del agua. Hierbas y sotobosque en el suelo se ven diversas hierbas y vegetación baja, mezcladas con hojarasca y ramas caídas. Vegetación acuática o semiacuática a orillas y dentro del manantial hay plantas de pequeño tamaño que indican la presencia constante de agua. Musgos o cobertura vegetal baja: Puede haber parches verdes cerca del agua, que podrían corresponder a musgos, algas o plantas que prosperan en zonas encharcadas.

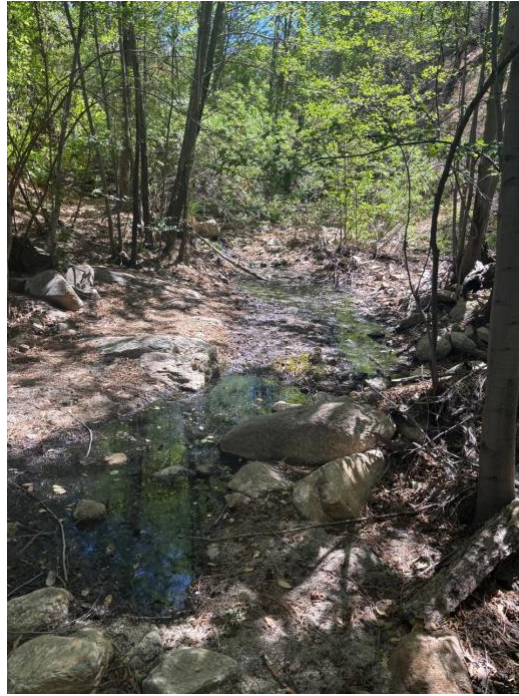


Figura 18 Vegetación observada en el manantial Horse Camp

f) Manantial McGrew; en la (Figura 19) se observa una vegetación propia de zonas semiáridas o matorrales, posiblemente de tipo chaparral o bosque bajo. Arbustos medianos y bajos predominan los arbustos con follaje verde claro a medio, con ramas delgadas y enmarañadas, posiblemente especies como mezquite, huizache, o algún tipo de acacia. Árboles pequeños hay algunos árboles jóvenes o de crecimiento lento, de tronco delgado, adaptados a suelos secos y pedregosos. Hierbas y pastos dispersos el suelo tiene zonas cubiertas de pasto corto y hierbas poco densas, que crecen entre las piedras. Escasa cobertura vegetal alta no hay árboles grandes ni vegetación densa, lo que es característico de regiones con lluvias escasas. Rocas y suelo descubierto el terreno es pedregoso, con muchas piedras visibles y parches de tierra expuesta.



Figura 19 Vegetación observada en el manantial McGrew

g) Manantial Rock Ledge; en la (Figura 20) se observa árboles y arbustos hay varios árboles visibles, uno más prominente en primer plano, así como algunos árboles o palmas verdes en el fondo. Vegetación seca y ramas en el suelo se aprecia una abundante cantidad de ramas secas y tallos delgados, lo que sugiere que ha habido poda, desbroce o presencia de plantas anuales que han perdido su follaje. Lo cual voluntarios de Sky Island Alliance están extrayendo desde la raíz al carrizo (*Phragmites australis*) porque estaba secando al manantial. Brotes verdes entre los restos secos, se pueden distinguir pequeños brotes y algunos tallos verdes, indicando el inicio de un nuevo crecimiento vegetal. Vegetación de zona árida se observan cactus columnares, típicos de zonas desérticas, y vegetación propia de matorral xerófilo.



Figura 20 Vegetación observada en el manantial Rock Ledge

VI. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusión

La actividad ganadera genera efectos negativos directos e indirectos sobre los manantiales, tales como compactación de suelos, aporte de excretas, y degradación de la vegetación ribereña, con implicaciones significativas en la calidad fisicoquímica del agua y el suelo, y en los servicios ecosistémicos que prestan estos cuerpos de agua.

Contaminación del agua por nutrientes y metales; se detectaron niveles elevados de nitratos en algunos manantiales, particularmente en Rock Ledge (31 ppm en agua, 540 ppm en suelo) y Empire (310 ppm en suelo), que superan los límites permitidos por normativas internacionales. Esto indica alta presión por lixiviación de compuestos nitrogenados, posiblemente de origen fecal o fertilizante. Aunque la mayoría de los metales pesados estuvieron por debajo de los límites normativos, se detectaron niveles preocupantes de zinc en Empire (5–10 mg/L) y presencia de mercurio en Horse Camp (0.5 mg/L), lo que podría representar un riesgo toxicológico si no se toman medidas correctivas.

Suelos con alta permeabilidad; los análisis texturales indican una dominancia de suelos con textura arenosa o franco arenosa, lo que implica baja retención de nutrientes y agua, alta susceptibilidad a la lixiviación de contaminantes, y escasa fertilidad natural. Solo el manantial Confluence presentó un suelo de textura franca, el cual ofrece condiciones más equilibradas y fértiles. Salinidad y sodificación; la conductividad eléctrica fue alta en varios suelos (Cienega, Confluence, Rock Ledge), lo que refleja una acumulación de sales, mientras que Rock Ledge presentó un exceso de sodio (790 ppm), sugiriendo sodificación severa del suelo, lo que podría comprometer la estructura y la capacidad de infiltración del suelo. Abundancia de materia orgánica reactiva; manantiales como Cienega, McGrew, Rock Ledge y Horse Camp mostraron materia orgánica en concentraciones superiores a 30 mg/L, la mayoría fácilmente oxidable, lo que sugiere aportes recientes de residuos vegetales o ganado. Esto puede promover procesos como la eutrofización, el aumento de la DBO y la formación de subproductos tóxicos como trihalometanos (THMs) en procesos de

tratamiento de agua. Vulnerabilidad ecológica combinada; la combinación de suelos sueltos y drenantes, altos niveles de nitrógeno, metales pesados puntuales, y niveles elevados de materia orgánica sugiere que los manantiales están altamente vulnerables a la contaminación difusa proveniente del pastoreo intensivo y de la falta de control en la gestión de residuos agrícolas y ganaderos.

Este estudio evidencia cómo la actividad ganadera, cuando no se maneja adecuadamente, puede generar impactos severos en los sistemas hídricos y edáficos, particularmente en ambientes frágiles como los de Arizona. Implementar un enfoque de manejo integrado, comunitario y basado en evidencia científica permitirá conservar los manantiales, asegurar el acceso a agua de calidad y proteger la biodiversidad asociada a estos ecosistemas únicos y amenazados.

6.2 Recomendaciones

a) Implementar planes de manejo ganadero sustentables:

Establecer cercas para excluir al ganado de manantiales, evitando el ingreso directo de animales al agua, compactación del suelo y destrucción de la vegetación ribereña. Promover buenas prácticas de pastoreo rotacional y controlado, evitando el sobrepastoreo y permitiendo la regeneración natural del ecosistema ribereño.

b) Remediación de suelos afectados:

En suelos altamente sodificados (como en Rock Ledge), se recomienda aplicar agentes enmiendas correctivas como yeso agrícola e incorporar materia orgánica para recuperar su estructura y funcionalidad.

Rehabilitar suelos con deficiencia de potasio y calcio mediante fertilización orgánica o compostaje, enfocándose en el manantial de Horse Camp.

c) Monitoreo constante del agua y suelo:

Establecer un programa de monitoreo semestral para evaluar nutrientes, metales pesados y materia orgánica en agua y suelo.

Implementar el uso de sensores y muestreo geo-referenciado para generar mapas de riesgo y zonas prioritarias de intervención.

d) Restauración ecológica de la vegetación riparia: Reforestar con especies nativas resistentes a sequía en zonas degradadas, para reforzar la filtración natural del agua, estabilizar el suelo y restaurar hábitats para especies locales.

e) Educación ambiental y cooperación con comunidades locales:

Realizar talleres y capacitación dirigida a productores ganaderos y agrícolas sobre los impactos de sus actividades y alternativas sustentables.

Fomentar la gestión comunitaria del agua, con participación de usuarios rurales en el cuidado y monitoreo de los manantiales.

f) Fortalecer la regulación y políticas de protección de manantiales:

Reforzar la aplicación de normativas ambientales ya existentes que regulan el uso del suelo en zonas de recarga hídrica.

Promover la declaratoria de áreas protegidas o corredores ecológicos en los sitios más representativos y vulnerables.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Admin. 2023. Rivers and Agriculture. Rivers are life. <https://riversarelife.com/es/articles/rivers-and-agriculture>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2003 resumen de Salud Pública; Fluoruros, Fluoruro de Hidrógeno y Fluór. ATSDR.gov
- Alfaro, C.M., & Wallace, M. (1994). Origin and classification of springs and historical review with current applications. *Environmental Geology*, 24, 112-124.
- Al-Hamouz, O. C. S., Estatie, M., and Saleh, T. A. 2017. "Removal of cadmium ions from wastewater by dithiocarbamate functionalized pyrrole based terpolymers," Sep. Purif. Technol., vol. 177, pp. 101-109.
- Aquafix. (S.f). Comprensión y tratamiento de las interacciones de cuat con las plantas de aguas residuales. Aquafix Inc. <https://teamaquafix.com/es/cuat-toxicidad/>
- Artiola J.F. Farell-Poe K.L. Moxley J.C. 2004-2006-2007. ¿Conoces tu agua Arizona? The University of Arizona
- Badger Meter. (S.f). Potasio (K+). Recuperado 19 de marzo de 2025. <https://www.badgermeter.com/es-us/parametros-monitoreo-calidad-agua/potasio/>
- Baquero, J. E. (2012). Los minerales en el suelo. Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia, 24.
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo R.F., Gutierrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. AEET. Ecosistemas 13 (2): 90-97.
- Bentivegna, Diego Javier., Zalba, Sergio Martin. 2014. Plantas invasoras. Malezas e invasoras de la Argentina: Ecología y Manejo. Universidad Nacional del Sur. 1; 227-262.
- BLM, Division of Education. (S, F). Plantas Nativas. División de educación, interpretación y colaboración de BLM.
- Borax, (S. F). Efectos del sodio en bórax en los suelos y cultivos. 20 Mule Team, Borax. USBorax. <https://agricultura-espanol.borax.com/resources/agronomy-notes/soil-and-crop-issues/effects-of-sodium-in-borax-on-soils-and->

[crops#:~:text=El%20sodio%20\(Na\)%20se%20encuentra,cultivos%20contienen%20algo%20de%20Na.](#)

Bryan, Kirk, "Classification of Springs" (1919). USGS Staff -- Published Research. 493.

<https://digitalcommons.unl.edu/usgsstaffpub/493>

Cabrera Molina, E., Hernández Garcíadiego, L., Gómez Ruíz, H., Cañizares Macías, M.P. 2003. Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. 47. 1. SciELO.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014

Cartwright, J. M., K. A. Dwire, Z. Freed, S. J. Hammer, B. McLaughlin, L. W. Misztal, E. R. Schenk, J. R. Spence, A. E. Springer, and L. E. Stevens. 2020 Oases of the future? Evaluating springs as potential hydrologic refugia in drying climates. *Frontiers in Ecology and the Environment* 18:245–253.

Castellanos, J.Z. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Segunda edición. Intagri, S.C. Guanajuato, México. 226 p.

Ciancaglini, Nicolás (2018). Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. Universidad Nacional de San Martín. Perú.

Civieta, O. 2024. La agricultura intensiva y las macrogranjas contaminan el agua que consumen más de 200.000 personas de España. *Climática*.

Comision Nacional del Agua (CONAGUA). 2017. Las propiedades del agua. Gobierno de México.

Constable, P. D. 2021. *Descripción general de los trastornos del metabolismo del potasio en animales*. Manual de Veterinaria de Merck. <https://www.merckvetmanual.com/es-us/trastornos-metab%C3%B3licos/trastornos-del-metabolismo-del-potasio/descripci%C3%B3n-general-de-los-trastornos-del-metabolismo-del-potasio-en-animales>

COSMOS. 2025. Información Técnica y Comercial del Cloruro de Sodio (tratamiento de aguas y aplicaciones diversas). Cosmo Online. <https://www.cosmos.com.mx/wiki/cloruro-de-sodio-tratamiento-de-aguas-y-aplicaciones-diversas-gpnw.html>

- Delgado Martorell, Sergio. 2023. pH del agua: 10 cosas que debes saber. PRISMAB.
<https://prismab.com/blog/ph-del-agua-10-cosas-que-debes-saber/>
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Economía.* *Ganadería.* 2019.
<https://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/gana/default.aspx?tema=e>
- Elija flores. 2024. Entendiendo el agua subterránea de Arizona.
<https://www.audubon.org/es/noticias/entendiendo-el-agua-subterranea-de-arizona>
- EM. 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis, Washington, DC. Island Press.
- Engels, C.L. 2001. The effect of grazing intensity on rangeland hydrology. NDSU Central Grasslands Research Extension Center.
Http://www.ag.ndsu.nodak.edu/streeter/2001report/chad_engels.
- EPA. S.f. *Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable | Agua potable en español | US EPA.* (s. f.).
<https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/estandares.html>
- FAO. 1996. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. Home | Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/4/w1309s/w1309s00.htm#TopOfPage>
- FAO – 2006a. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2006a. FAOSTAT. Roma.
<Http://faostat.fao.org/default.aspx?lang=es>
- FAO – 2006b. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Las repercusiones del ganado en el medio ambiente. Revista de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. 2019. Portal de suelos de la FAO. Disponible en: <https://bit.ly/2DOskQv>

- Giulia Graziati. 2025. Qué son los manantiales de agua y cómo se forman. Ecología verde. https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-manantiales-de-agua-y-como-se-forman-5281.html#anchor_2
- Griffiths, R. E., D. E. Anderson, and A. E. Springer. 2008. The morphology and hydrology of small spring-dominated channels. *Geomorphology* 102:511–521.
- Guerrero, G., Andrés. 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Gutiérrez, I. (2016). Los nitratos en la ganadería. Engormix. https://www.engormix.com/lecheria/intoxicacion-nitratos/los-nitratosganaderia_a32945/
- Jensen, T. S. y Glyki, E. 2010. Costes y beneficios de la agricultura. Worldwatch Institute. Europa.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. y Schuman, G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10
- Konijnengbur, A. v. (2006). Agricultura orgánica. El suelo: sus componentes físicos. [https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-mpinta_material_didactico_nro_01_\(1\).pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-mpinta_material_didactico_nro_01_(1).pdf)
- Loaiza, Y.A., Osorio, A.L. 2009. Gestión del agua en el sector de la ganadería bovina en la cuenca rio “La vieja” departamentos de quindío y risaralda. Universidad tecnológica de Pereira.
- Los Padres. 2018. Pastoreo excesivo. Forest Watch Inc. | Bosque de los Padres. <https://lpfw.org/es/our-work/ending-resource-abuse/overgrazing/>
- Luzardo, OP; Henríquez Hernández, LA; Zumbado, M; Boada, LD. 2014. Impacto de las instalaciones ganaderas sobre la calidad y seguridad del agua subterránea. *Revista de Toxicología*, vol. 31, núm. 1, enero-junio, pp. 39-46 Asociación Española de Toxicología. Pamplona, España
- Martínez J., Drabert P., Barrington S., Burton C. (2009). Livestock waste treatment systems for environmental quality, food safety, and sustainability. *Bioresour Technol* 100: 5527-5536.

- Meinzer, O. E. 1923. Outline of ground-water hydrology, with definitions. Water Supply Paper 494. U.S. Geological Survey, Washington, D.C., USA.
- McDonald, M. y Simon, J. 2011. Climate, food security, and growth: Ethiopia's Complex Relationship with Livestock. Brighter Green. New York.
- Mohammad, A. M., Salah, T. A., Hassan, M. A., and El-Anadouli, B. E. 2017. "Efficient treatment of lead-containing wastewater by hydroxyapatite/chitosan nanostructures," Arab. J. Chem., vol. 10, no. 5, pp. 683-690.
- Mohan, D., Singh, K. P., and Singh, V. K. 2006. "Trivalent chromium removal from wastewater using low cost activated carbon derived from agricultural waste material and activated carbon fabric cloth," J. Hazard. Mater., vol. 135, no. 1-3, pp. 280-295.
- MYCAL. (2022). Composición del suelo MYCAL. <https://mycal.com.pe/composiciondel-suelo/>
- Nekola, J. C. 1999. Paleorefugia and neorefugia: the influence of colonization history on community pattern and process. Ecology 80:2459–2473.
- Pablón, S.E., Benítez, R., Sarria, R.A., Gallo, J.A. 2000 Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. SciELO.
- Pinkus, J. (2024). Soil Testing in Tucson, Arizona. Alluvial Soil Lab. <https://alluvialsoillab.com/blogs/soil-testing/soil-testing-in-tucson-arizona>
- Ponce, V. M. 2022. Salinidad en agua subterránea. [https://ponce.sdsu.edu/salinidad en agua subterranea.html](https://ponce.sdsu.edu/salinidad%20en%20agua%20subterranea.html)
- Proain. 2020. Clasificación del agua por su dureza. Proain Tecnología Agrícola.
- PureAqua. 2020. Cómo eliminar el Sulfato de Agua. PureAqua, Inc.
- Reitec. (S.f). Conductividad eléctrica. Reitec.es <https://www.reitec.es/Pdf/agua01.pdf>
- Robillard, P. D., Sharpe, W. E. 2023. Nitratos en le agua potable. PennState Extension. <https://extension.psu.edu/nitratos-en-el-agua-potable>
- Sadeghian Khalajabadi, Siavosh (2010). La materia orgánica: Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. Chinchiná, Colombia: Cenicafé.
- Sharrow, S. H. 2003. Soil compaction during forest grazing. The Grazier, 317:2. Oregon State University.

- Singer, M.J. y Ewing, S. 2000. Soil Quality. En Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Springer, Abraham & Stevens, Lawrence. (2009). Spheres of discharge of springs. Hydrogeology Journal. 17. 83-93. 10.1007/s10040-008-0341-y.
- Sparling, G.P. 1997. Soil Microbial Biomass, Activity and Nutrient Cycling, as Indicators of Soil Health. En Biological Indicators of Soil Health (eds. Pankhursts, C.E., Doube, B.M. y Gupta, V.S.R.), pp. 97-105, Cab International, Oxon, UK.
- SQI-Soil Quality Institute. 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- SRP. S.F. Administrando el agua en el desierto. <https://www.srpnet.com/es/control-red-de-agua/control-del-agua/recursos-de-agua>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., Haan, C. 2009. La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. FAO.
- Stevens, L. E., E. R. Schenk, and A. E. Springer. 2020. Springs ecosystem classification. Ecological Applications 00(00): e002218. 10.1002/eap.2218
- StoryMaps. 2025. Entendiendo el agua subterránea de Arizona. *ArcGIS StoryMaps*. <https://storymaps.arcgis.com/stories/15626a9d3add46f3967a6b6eb274714c>
- Suez. 2022. Qué es y como eliminar el sulfuro de hidrógeno. Suez en España. <https://www.suez.com/es/aire-espana/noticias/que-es-y-como-eliminar-el-sulfuro-de-hidrogeno>
- Swistock, B. 2024. Interpretación de los análisis del agua de riego. PennState Extension. <https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego>
- Telemundo. 2023. Arizona demanda a empresas por elaborar productos químicos que contaminan aguas subterráneas. Telemundo Phoenix/ Tucson. <https://www.telemundoarizona.com/noticias/local/arizona-demanda-a-empresas-por-elaborar-productos-quimicos-que-contaminan-aguas-subterraneas/2317938/>

- Trimble, S.W y Mendel, A.C. 1995. The cow as a geomorphic agent a critical review. *Geomorphology*. 13:233-253.
- Trivedi, P., and Axe, L. 2000. "Modeling Cd and Zn sorption to hydrous metal oxides," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 34, no. 11, pp. 2215-2223.
- Ahmed, M. A., Ali, S. M., El-Dek, S. I., and Galal, A. 2013. "Magnetite-hematite nanoparticles prepared by green methods for heavy metal ions removal from water," *Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol.*, vol. 178, no. 10, pp. 744-751.
- Turnur, K., Georgiou, S., Clark, R., Brouwer, R., Burke, J. 2004. Economic valuation of water resources in agriculture. From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. FAO water reports n. °27. FAO, Roma. [Http://www.fao.org/docrap/007/y5582e/y55682e00.htm](http://www.fao.org/docrap/007/y5582e/y55682e00.htm).
- Wu, C. Y., Mouri, H., Chen, S. S., Zhang, D. Z., Koga, M., and Kobayashi, J. 2016. "Removal of trace-amount mercury from wastewater by forward osmosis," *J. Water Process Eng.*, vol. 14, pp. 108-116.

VIII ANEXOS

Anexo A. Manantial "Busch".



Anexo B. Manantial "Cienega".



Anexo C. Manantial "Confluence".



Anexo D. Manantial "Empire Ranch".



Anexo E. Manantial "Horse Camp".



Anexo F. "McGrew".



Anexo G. Manantial "Rock Ledge".

