



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Compilación de actividades para el  
aprendizaje significativo de la geología  
en el contexto de problemáticas  
socioambientales actuales**

**MATERIAL DIDÁCTICO**

Que para obtener el título de

**Ingeniera Geóloga**

**P R E S E N T A**

Marian Yexalén Ortiz Ortiz

**ASESORA DE MATERIAL DIDÁCTICO**

Dra. Laura Mori



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y  
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL  
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado COMPILACION DE ACTIVIDADES PARA EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE LA GEOLOGIA EN EL CONTEXTO DE PROBLEMATICAS SOCIOAMBIENTALES ACTUALES que presenté para obtener el título de INGENIERO GEÓLOGO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

---

**MARIAN YEXALEN ORTIZ ORTIZ**  
Número de cuenta: 420052971

## Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>Actividades.....</b>	<b>5</b>
Agua Superficial e Inundaciones .....	5
Las inundaciones en Cedar Falls, Iowa, Estados Unidos de América (EUA) .....	5
Riesgo de inundaciones .....	16
Geología Económica.....	19
Las Tierras Raras (REE): elementos críticos para el futuro.....	19
Deslizamientos en Masa .....	24
El caso del deslizamiento de Oso, Washington, Estados Unidos de América (EUA) .....	24
Peligro Volcánico .....	31
Monitoreo volcánico del Monte Rainier, Washington, Estados Unidos de América (EUA).....	31
Agua Subterránea.....	43
Disponibilidad de Agua Subterránea en el Condado de Gaines, Texas, Estados Unidos de América (EUA)....	43
<b>Soluciones.....</b>	<b>49</b>
Agua Superficial e Inundaciones .....	49
Las inundaciones en Cedar Falls, Iowa, Estados Unidos de América (EUA) .....	49
Riesgo de inundaciones .....	60
Geología Económica.....	64
Las Tierras Raras (REE): elementos críticos para el futuro.....	64
Deslizamientos en Masa .....	69
El caso del deslizamiento de Oso, Washington, Estados Unidos de América (EUA) .....	69
Peligro Volcánico .....	76
Monitoreo volcánico del Monte Rainier, Washington, Estados Unidos de América (EUA).....	76
Agua Subterránea.....	88
Disponibilidad de Agua Subterránea en el Condado de Gaines, Texas, Estados Unidos de América (EUA)....	88
<b>Glosario .....</b>	<b>99</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>100</b>

## Introducción

La necesidad de profesionistas en Ciencias de la Tierra en el mercado de trabajo global está aumentando rápidamente en respuesta a la creciente demanda de recursos minerales, hídricos y energéticos por parte de la población en continuo incremento y al impacto catastrófico que las actividades humanas siguen teniendo en el medio ambiente (cambio climático, intensificación de eventos de inundación, movimientos en masa, entre otros).

Para que los estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Tierra tengan una formación adecuada para su futuro profesional, es fundamental que comprendan no solo cómo funciona la Tierra, sino también cómo se relacionan los materiales y procesos geológicos con los grandes retos que está enfrentando la sociedad. Esta conexión entre geología y sociedad deberá ser un elemento imprescindible de la enseñanza, desde las primeras asignaturas del área de Ciencias de la Ingeniería, especialmente desde el curso de Geología Física.

Esta compilación de actividades didácticas tiene como propósito principal fomentar el aprendizaje de la geología en el contexto de problemáticas socioambientales actuales, esto con el objetivo de que los estudiantes de las asignaturas de Geología Física y Geología General tengan la oportunidad de aprender conceptos fundamentales de la geología mediante el análisis de datos y casos reales al mismo tiempo que se convierten en futuros profesionistas capaces de comprender la conexión entre los procesos geológicos y las problemáticas con las que se enfrenten en la sociedad.

Al trabajar con varios tipos de datos y casos auténticos, los alumnos de Geología Física y Geología General tendrán la oportunidad de desarrollar la perspectiva analítica que necesitarán en la vida profesional para encontrar soluciones a los problemas que abordarán. Asimismo, al explorar los métodos de trabajo y hábitos mentales propios de los profesionistas en Ciencias de la Tierra, estas actividades les permitirán desarrollar un pensamiento geocientífico.

Se desea apelar a los conocimientos básicos y primordiales de los estudiantes y a la relación que estos guardan con las situaciones que viven o escuchan en su entorno con el fin de edificar un balance entre ellos y los nuevos conceptos científicos y técnicos que van adquiriendo a lo largo del curso de Geología Física para que de esta forma su proceso de aprendizaje tenga bases sólidas y sea efectivo.

Las actividades presentadas en la compilación fueron adquiridas de los proyectos InTeGrate (*Interdisciplinary Teaching about Earth for a Sustainable Future*, <https://serc.carleton.edu/integrate/about/index.html>) y GETSI (*Geodesy Tools for Societal Issues*, <https://serc.carleton.edu/getsi/about/index.html>). Dichos proyectos nacieron de dos premisas fundamentales: la alta tasa de crecimiento en tecnologías aplicadas a las Ciencias de la Tierra y a la preocupación sobre el aumento en cantidad e intensidad de los desastres naturales alrededor del mundo. Es a partir de esto que consideran imperativo poner al alcance de los profesionales en Ciencias de la Tierra las herramientas necesarias para que sean capaces de comprender sucesos socioambientales y ser aptos en la solución o en el tratamiento de ellos.

De los proyectos antes mencionados se escogieron las actividades que mejor se acoplaran a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y posterior a ello se adaptaron en idioma y en contexto geográfico, social y cultural con la intención de que el vocabulario fuera accesible para los estudiantes que recién comienzan su

formación geocientífica, además se consideró esencial la elección de actividades que reflejaran eventos con ocurrencia constante y/o probable en nuestro país como inundaciones extremas, sismicidad, deslizamientos en masa, eventos de subsidencia y erupciones volcánicas junto con la mención de la importancia de los recursos naturales como el agua subterránea y los recursos minerales y su gestión.

En específico se seleccionaron las siguientes actividades de las plataformas mencionadas:

- *Hazards from Flooding* de Kyle Gray.
- *Flood Risk*.
- *Rare Earth Elements: Critical Elements of the Future* de Prajukti (juk) Bhattacharyya.
- *Anatomy of a tragic slide: Oso Landslide case study* de Sarah Hall y Becca Walker.
- *Hazards and Risks at Convergent Plate Boundaries* de Rachel Teasdale, Peter Selkin y Laurel Goodell.
- *Groundwater Availability and Resources* de Adriana Perez y Joshua Villalobos.

## Actividades

### Agua Superficial e Inundaciones

#### Las inundaciones en Cedar Falls, Iowa, Estados Unidos de América (EUA)

### Objetivos de aprendizaje

Al completar esta actividad, serás capaz de explicar que las inundaciones tienen un carácter periódico y probabilístico, son causadas por factores meteorológicos anuales y de corto plazo y pueden tener un impacto importante en las comunidades que viven cerca de un río.

Para alcanzar este objetivo:

- Interpretarás datos hidrográficos y meteorológicos con el fin de entender la relación entre las precipitaciones, el caudal de un río y las inundaciones;
- Calcularás los intervalos de recurrencia de grandes inundaciones para un sistema fluvial usando los datos obtenidos de la medición de la corriente de agua;
- Explicarás el concepto de “inundación de 100 años” y por qué inundaciones de dicha magnitud pueden ocurrir en años consecutivos o muy próximos;
- Describirás los peligros asociados a un río y evaluarás su impacto en las comunidades cercanas.

### Consideraciones iniciales

En 1993, el Medio Oeste de los EUA experimentó altos niveles de precipitación, lo que ocasionó la “Gran Inundación de 1993”. Las primeras dos fotografías muestran la extensión de la inundación cerca de St. Louis, Missouri, mientras que la tercera muestra una casa que quedó atrapada en la inundación.

Observa las imágenes y contesta las siguientes preguntas.

1. ¿Crees que el dueño de la casa de la tercera foto pudo haber imaginado que su propiedad estaría afectada por una inundación?

---

---

---

2. ¿Qué medidas podría haber tomado el dueño para proteger su casa?

---

---

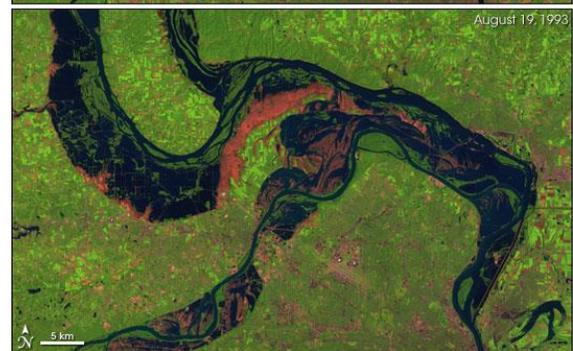
---

3. Si esa fuera tu casa, ¿te quedarías ahí o evacuarías?

---

---

---



Imágenes Landsat de la región de St. Louis antes y durante la Gran Inundación de 1993 (NASA Earth Observatory, imagen de Jesse Allen).



Casa de St. Louis, Missouri afectada por la Gran Inundación de 1993 (fotografía de Sam Leone).

## ¿Qué impacto tiene un sistema fluvial en las personas que viven en proximidad del río? Ideas iniciales

1. ¿De dónde viene el agua en exceso que se desborda de un río?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
2. ¿Qué crees que significa el término “inundación de 100 años”? ¿Cada cuántos años crees que podría ocurrir una inundación de ese tipo?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
3. Enlista unas ideas de cómo un río puede afectar una casa o ciudad.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### Contexto

En 1993, las ciudades a lo largo de los Ríos Mississippi y Missouri experimentaron una inundación récord debido a las altas tasas de precipitación durante la primavera. La inundación afectó un área de más de 800,000 km<sup>2</sup>, desplazando miles de personas y destruyendo cientos de hogares. Los expertos en sistemas fluviales la llamaron una “inundación de 500 años”.

En 2008, varias regiones del Medio Oeste de los EUA volvieron a inundarse. En Cedar Rapids, Iowa, se inundaron más de 5,200 hogares. Dicha inundación fue descrita una vez más como una “inundación de 500 años”, por lo que Iowa ha experimentado dos inundaciones de este tipo en tan solo 15 años.

### Parte 1 - Cambios anuales en el nivel del río

El “nivel de inundación” de un río se define como la altura que tiene la superficie del agua cuando esta comienza a inundar áreas que no se encuentran comúnmente sumergidas. Esta altura se relaciona con un caudal específico (recuerda que el caudal de un río es el volumen de agua que pasa por una sección del canal en un segundo y se mide en m<sup>3</sup>/s). Entonces, cuando alcanza dicha altura y caudal, un río experimenta una inundación y comienza a desbordarse.

Para esta actividad analizaremos las inundaciones que ha sufrido la ciudad de Cedar Falls, en Iowa. Cedar Falls es una ciudad de 35,000 habitantes que viven a lo largo de las orillas del Río Cedar. La ciudad ha experimentado numerosas inundaciones desde su fundación en 1845.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) mantiene una estación en Cedar Falls que mide la altura del Río Cedar y reporta los datos cada hora. Cuando el Río Cedar alcanza el nivel de inundación en esta estación, tiene un caudal de 660 m<sup>3</sup>/s. Este volumen de agua es el que comienza a desbordarse.

La gráfica abajo muestra cómo ha variado el caudal del Río Cedar durante el año 2007. Recuerda que la altura del agua está relacionada con el caudal, por lo que, cuando el caudal aumenta, el nivel del río también aumentará.

Analiza la gráfica y contesta las siguientes preguntas.

1. Describe cómo ha cambiado el caudal durante el año 2007.

---

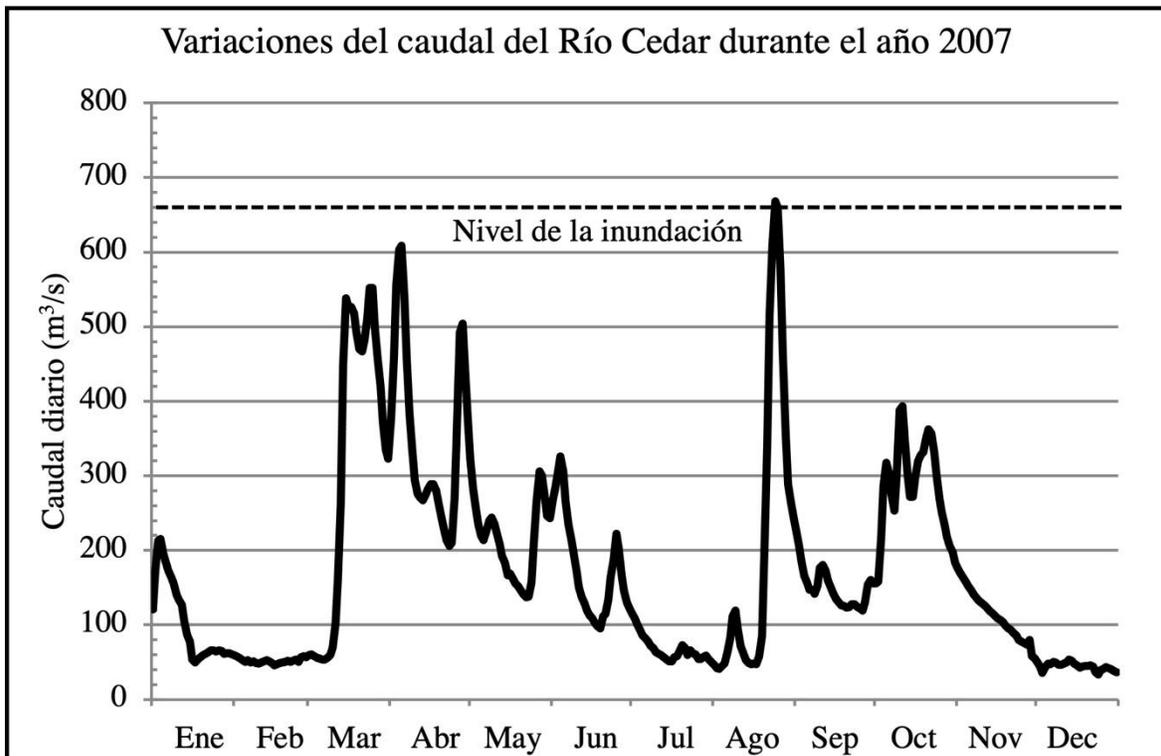
---

2. ¿A qué se deben los picos repentinos en el caudal del Río Cedar?

---

---

---



## Parte 2 - Conexión con el ciclo hidrológico

A continuación, se muestran dos gráficas en las que se compara el caudal del Río Cedar con la precipitación diaria. En la primera se muestran los datos de todo el año 2007, mientras que la segunda se enfoca a los meses de abril y mayo del mismo año.

Analiza los diagramas y contesta las siguientes preguntas.

1. Describe la relación entre los valores de precipitación y el caudal del río. ¿A qué se debe esta relación?

---

---

---

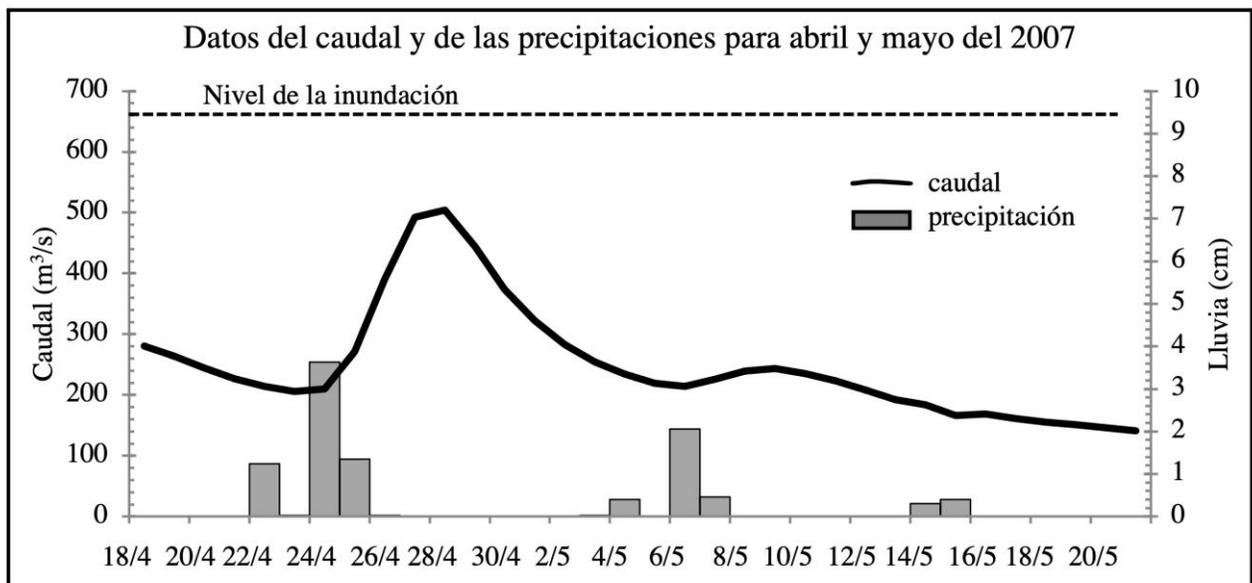
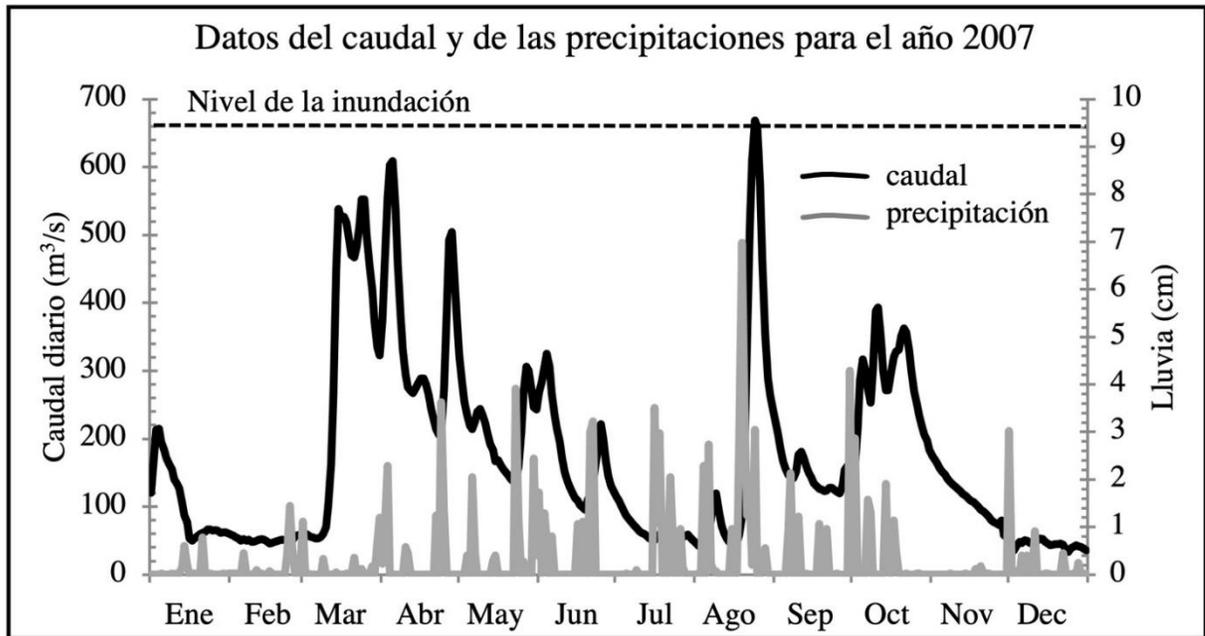
---

2. En algunos casos, la precipitación y el caudal del río no están relacionados. ¿Por qué podría ser?

---

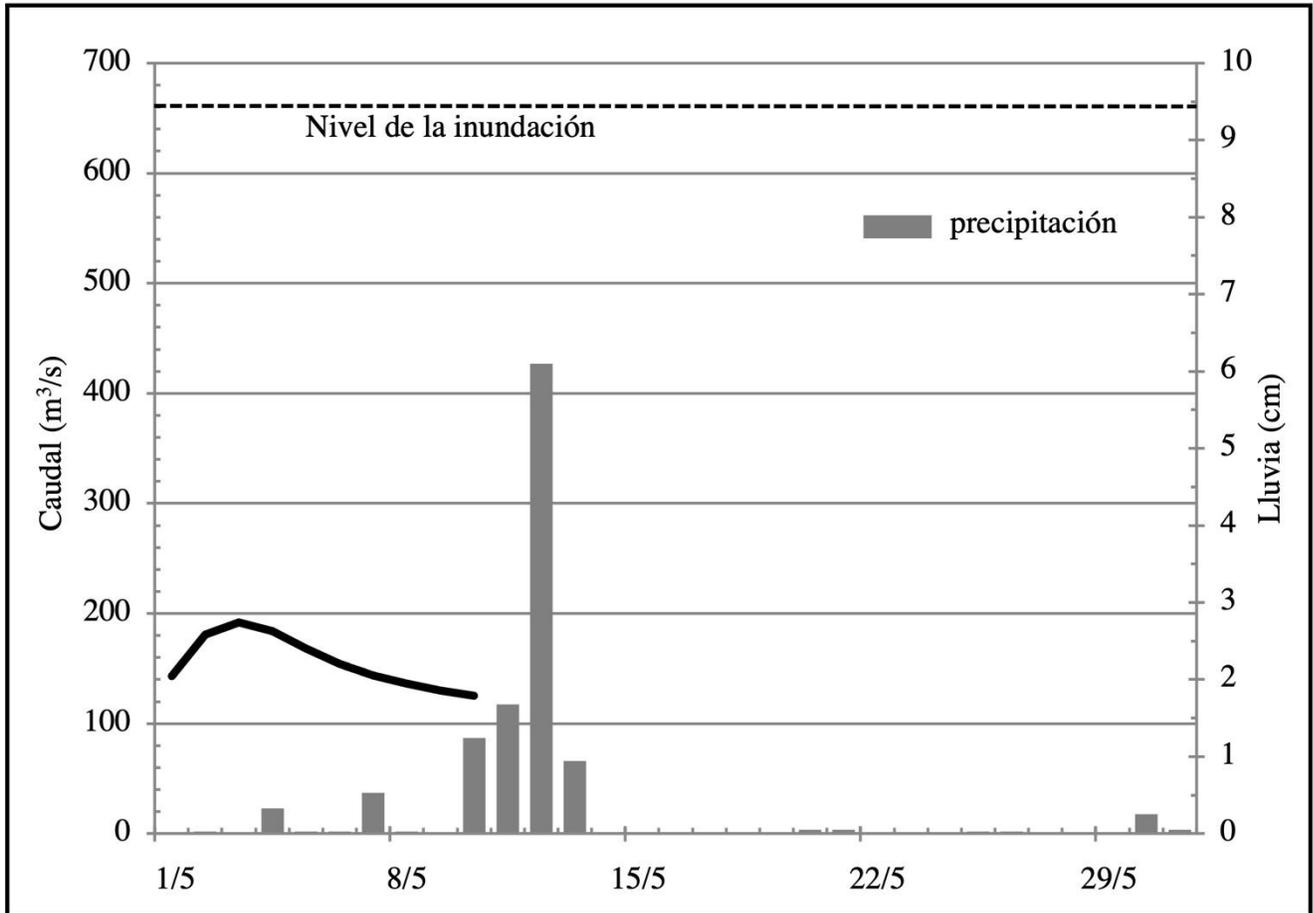
---

3. Observa cómo cambia el caudal del río después de un evento de lluvia. ¿Por qué el caudal no aumenta el mismo día en que ocurre el evento de lluvia?



Los datos de ambos diagramas fueron registrados en la estación USGS de Waterloo y están disponibles en [waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=USGS&site\\_no=05464000](http://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=USGS&site_no=05464000).

4. La gráfica siguiente muestra un evento hipotético de lluvia y el caudal del Río Cedar. La línea que describe la variación del caudal termina el 10 de mayo. Continúa la línea por el resto del mes y explica por qué la dibujaste de esa forma.



**Parte 3 - Variación anual**

Al comparar los datos del caudal del Río Cedar medidos en diferentes años, se pueden reconocer patrones y tendencias comunes. En la página siguiente, se muestran las gráficas de los datos de caudal relativos a los años 1977, 1983, 1997 y 2010.

Analiza las gráficas y responde las siguientes preguntas.

1. Infiere la cantidad de lluvia que cayó en los diferentes años en Cedar Falls y justifica tus respuestas.  
1977

---



---



---



---

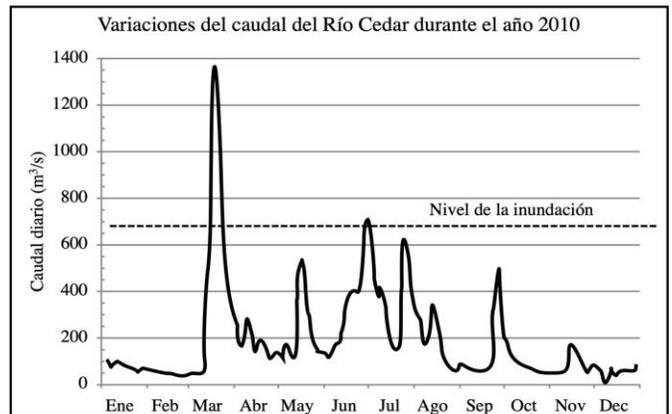
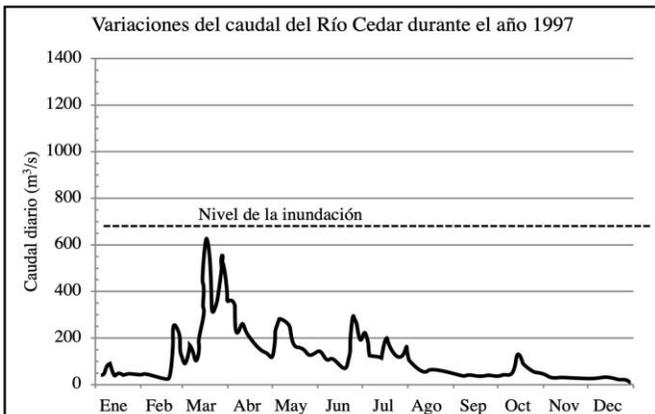
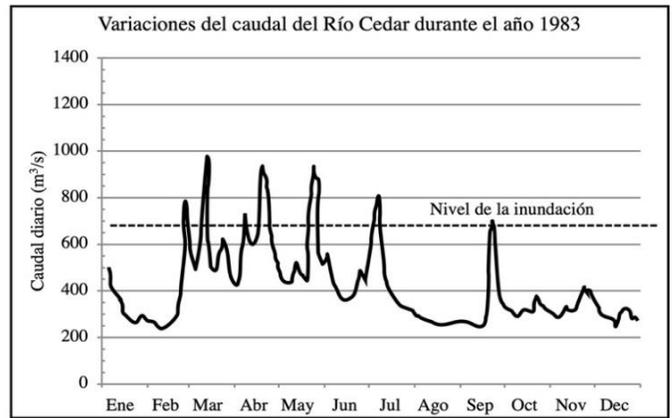
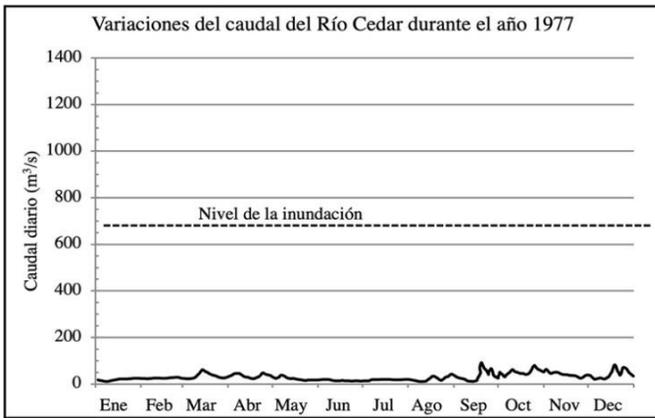
1983

---

1997

2010

2. Discute las analogías y diferencias que has observado en las variaciones del caudal de los cuatro años y las relaciones que has inferido entre las variaciones del caudal y el régimen de lluvias.



## Parte 4 - Predicción de inundaciones futuras

Desafortunadamente, las inundaciones no se pueden predecir. Sin embargo, es posible utilizar los datos de inundaciones pasadas para calcular la probabilidad de ocurrencia de una inundación de cierto tamaño. Las inundaciones pequeñas ocurren casi todos los años, mientras que las grandes, que son las más preocupantes, ocurren esporádicamente.

Se ha definido el término “inundación de 100 años” para referirse a una inundación que tiene el 1% de probabilidad de ocurrir en cualquier año. Esto no quiere decir que una inundación de ese tamaño ocurre solo una vez cada 100 años, sino que la probabilidad de ocurrencia anual de una inundación de dicho volumen es muy baja.

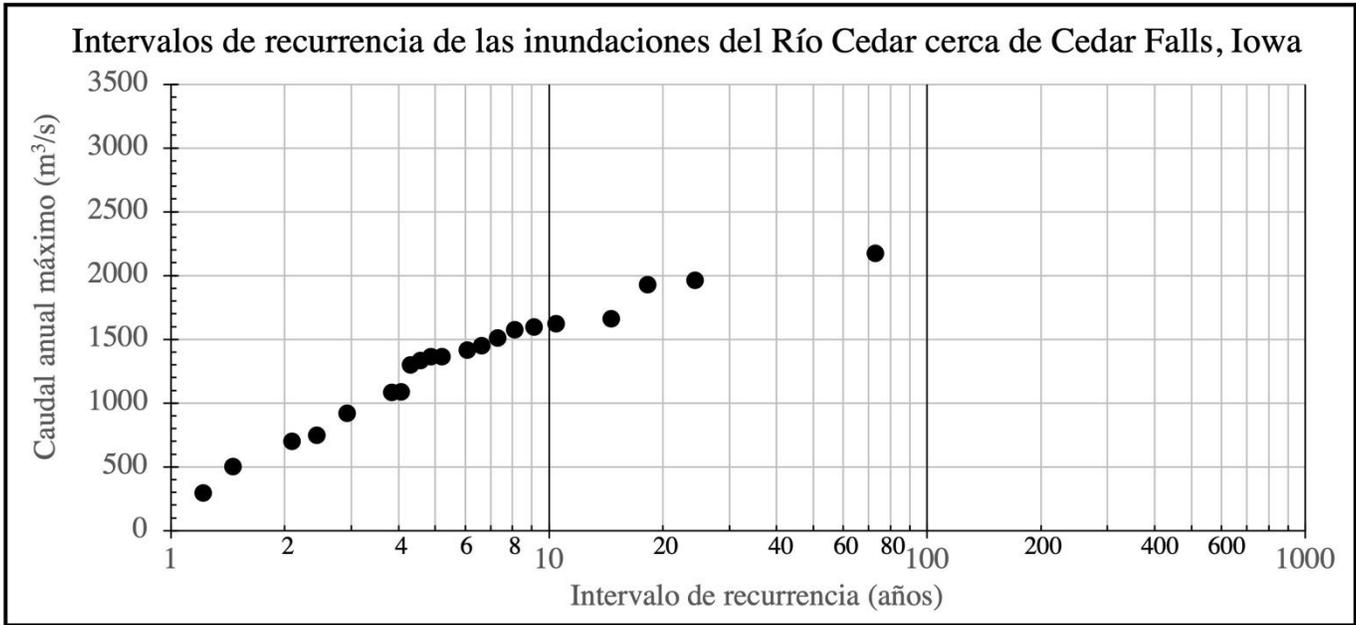
El USGS monitorea el caudal de muchos ríos y usa estos datos para determinar la frecuencia de las inundaciones. Las estimaciones de la frecuencia de las inundaciones son más precisas cuando se cuenta con un registro de caudales de varios años. La frecuencia de las inundaciones normalmente se expresa en términos de “intervalo de recurrencia”. Este es el número promedio de años que pasan entre una inundación y otra de la misma magnitud y se calcula enlistando todas las inundaciones que han ocurrido y clasificándolas en un rango de mayor a menor caudal.

El USGS ha monitoreado el Río Cedar cerca de Cedar Falls desde 1941. En la tabla abajo se enlistan algunos de los mayores caudales que se han registrado entre el 1941 y el 2013, excluyendo los eventos del año 2008 (la Gran Inundación del 2008 se tratará posteriormente) y algunas inundaciones menores.

Rango	Fecha	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Intervalo de recurrencia (años)	Rango	Fecha	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Intervalo de recurrencia (años)
1	29 Mar 1961	2171.9	73.0	15	31 Mar 1960	1362.0	4.9
2	8 Abr 1965	1968.0		16	30 Jul 1990	1333.7	4.6
3	23 Jul 1999	1962.4	24.3	17	15 Abr 2001	1296.9	4.3
4	2 Abr 1993	1928.4	18.3	18	8 Mar 1950	1087.4	4.1
5	29 Jun 1969	1659.4	14.6	19	1 Mar 1948	1081.7	3.8
6	25 May 2004	1656.5		20	18 Abr 1973	1056.2	
7	31 May 2013	1622.6	10.4	25	25 Ago 1979	920.3	2.9
8	9 Abr 1951	1597.1	9.1	30	17 Jun 1944	747.6	2.4
9	13 Jun 1947	1574.4	8.1	35	28 Mar 1959	699.4	2.1
10	17 Mar 1945	1509.3	7.3	40	30 Jun 1998	659.8	
11	31 Mar 1962	1449.8	6.6	50	28 Mar 1943	501.2	1.5
12	5 Mar 2010	1413.0	6.1	60	5 Mar 1985	294.5	1.2
13	23 Jun 1954	1398.9		70	17 Jul 1958	122.3	

La ecuación para obtener el intervalo de recurrencia es:  $intervalo\ de\ recurrencia = (n + 1) / rango$ , donde  $n$  es el número de años registrados (en este caso 72, ya que no se está tomando en cuenta el 2008) y el rango es la posición de la inundación en la lista.

1. Completa la tabla calculando los intervalos de recurrencia de las seis inundaciones para las cuales dichos valores no están indicados.
2. Una vez calculados los intervalos de recurrencia, coloca tus resultados en la gráfica de frecuencia de inundaciones que se muestra a continuación (toma en cuenta que los datos del eje horizontal están reportados en escala logarítmica).



3. Después de haber graficado los seis puntos, dibuja una recta que pase por los valores con intervalos de recurrencia iguales o mayores a 4 años y extiéndela hacia el extremo derecho de la gráfica. Es normal que la línea no pase por todos los datos, sin embargo, procura trazarla de manera que se ajuste a la mayoría de los puntos. La recta que has dibujado te permite conocer el intervalo de recurrencia de una inundación de cierto volumen, y viceversa.

Al extender la línea al extremo derecho del diagrama, es posible predecir el caudal de grandes inundaciones que aún no han ocurrido.

4. ¿Cuál sería el caudal de una inundación de 200 años? ¿Y de una inundación de 300 años?

Inundación de 200 años = \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s

Inundación de 300 años = \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s

A partir de los intervalos de recurrencia, se puede calcular la probabilidad de ocurrencia anual de una inundación de cierto tamaño. La probabilidad de ocurrencia ( $P$ ) de una inundación con cierto intervalo de recurrencia ( $RI$ ) es  $P = 100 / RI$ . La tabla siguiente muestra la relación entre el intervalo de recurrencia de cierta inundación y su probabilidad de ocurrencia anual.

Intervalo de recurrencia (años)	Probabilidad de ocurrencia anual de una inundación
1	100%
2	50%
5	
10	10%
50	
100	1%
500	

5. Calcula la probabilidad de ocurrencia de las inundaciones para las cuales este dato no está indicado.

6. El 11 de junio del 2008, el Río Cedar tuvo un caudal récord de 3,171 m<sup>3</sup>/s. Utiliza la gráfica anterior para estimar el intervalo de recurrencia de esa inundación y determina la probabilidad de que una inundación de ese tamaño vuelva a ocurrir.

Intervalo de recurrencia = \_\_\_\_\_ Probabilidad = \_\_\_\_\_

7. Con base en los datos de caudal que has examinado, ¿crees que una inundación que tiene un intervalo de recurrencia de 1 año tiene el 100% de probabilidad de ocurrir cada año? Explica.

---

---

---

8. En 2010, un río ha experimentado una inundación de 500 años. Dos estudiantes que viven cerca del río están debatiendo sobre el significado de este término y si es seguro vivir cerca del río. El estudiante 1 considera que “Es bastante seguro vivir cerca del río, debido a que el término “inundación de 500 años” significa que una inundación de ese tamaño solo ocurre una vez cada 500 años. Esto quiere decir que una inundación de ese tamaño no volverá a ocurrir hasta dentro de 500 años”. Por otra parte, el estudiante 2 considera que “No es buena idea vivir cerca del río en un lugar que se inundó en 2010. El término “inundación de 500 años” se refiere a la probabilidad de que una inundación de esa magnitud ocurra cada año y, ya que esa probabilidad no es cero, es posible que el área experimente el mismo evento de inundación el año sucesivo”. ¿Con cuál de los dos estudiantes estás de acuerdo y por qué?

---

---

---

---

---

---

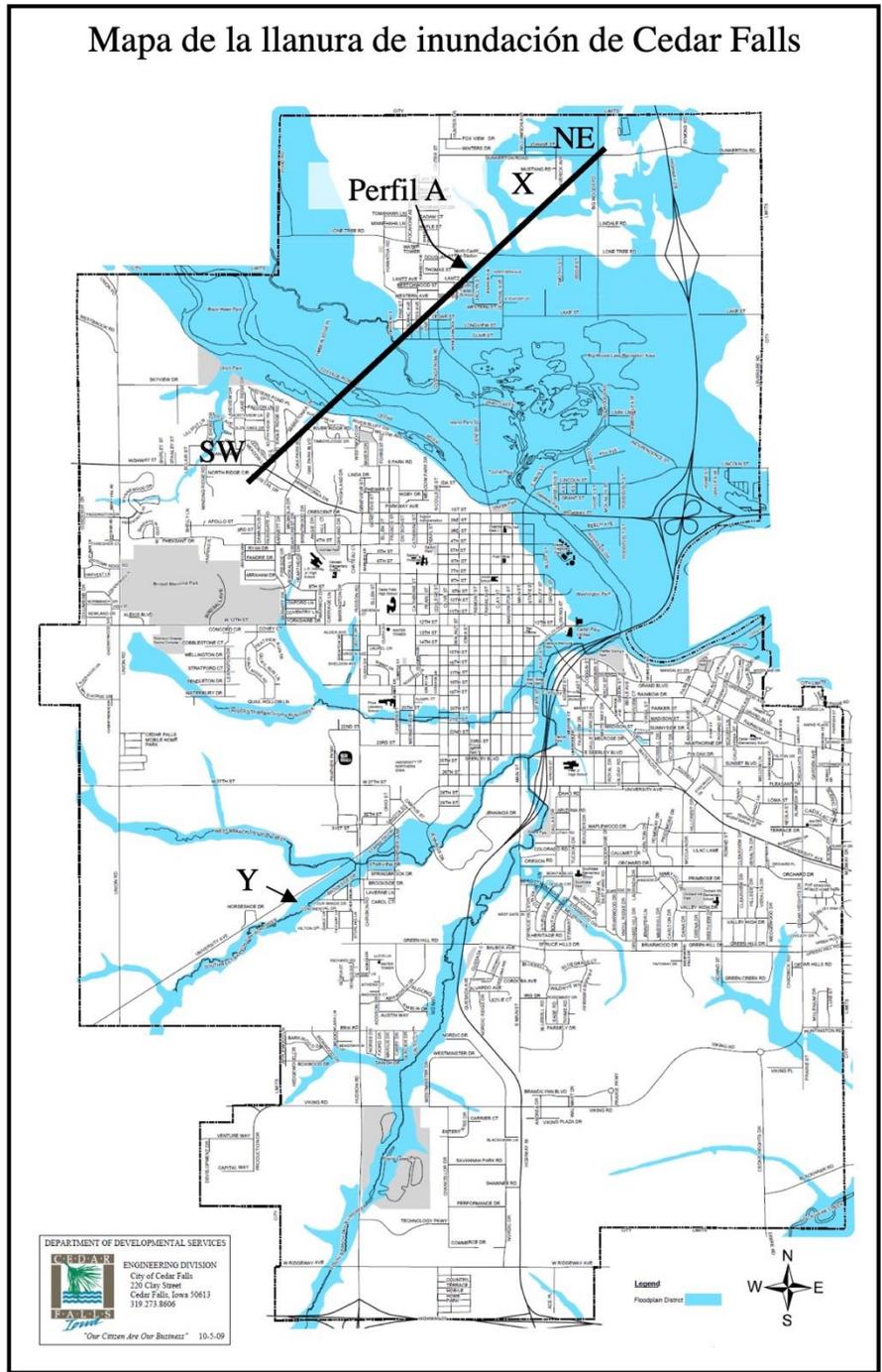
### Parte 5 - Consecuencias de vivir en una llanura de inundación

La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias en los EUA (FEMA) publica mapas que definen las áreas que se inundarían en caso de inundaciones de 100 y 500 años. Estos mapas se basan en datos de caudal e intervalos de recurrencia medidos en un segmento específico de un río y muestran qué partes de una comunidad se inundarían durante dichos eventos.

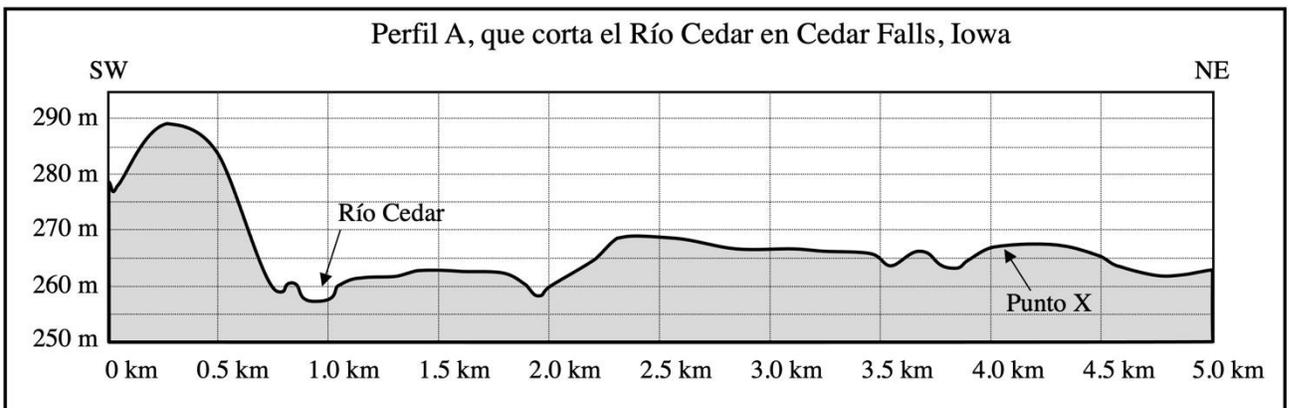
En algunos casos, una propiedad originalmente incluida en un área de inundación se puede revalorar y considerar fuera de peligro si sus dueños logran agregar suficiente material de relleno como para elevar la propiedad por encima del nivel potencial de la inundación. Asimismo, las ciudades pueden construir diques o muros contra inundaciones para proteger las áreas topográficamente más bajas. Como ocurre con cualquier mapa, los mapas de FEMA no son precisos al 100% y, a medida que se dispone de nuevos datos, se aportan modificaciones para corregir los errores. En algunos casos, esto significa que una zona que alguna vez estuvo catalogada dentro de un área de inundación podría catalogarse afuera del área de inundación luego de una actualización. Las ciudades como Cedar Falls usan estos mapas para regular las construcciones en la llanura de inundación.

El mapa en la página siguiente, construido para la ciudad de Cedar Falls en el año 2009, muestra el área de la ciudad que quedaría afectada por una inundación de 500 años análoga a la Gran Inundación que ocurrió en 2008. Normalmente, el Río Cedar en esta zona tiene una altura de 260 m, mientras que en la Gran Inundación del 2008 el agua alcanzó un nivel de 265 m. Desde entonces, el ayuntamiento ha decidido utilizar el área de inundación de 500 años como definición legal de llanura de inundación. Como se puede apreciar en el mapa, el área al noreste del río es más propensa a experimentar inundaciones difusas, debido a que el terreno es más plano y porque la orilla meridional del río está protegida por un dique. El perfil A muestra la topografía del terreno a los lados del río e ilustra cómo el lado SW es más empinado que el lado NE.

# Mapa de la llanura de inundación de Cedar Falls



Perfil A, que corta el Río Cedar en Cedar Falls, Iowa



Observa el mapa, el perfil A y contesta las siguientes preguntas.

1. El punto X se encuentra fuera del área afectada por la inundación de 500 años y, sin embargo, está rodeado por ella. ¿Por qué?

---

2. El punto Y tiene una elevación de 280 m, mayor que la elevación de 265 m que alcanzaría el agua en una inundación de 500 años y, sin embargo, está marcado dentro de la llanura de inundación. ¿Por qué una zona tan elevada está incluida en la llanura de inundación? ¿Qué impacto podría tener esto en alguien que quisiera vivir más arriba del río para evitar inundaciones?

---

---

---

---

---

---

---

---

## Riesgo de inundaciones

### Objetivos de aprendizaje

Al completar esta actividad, serás capaz de:

- Interpretar el riesgo de inundación en diferentes localidades usando un mapa de riesgo de inundación;
- Explicar los peligros de vivir en una llanura de inundación y la utilidad de los aliviaderos de crecida, también conocidos como vertederos hidráulicos;
- Evaluar el riesgo de inundaciones en tu localidad.

### Parte 1 – Utilidad de los mapas de riesgo de inundación

La figura inferior es un mapa de riesgo de inundación para una sección de la ciudad de St. Louis, Missouri, Estados Unidos de América (EUA). El Río Mississippi se encuentra en la esquina superior derecha, mientras que el área sombreada con color azul es la zona designada como aliviadero de crecida. La zona sombreada con amarillo indica el área que quedaría cubierta por una inundación de 100 años, aunque ya se ha construido un sistema de diques que protegería esta parte de la ciudad de una inundación de ese tamaño.



Mapa de riesgo de inundación para una sección de la ciudad de St. Louis, Missouri. Imagen tomada y modificada de Google Earth.

Imagina que eres un vendedor de seguros contra inundaciones y tienes que vender dichos seguros a las casas marcadas en el mapa con los círculos azul y naranja.

1. ¿A cuál de las dos casas le cobrarías una tarifa más alta por el seguro contra inundaciones? ¿Por qué?

---

---

---

---

2. Los dueños de la casa azul no quieren adquirir el seguro contra inundaciones, debido a que no se encuentran en la zona de riesgo de una inundación de 100 años. ¿Estás de acuerdo con ellos o les sugerirías la adquisición del seguro? Justifica tu respuesta.

---

---

---

---

3. En 1993 ocurrió una inundación que excedió los parámetros de una inundación de 100 años en diversos puntos del Río Mississippi. Los dueños de la casa naranja consideran que no necesitan el seguro, ya que una inundación de 100 años ocurrió hace poco. ¿Estás de acuerdo con ellos o les sugerirías la adquisición del seguro? Justifica tu respuesta.

---

---

---

---

4. Otro motivo por el cual los dueños de la casa naranja no consideran oportuno adquirir el seguro es porque el sistema de diques elimina el riesgo de inundaciones. ¿Qué les dirías a los dueños para convencerlos de que el seguro contra inundaciones es una buena inversión?

---

---

---

---

5. Los dueños de la casa azul se dedican a bienes raíces y no comprenden por qué los valiosos terrenos frente al río son reservados para el aliviadero de crecidas. Explica si tú estarías dispuesto a asegurar unas viviendas construidas sobre el aliviadero, tomando en cuenta el riesgo y los beneficios económicos. También, explica por qué los dueños deberían valorar el aliviadero, sobre todo considerando la ubicación de su casa.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Parte 2 - Riesgo e historial de inundaciones en tu ciudad

Así como la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias tiene mapas de riesgo de inundación para los EUA, México tiene el Atlas Nacional de Riesgos, cuyo acceso es gratuito en la página <http://atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>. En la pestaña “Capas” del menú lateral, puedes seleccionar el Atlas Nacional de Riesgos por Inundación (ANRI) y, de acuerdo con la región,

explorar el mapa de riesgo para inundaciones de 2, 5, 10, 50 y 100 años en la opción “Índice de inundabilidad” que se despliega hasta abajo.

Localiza en el mapa interactivo la localidad en donde vives y responde las siguientes preguntas.

6. ¿Existe la posibilidad de que tu localidad sufra una inundación?

---

---

---

7. ¿Los ríos que fluyen cerca del lugar en donde vives tienen aliviaderos?

---

---

---

8. ¿Hay casas, edificios o estructuras dentro de las zonas en riesgo de inundación de tu localidad?

---

---

---

---

---

## Geología Económica

### Las Tierras Raras (REE): elementos críticos para el futuro

#### Objetivos de aprendizaje

Al completar esta actividad, serás capaz de:

- Identificar recursos minerales, especialmente las REE, utilizados en dispositivos electrónicos comunes y en tecnologías de energías limpias;
- Describir las tendencias generales en gráficas de producción y precios de las REE, identificar cambios o anomalías en las gráficas y explicar los patrones en términos de producción minera, demanda, reciclaje, cambios tecnológicos, regulación y/o aumento de la población;
- Interpretar las relaciones entre consumidores, productores, organismos reguladores y el medio ambiente a través del uso de mapas conceptuales;
- Examinar tu comportamiento como consumidor y evaluar el impacto de tu comportamiento en la sustentabilidad.

#### Las REE

Las REE incluyen los lantánidos (del lantano al lutecio) y el itrio, que se comporta como los lantánidos. Son elementos del bloque f, por lo que tienen orbitales f parcialmente llenos. Esta configuración electrónica es lo que las hace increíblemente útiles.

Las REE no son “raras” en el sentido de que sean escasas; de hecho, son más comunes que el oro en la corteza terrestre. Más bien, es “raro” encontrarlas en concentraciones suficientemente altas como para que sea económicamente conveniente extraerlas.



#### Usos y “criticidad” de las REE

Cerio (Ce) y lantano (La) se utilizan para los convertidores catalíticos de los carros y en refinerías de petróleo. Los convertidores catalíticos que contienen Ce y La pueden almacenar y liberar oxígeno y, por ende, reducir la contaminación por CO<sub>2</sub> de los carros. En las refinerías de petróleo, La y Ce se usan como catalizadores para descomponer las moléculas de hidrocarburos más pesadas en moléculas más ligeras, esto aumenta el rendimiento de la gasolina y puede reducir la contaminación por CO<sub>2</sub>.

Las REE se usan también para fabricar aleaciones metálicas, bombillas fluorescentes, pantallas de televisores y computadoras y baterías recargables de NiMH utilizadas en carros híbridos.

Un uso importante de las REE es la creación de imanes. De hecho, debido a su configuración electrónica única, las aleaciones de REE se pueden convertir en imanes permanentes mucho más fuertes, y también mucho más pequeños y livianos, que otros imanes. Los imanes más pequeños y fuertes son especialmente

importantes para reducir el peso de los motores de los carros y aumentar la eficiencia del combustible, o para reducir significativamente el tamaño y el peso de los generadores de las turbinas eólicas más grandes y potentes.

Dado que el uso de tecnologías como bombillas fluorescentes, turbinas eólicas, automóviles híbridos y convertidores catalíticos para carros son importantes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, las REE son esenciales para la “economía verde”.

La “criticidad” de las REE se evalúa comparando la importancia de las REE con la posibilidad de que su suministro pueda verse interrumpido. Elementos como el disprosio, el terbio, el europio, el neodimio y el itrio, utilizados en imanes para turbinas eólicas y vehículos eléctricos o como fósforos en iluminación energéticamente eficiente, corren el riesgo de no ser suficientes para satisfacer la demanda y se consideran “materiales críticos”. La importancia de las REE y su “criticidad” cambian con el tiempo y con la dinámica del mercado global.

### Desafíos en la extracción y procesamiento de las REE

La mayoría de los yacimientos de REE, que se encuentran en China y Kazajstán, se forman por los procesos de meteorización química en climas tropicales, que concentran dichos elementos en los suelos.

El mayor obstáculo en el camino de la producción de REE es el procesamiento de los minerales que las contienen. Normalmente, los minerales de REE contienen todos los 15 elementos que las conforman. Dado que las REE tienen propiedades químicas muy similares entre sí, separarlas es un desafío tecnológico que requiere mucho dinero, energía y tiempo. Además, cada mineral de REE requiere un método de procesamiento diferente, lo cual aumenta los costos y los desafíos técnicos. Un desafío adicional se relaciona con el hecho de que los minerales de REE más comunes, como la monacita, contienen también isótopos radiactivos, como el torio, que deben extraerse y eliminarse de forma segura.

En este momento, las plantas de procesamiento de REE más viables comercialmente se encuentran en China. Hasta que otros países sean capaces de separar económicamente las diferentes REE, China seguirá siendo el único proveedor de REE en el mercado global (actualmente, China controla más del 90% de la producción mundial de REE).

### Las REE: oferta, demanda, consumo y precio

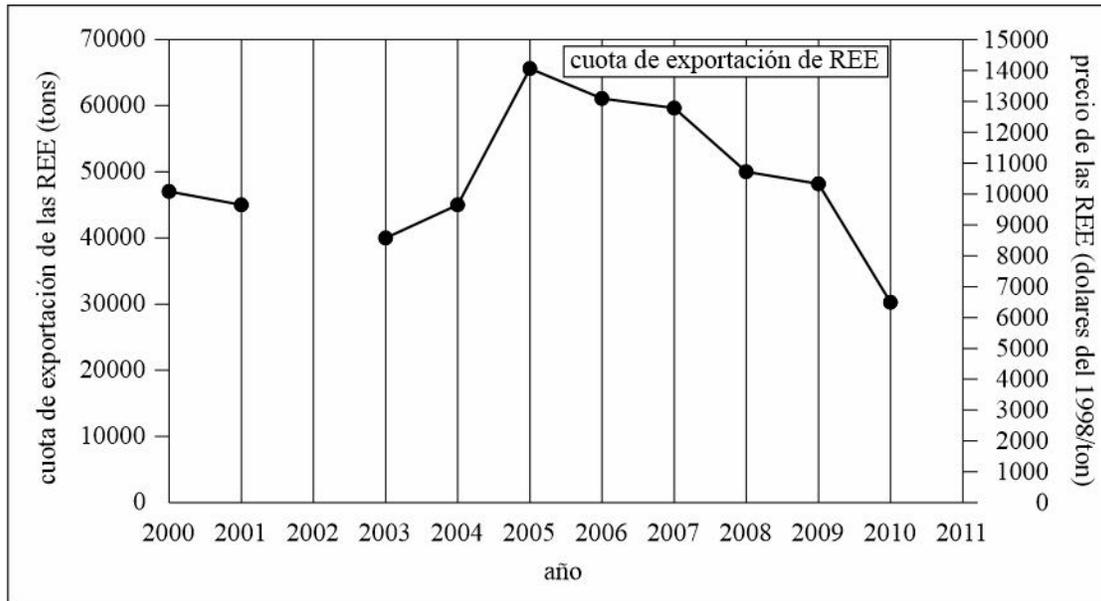
En esta actividad analizaremos la oferta de REE, así como datos de consumo y precios, y discutiremos posibles estrategias futuras para balancear la oferta y la demanda de las REE.

China es el país que produce la mayor cantidad de REE en el mundo. Su gobierno fija la cantidad máxima de REE que pueden ser exportadas legalmente cada año, es decir, la cuota de exportación. La tabla a continuación muestra cómo han variado la cuota de exportación de REE y su precio por tonelada (ajustado por la inflación respecto al valor del dólar estadounidense de 1998) del 2000 al 2010.

Año	Cuota de exportación (toneladas)	Precio por tonelada (dólares del 1998)
2000	47000	6110
2001	45000	5330
2002	N/A	6800
2003	40000	5450
2004	45000	7410
2005	65580	5500
2006	61070	3150

2007	59643	4160
2008	49990	10300
2009	48155	7100
2010	30258	14500

1. El diagrama muestra cómo ha variado la cuota de exportación de REE desde 2000 a 2011. En el mismo diagrama, grafica también los precios de las REE, utilizando una simbología diferente.



2. ¿Cuánto disminuyó la cuota de exportación de REE entre 2005 y 2010?

---



---

3. ¿En qué año el precio de las REE ha alcanzado su valor más bajo? ¿Cuál fue dicho valor?

---

4. ¿Qué relación observas entre la cuota de exportación de REE (es decir, la oferta) y su precio?

---



---



---

5. La grafica abajo muestra cómo han variado la producción y el consumo de REE en China, así como la cuota de exportación para el período 2000-2011. ¿Por qué crees que China está reduciendo la cuota de exportación de REE? Proporciona dos razones.

---



---



---



---



---



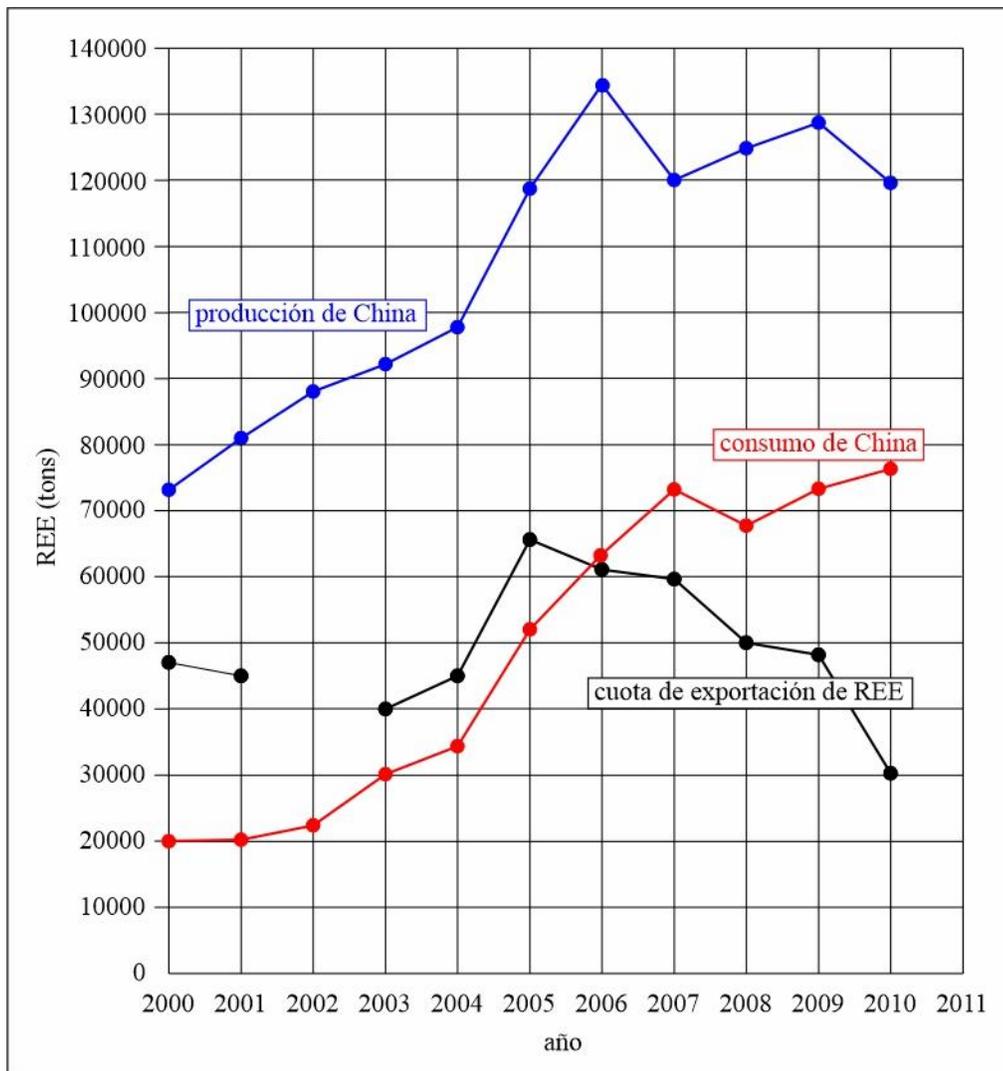
---



---



---



6. La tabla abajo muestra algunos usos comunes, así como datos de oferta y demanda para cinco elementos de las REE. Puedes notar que la oferta y la demanda están desbalanceadas. ¿Qué pueden hacer los consumidores, los productores de REE (es decir, las compañías mineras) y los fabricantes de tecnología para reducir dicho desbalance? ¿Cómo afectarían dichas acciones la adopción y el uso de tecnologías de energía limpia? Crea un mapa conceptual para ilustrar tus respuestas.

Elemento	Imanes (para generar electricidad, en turbinas eólicas, carros híbridos...)	Baterías NiMH para carros híbridos	Fósforos en bombillas energéticamente eficientes	Convertidores catalíticos de los carros, que reducen los contaminantes	Demanda (tons)	Oferta (tons)
Lantano		x	x	x	41200	30500
Cerio		x	x	x	43900	38400
Praseodimio	x	x		x	9800	7000
Neodimio	x	x			27000	24400
Europio			x		400	390

7. Menciona dos medidas que podrías tomar como individuo para reducir el desbalance entre la oferta y la demanda de REE. Explica en qué manera estas medidas podrían aumentar la oferta de REE y/o reducir la demanda.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Deslizamientos en Masa

### El caso del deslizamiento de Oso, Washington, Estados Unidos de América (EUA)

#### Objetivos de aprendizaje

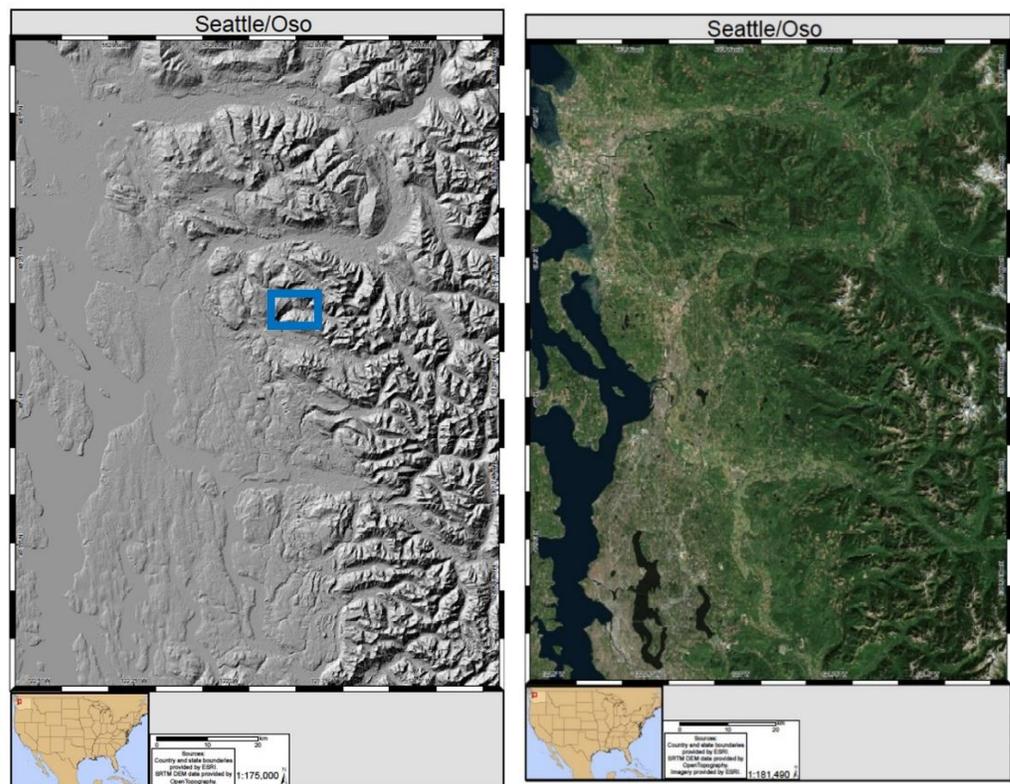
Al completar esta actividad, serás capaz de:

- Identificar las características del paisaje que aumentan la susceptibilidad a movimientos en masa;
- Crear un mapa que ilustre las características morfológicas de un movimiento en masa;
- Utilizar datos geodésicos<sup>1</sup> para comparar la existencia, el aspecto y la morfología de rasgos superficiales antes y después de un movimiento en masa;
- Describir el impacto de los movimientos en masa en las comunidades y proponer soluciones para la mitigación del riesgo.

#### Estudio del deslizamiento de Oso

El 22 de marzo de 2014, el área de Oso, en el noroeste del estado de Washington, EUA fue afectada por un deslizamiento que enterró alrededor de 35 hogares y una carretera (Figuras 1 y 2). Cuarenta y tres personas perdieron la vida en este evento, que se convirtió en el deslizamiento con mayor mortandad en la historia de EUA, además de provocar ~150 millones de dólares en daños. La primavera del 2014 fue una de las más húmedas registradas en la zona, ya que, en marzo de ese año, en unas pocas semanas cayó el 200% de la precipitación mensual promedio.

Figura 1. Imagen SRTM de relieve sombreado (izquierda) e imagen aérea (derecha) del noroeste del estado de Washington. El cuadro azul muestra la ubicación del deslizamiento de Oso.



<sup>1</sup> La geodesia es la ciencia que mide con precisión el tamaño, la forma, la distribución de masa de la Tierra y las variaciones de estas con el tiempo. Entre los métodos de medición, se incluyen:

- InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar): mide la deformación de una región. Se aplica para examinar los cambios provocados por terremotos y deslizamientos de tierra;
- LiDAR (Light Detection and Ranging): produce información topográfica de alta resolución que puede ser utilizada para identificar fallas y deslizamientos de tierra, entre otras cosas.

Figura 2. Vista aérea oblicua del deslizamiento de Oso (<http://www.dvidshub.net/image/1209685/oso-mudslide>).



- Menciona algunas de las características del paisaje (climáticas, tectónicas, etc.) que podrían aumentar el riesgo de deslizamientos en esta región.

---



---



---



---



---



---



---

La Figura 3 ilustra los componentes principales de un deslizamiento rotacional de tierra, mientras que las Figuras 4 y 5 ilustran la simbología que se utiliza para representar los deslizamientos en un mapa.

**Corona:** el sector de la ladera que no ha colapsado, ubicado justo arriba del deslizamiento. Puede presentar grietas y a menudo tiene forma semicircular.

**Terreno hummocky:** la porción intermedia e inferior del bloque desplazado. Presenta grietas **radiales** y **transversales**, así como pequeños estanques y lomas.

**Superficie del deslizamiento:** el contacto entre el bloque desplazado y el basamento.

**Cabeza:** la parte superior del material desplazado a lo largo de su contacto con el escarpe principal.

**Escarpe:** superficie muy empinada, localizada en el límite del deslizamiento y originada por el material desplazado de la ladera. El escarpe más alto es el **principal**, mientras que los que se producen pendiente abajo se denominan **menores**.

**Dedo:** el margen del material desplazado más alejado del escarpe principal. En un mapa se ve bulboso e irregular.

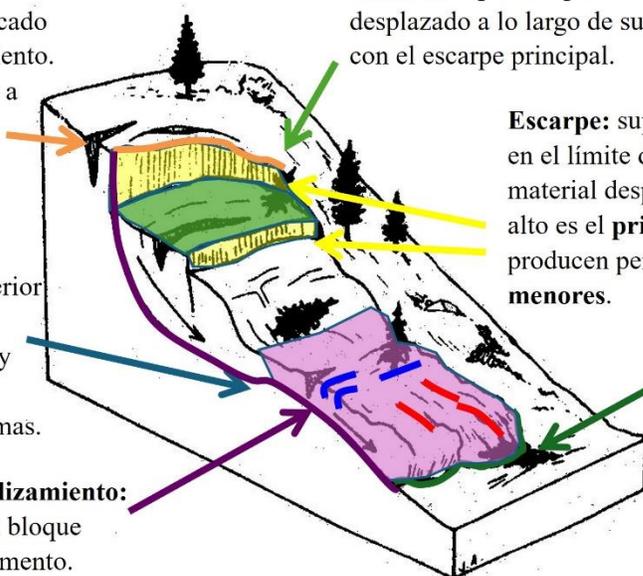


Figura 3. Diagrama esquemático de un deslizamiento rotacional en el que se indican los principales elementos morfológicos (modificado de <http://www.conservation.ca.gov>).

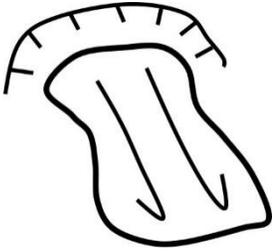
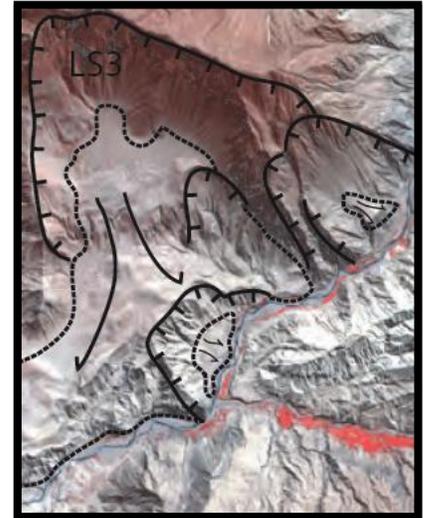


Figura 4. Simbología utilizada para mapear un deslizamiento. El material deslizado es contornado con una línea continua si sus límites son claros, discontinua si no son muy claros. Las flechas indican la dirección del movimiento.

Figura 5. Deslizamientos trazados en una foto de campo a lo largo del Río Marañón, Perú (izquierda, foto de Sarah Hall) y en una imagen satelital ASTER a lo largo del Río Tambo (derecha).



Los mapas a continuación muestran imágenes de relieve sombreado de alta resolución (datos aéreos LiDAR) de la zona en donde ocurrió el deslizamiento de Oso.

1. Localiza el deslizamiento más reciente en la imagen de relieve sombreado de la Figura 6 (imagen tomada después de marzo 2014). Señala las partes del deslizamiento utilizando la simbología que se indica en las Figuras 4 y 5. Es probable que, próximo al deslizamiento reciente, encuentres evidencia de formas del relieve relacionadas con deslizamientos previos; indícalas también.
2. Compara tu interpretación geomorfológica de la Figura 6 con la imagen de relieve sombreado basada en los datos recolectados en 2013, antes del deslizamiento (Figura 7). Además de la clara redistribución del material a lo largo del deslizamiento, ¿observas algún otro cambio en el paisaje entre las imágenes del 2013 y 2014? Márcalos en la Figura 6.
3. Con base en tu interpretación de las Figuras 6 y 7, ¿consideras que esta región tiene un historial de movimientos en masa? Argumenta tu respuesta.

---



---



---



---



---

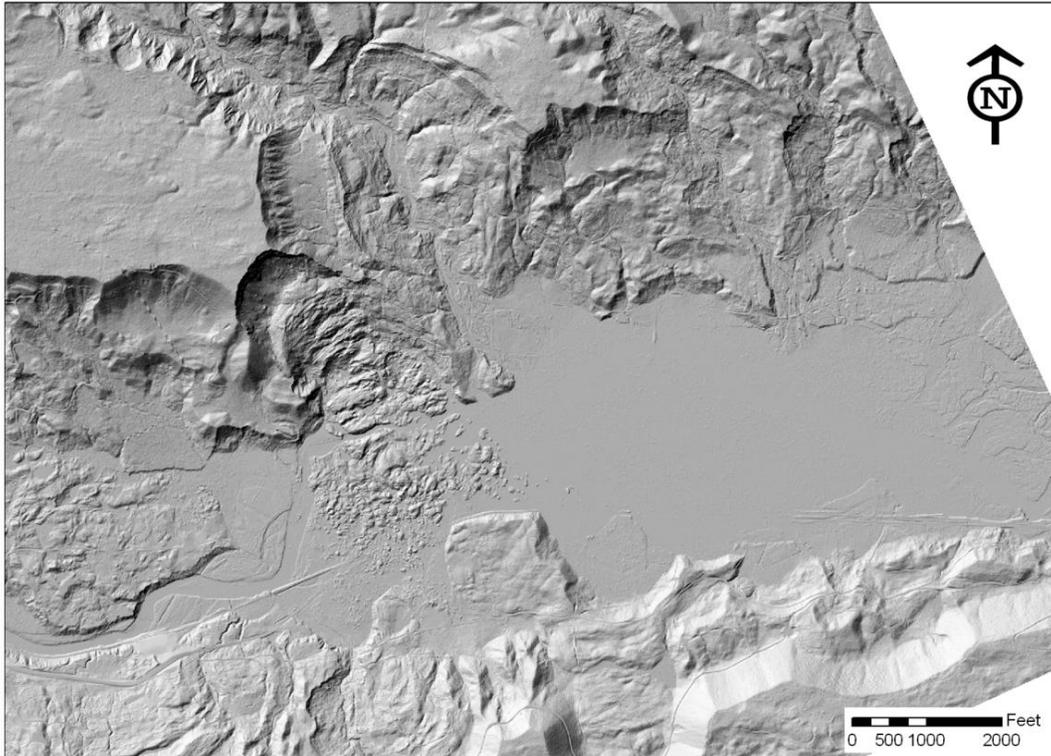


Figura 6. Imagen de relieve sombreado LiDAR de la región de Oso, Washington. Estos datos fueron recolectados después de marzo de 2014 (<http://gis.ess.washington.edu/areas/oso/>).

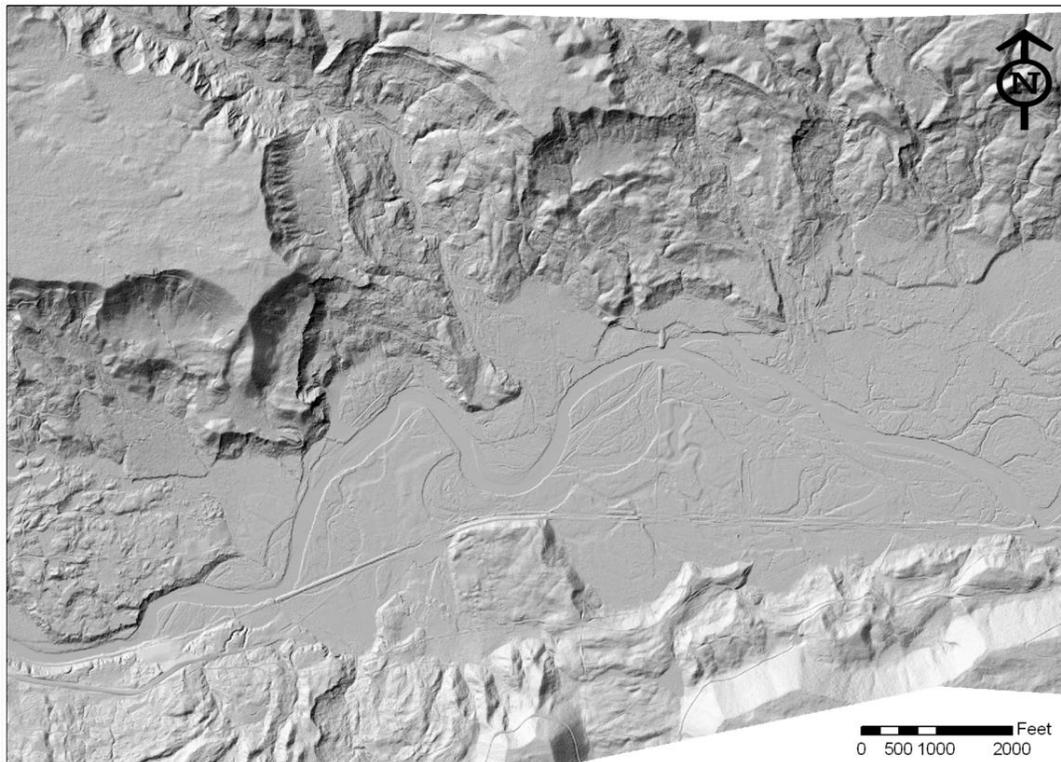
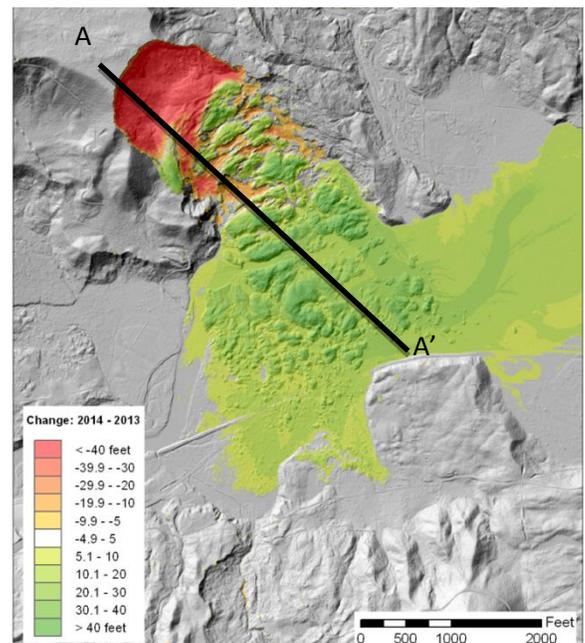


Figura 7. Imagen de relieve sombreado LiDAR de la región de Oso, Washington. Estos datos fueron recolectados en el año 2013 (<http://gis.ess.washington.edu/areas/oso/>).

4. Dibuja un esquema de cómo crees que se ve el perfil topográfico A-A' señalado en la Figura 8. Asegúrate de que el perfil refleje la redistribución del material que se aprecia en figura.

Figura 8. Esta imagen muestra la diferencia en la elevación superficial entre el 2013 y el 2014. Observa la pérdida de elevación en el área del escarpe principal y el aumento de elevación en la región del dedo (modificado de <http://gis.ess.washington.edu/areas/oso/>).



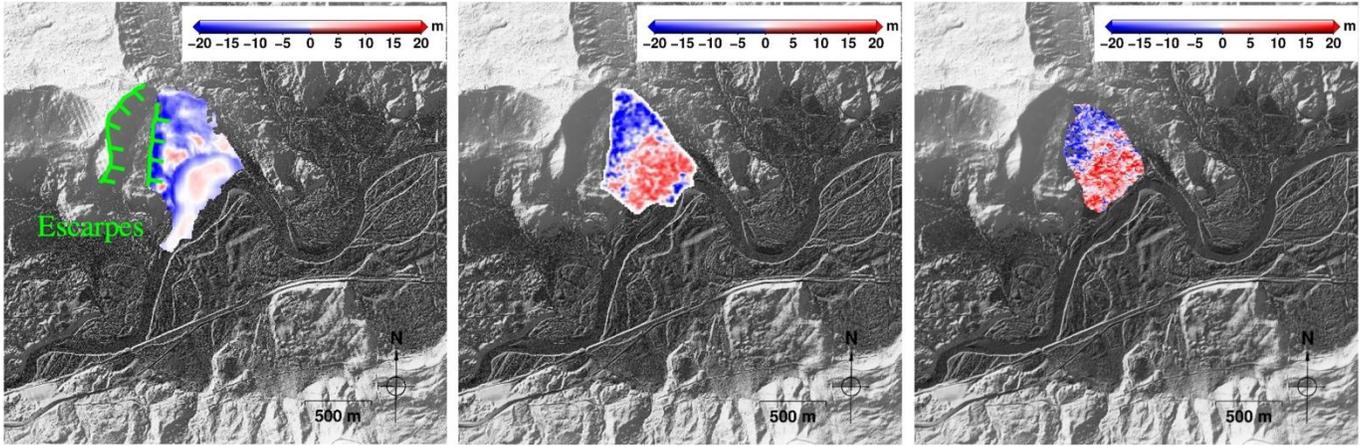
La imagen de relieve sombreado obtenida con datos LiDAR (Figura 7) muestra que esta región tiene una larga historia de movimientos en masa similares al evento que ocurrió en 2014. De hecho, porciones del mismo bloque se han deslizado rápidamente en seis diferentes ocasiones entre 1937 y 2006. Podemos observar cambios recientes en la elevación superficial utilizando técnicas InSAR con el fin de aprender a reconocer y prepararnos para futuros eventos de la misma magnitud. Aunque en 2014 se deslizó catastróficamente en pocos segundos, porciones de este bloque se han estado deslizando paulatinamente durante un largo tiempo.

En la siguiente parte de la actividad, interpretarás los datos SRTM, LiDAR e InSAR obtenidos por Kim et al. (2015)<sup>2</sup> en el área de Oso previamente al evento de 2014. Los autores combinaron estos datos para lograr una cobertura temporal desde el 2000 hasta el 2013.

Todos los mapas en la Figura 9 son “mapas de diferencias” que muestran los cambios de elevación (en metros) que han ocurrido entre los diferentes periodos de recolección de datos. Cada mapa incluye una

<sup>2</sup> Kim, J., Lu, Z., Qu, F., Hu, X., 2015. Pre-2014 mudslides at Oso revealed by InSAR and multi-source DEM analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6 (3), 184-194.

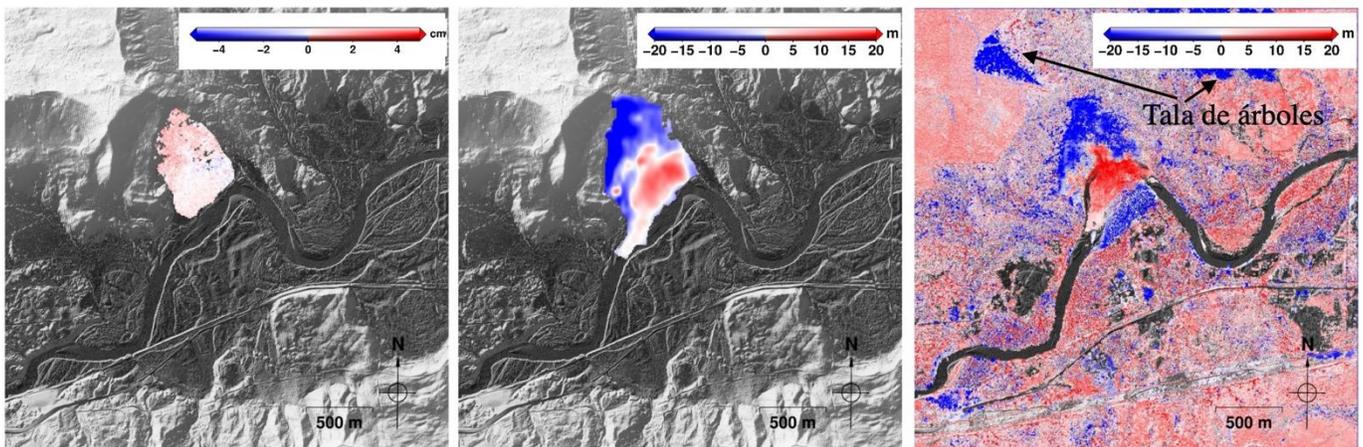
descripción del periodo en el cual se recolectaron los datos que registra y el tipo de datos utilizados. En cada mapa, el rojo representa los aumentos de elevación (la escala máxima es de 20 m para todos los mapas, excepto en el mapa D donde el máximo es 5 m), el azul representa las pérdidas de elevación (mínimo de 20 m excepto en el mapa D donde el mínimo es 5 m) y el verde indica que no hubo cambios de elevación. Utiliza los mapas en la Figura 9 para contestar las siguientes preguntas.



9A. Diferencia entre los datos SRTM del 2000 y los datos LiDAR del 2003.

9B. Diferencia entre los datos LiDAR del 2003 y los datos InSAR del 2007.

9C. Diferencia entre los datos SRTM del 2000 y los datos InSAR del 2007.



9D. Diferencia entre los datos InSAR del 2007 y los datos InSAR del 2011.

9E. Diferencia entre los datos SRTM del 2000 y los datos LiDAR del 2013.

9F. Diferencia entre los datos SRTM del 2003 y los datos LiDAR del 2013.

Figura 9. Mapas de diferencias para la zona del deslizamiento de Oso durante los 14 años precedentes al evento de 2014 (Kim et al., 2015).

6. Entre el 2000 y el 2003, ¿el aumento de elevación ocurrió en la zona del escarpe principal o en el dedo del deslizamiento?

---



---

7. Durante el periodo de monitoreo ocurrió un deslizamiento rápido. ¿Crees que ocurrió entre el 2007 y el 2011 o entre el 2003 y el 2007? Argumenta tu respuesta.

---



---



---

- 
8. Estima el área del deslizamiento que creció 10 m o más entre 2000 y 2013 (fíjate en la escala).
- 
- 
9. La Figura 9F difiere un poco de las demás, ya que se basa en datos LiDAR que incluyen puntos de elevación de la vegetación, además de los puntos de elevación superficial. Las áreas azules indican pérdida de vegetación. ¿Consideras que la ausencia de árboles sobre el escarpe principal contribuiría a aumentar las fuerzas impulsoras o la resistencia al deslizamiento? Argumenta tu respuesta.
- 
- 
- 
- 
10. Describe al menos tres consecuencias sociales del deslizamiento de Oso. Imagina que eres un consultor para una comunidad ubicada en un contexto geológico similar. Sugiere tres acciones que la comunidad debería llevar a cabo para reducir el riesgo de deslizamientos.
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

## Peligro Volcánico

### Monitoreo volcánico del Monte Rainier, Washington, Estados Unidos de América (EUA)

## Objetivos de aprendizaje

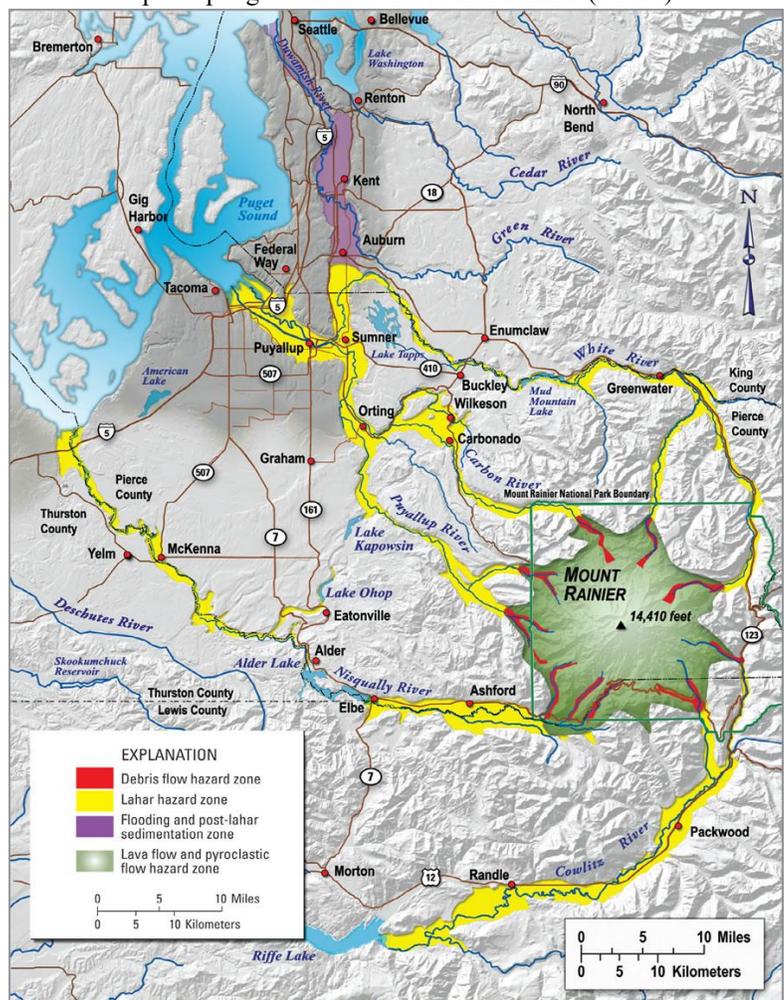
Al completar esta actividad, serás capaz de:

- Interpretar diferentes tipos de datos precursores de erupciones con el fin de generar hipótesis y predecir el impacto de un aumento progresivo de la actividad geológica sobre una posible erupción;
- Generar conclusiones a partir del análisis de bases de datos reales en constante cambio;

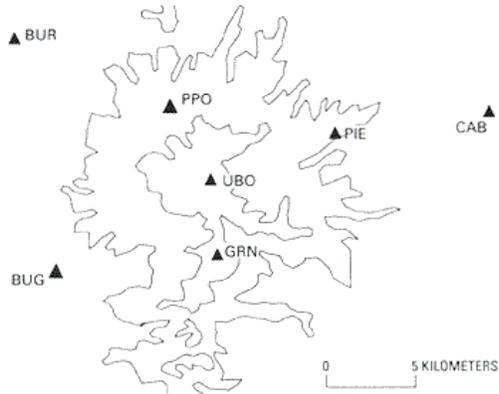
## Vivir al límite del peligro en una zona de subducción

Por su elevación (4392 msnm) y su relieve, su cima capeada de nieve, sus valles radiales alimentados por glaciares y su cercanía a los suburbios del área Seattle-Tacoma, el Monte Rainier es, sin duda, el volcán más peligroso de la Cordillera de las Cascadas (el arco volcánico relacionado con la subducción de la placa Pacífica bajo la placa de Norteamérica). Su erupción podría producir ceniza volcánica, flujos de lava y flujos piroclásticos. Además, al derretir la nieve y el hielo que capean el volcán, estos eventos pueden impulsar la formación de lahares, los cuales representan el mayor peligro relacionado con una erupción volcánica.

Mapa de peligros del área del Monte Rainier (USGS).



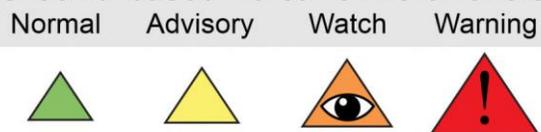
Estaciones de monitoreo en el volcán.



El Servicio Geológico de los EUA (USGS) ha establecido un sistema de alerta para comunicar el aumento o disminución de la actividad de un volcán.

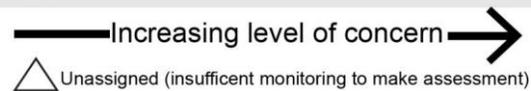
Nivel de alerta	Descripción
Verde	El volcán se encuentra en su estado no eruptivo o está regresando a su estado no eruptivo después de una erupción.
Amarillo	El volcán muestra un incremento de actividad respecto a su estado no eruptivo o, después de una erupción, su actividad ha disminuido, pero sigue siendo monitoreada para detectar un posible nuevo aumento.
Naranja	La actividad volcánica se intensifica, indicando una posible erupción en un plazo de tiempo incierto, o se está llevando a cabo una erupción con peligros limitados.
Rojo	Se sospecha una erupción peligrosa inminente o se está llevando a cabo una erupción peligrosa.

### Ground-based Volcano Alert Levels



### Aviation Color Codes

Green      Yellow      Orange      Red



## Reporte de la actividad sísmica

Para poder evaluar y predecir la actividad futura de un volcán, se debe preparar un reporte de la actividad sísmica.

Completa los siguientes elementos del reporte sismológico.

1. Describe brevemente cómo se usa la sismicidad para el monitoreo de volcanes.

---

---

---

---

2. Usa la Tabla S para describir los diferentes tipos de datos sobre la actividad sísmica que tienes a disposición en el Anexo S. Esto te ayudará a organizar tu descripción de cómo ha evolucionado la actividad sísmica del volcán.

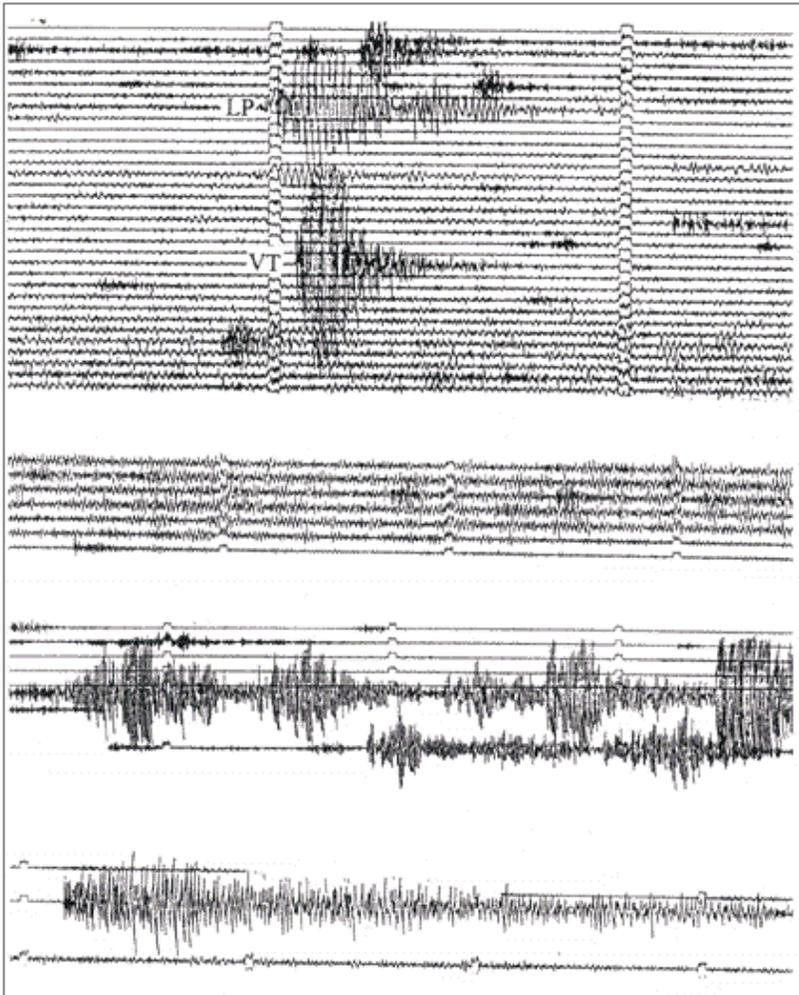
Tabla S

Fecha	Tipo de dato	Descripción	Interpretación
15 de mayo	Sismogramas	Un sismo, registrado en dos estaciones (cima y flanco NE)	Un solo evento de tipo VT que indica un movimiento de rocas relacionado con la migración de magma.
6 al 31 de mayo	Ubicación de los sismos		
1 al 7 de junio	Ubicación de los sismos		
10 de mayo al 8 de junio	RSAM		
1 al 8 de junio	Histograma de los eventos sísmicos		



## Anexo S

A continuación, se describen algunos tipos de sismos reconocibles a partir de sus sismogramas. Las marcas de tiempo representan intervalos de 1 minuto.



LP: terremoto de período largo, asociado a la inyección y al movimiento del magma en rocas superficiales; sugiere una erupción inminente.

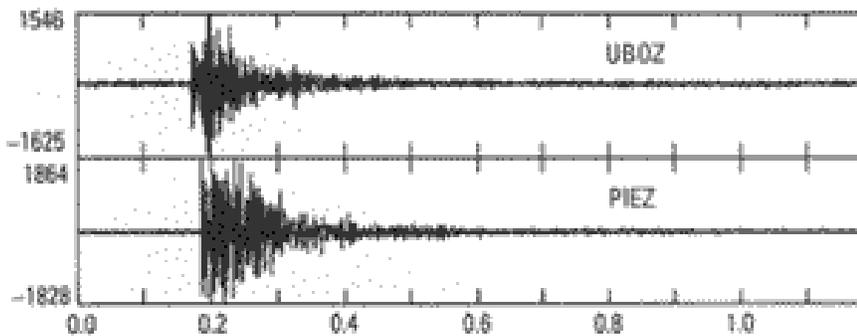
VT: terremoto volcánico-tectónico, profundo, que indica cambios en la tensión de las rocas relacionados con la inyección o el retroceso de magma.

Eventos LP muy próximos entre sí.

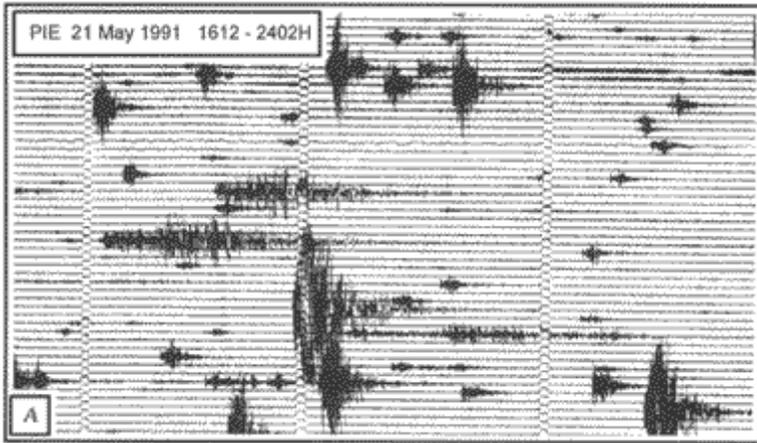
Temblores armónicos: liberación continua y prolongada de energía sísmica asociada con el movimiento de magma a baja profundidad.

Señal sísmica de una erupción explosiva.

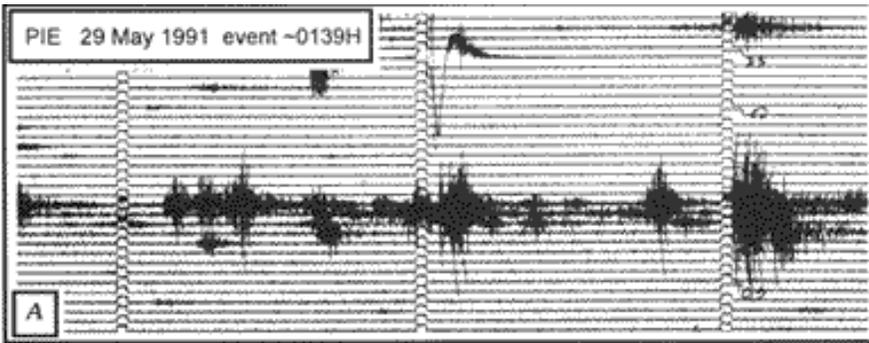
A continuación, se proporcionan varios tipos de datos sísmicos (sismogramas, RSAM, ubicación de sismos e histogramas de sismos) registrados entre el 6 de mayo y el 8 de junio.



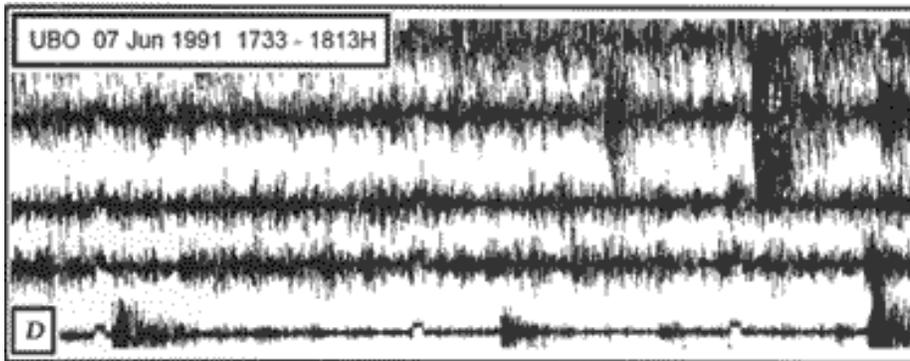
Sismogramas del 15 de mayo registrados en las estaciones UBO y PIE. Se muestran los intervalos de tiempo en segundos.



Sismogramas registrados el 21 de mayo en la estación PIE. El tiempo corre desde arriba hasta abajo y de izquierda a derecha. Los intervalos de tiempo son de 60 segundos.



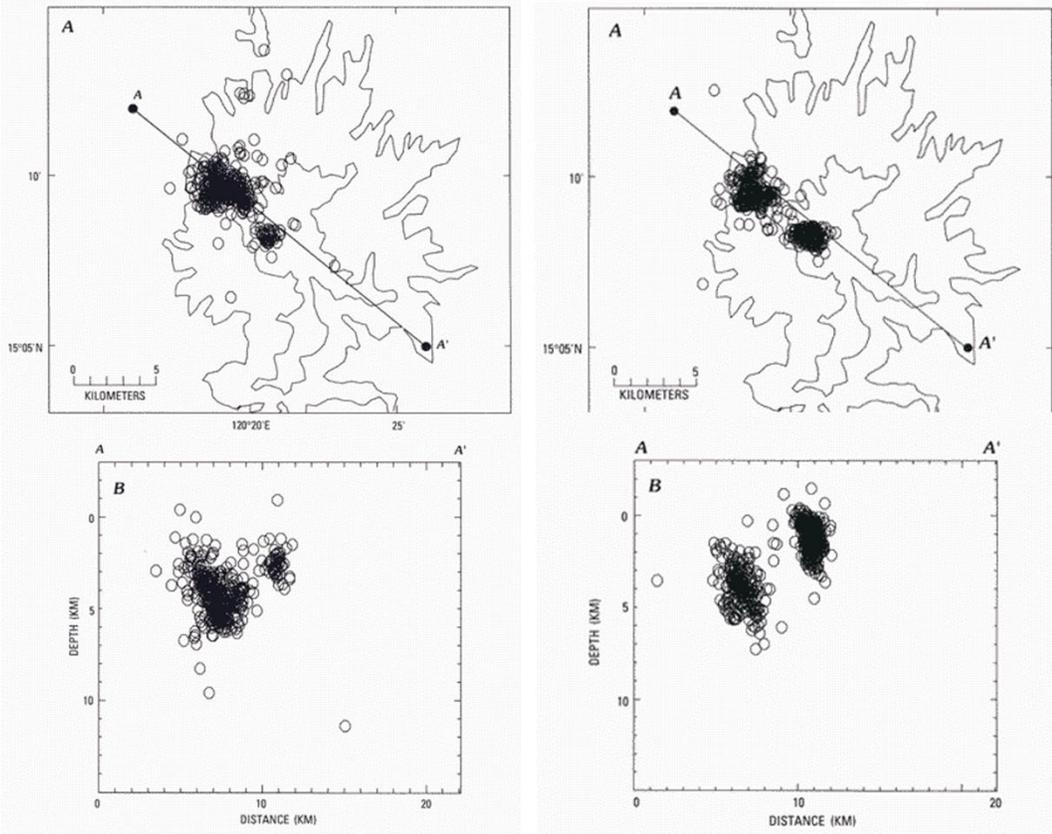
Sismograma registrado el 29 de mayo en la estación PIE. Los intervalos de tiempo son de 60 segundos.



Sismograma registrado el 7 de junio en la estación UBO. El tiempo corre desde arriba hasta abajo y de izquierda a derecha. Considera que esta señal se esfuma 2 horas después del segmento que se muestra. Los intervalos de tiempo son de 60 segundos.

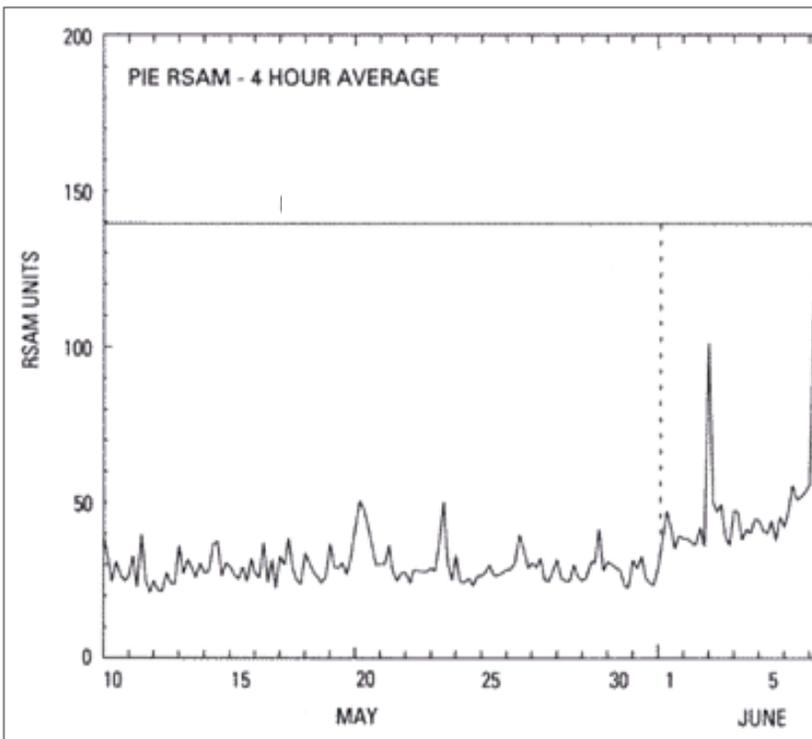
6 al 31 de mayo

1 al 7 de junio



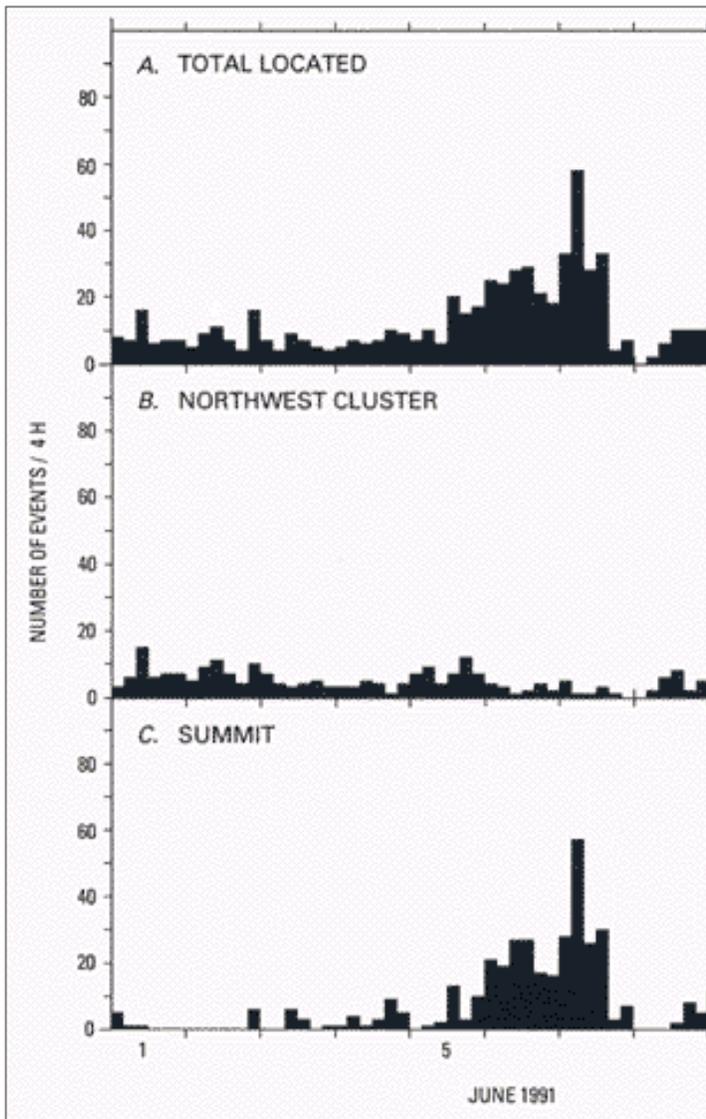
Ubicación de los sismos en mapa.

Distribución de los sismos en profundidad a lo largo del perfil AA'.



Datos RSAM medidos en la estación PIE desde el 10 de mayo al 8 de junio (promedios obtenidos cada 4 horas).

La RSAM (medida de la amplitud sísmica en tiempo real) representa un promedio de todas amplitudes sísmicas registradas en una estación, independientemente del tipo de sismo que las ha generado.



Número de eventos sísmicos que ocurrieron cada 4 horas entre el 1 y el 8 de junio, registrados en (A) todas las estaciones del volcán, (B) el área ubicada 5 km al NW de la cima y (C) en la cima.

## Reporte de la geoquímica de gases

Para poder evaluar y predecir la actividad futura de un volcán, es fundamental preparar un reporte de las emisiones de gas y de la actividad fumarólica.

Completa los siguientes elementos de un reporte de geoquímica de gases.

1. Describe brevemente qué relación existe entre las emisiones de  $\text{SO}_2$  y una posible erupción volcánica y en qué manera el análisis de las emisiones de gas ayuda a monitorear los volcanes.

---

---

---

---

---

2. Usa la Tabla G para describir los datos de gases y actividad fumarólica que tienes a disposición en el Anexo G. Esto te ayudará a organizar tu descripción de cómo han evolucionado la actividad de los gases y las fumarolas del volcán desde abril.

Tabla G

Fecha	Tipo de dato	Descripción	Interpretación
2 de abril	Deformación del suelo		
13 al 25 de mayo	Emisiones de $\text{SO}_2$ (tons/día)		
26 al 28 de mayo	Emisiones de $\text{SO}_2$ (tons/día)		
30 de mayo al 8 de junio	Emisiones de $\text{SO}_2$ (tons/día)		

3. ¿Qué indica un aumento o una disminución de las emisiones de  $\text{SO}_2$  sobre una posible erupción? ¿Por qué?

---

---

---

---

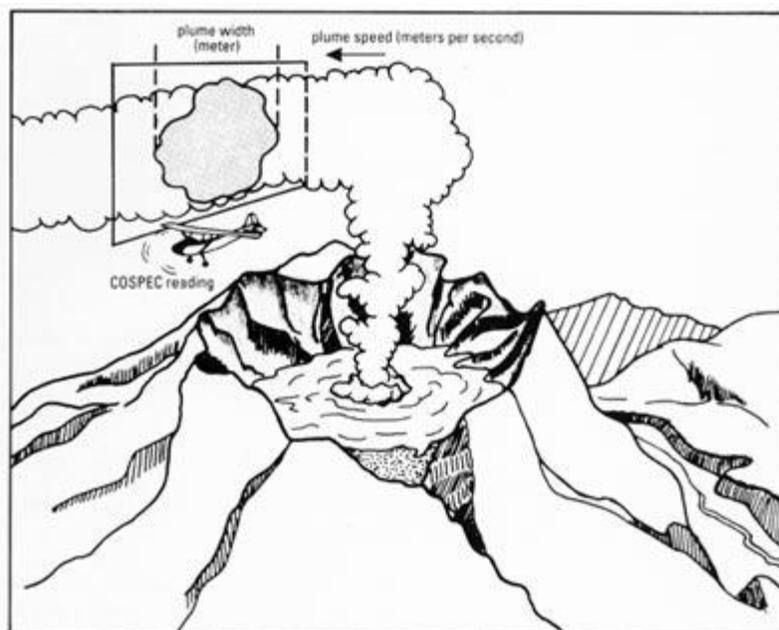
---



## Anexo G

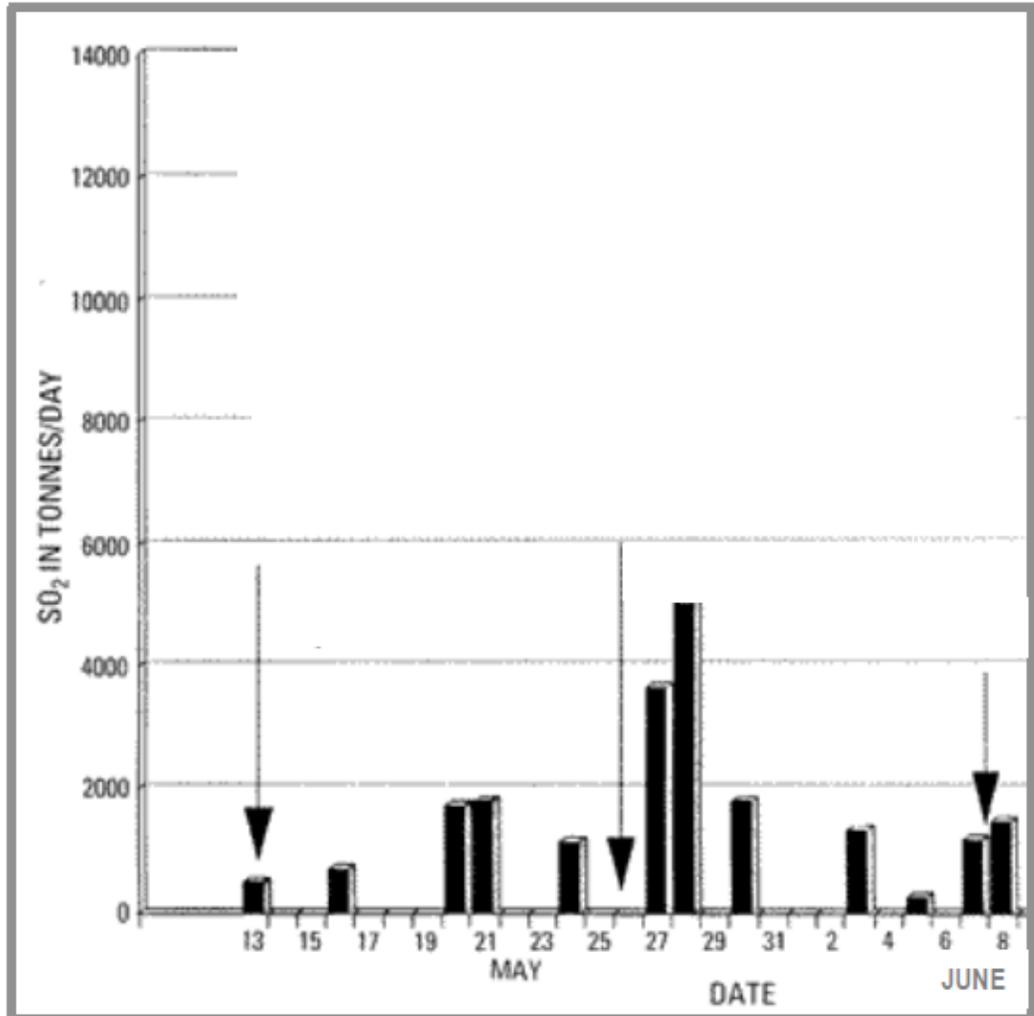


Fotos de fracturas y lineamientos de nuevos cráteres formados por las explosiones del 2 de abril en el flanco norte del volcán. En la foto de la izquierda se aprecian fumarolas prominentes a lo lejos, en la zona sur.

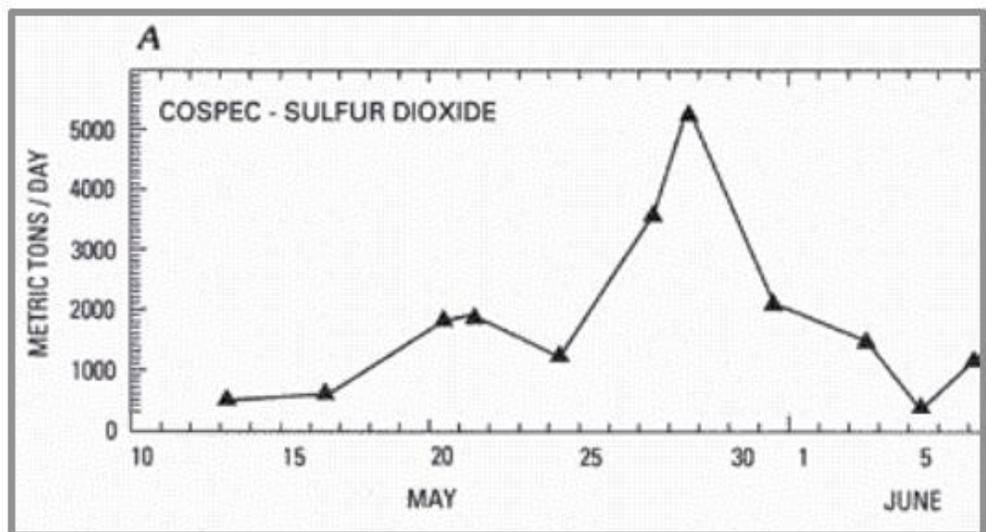


Un helicóptero equipado con un COSPEC sobrevuela la pluma volcánica para medir la concentración de  $\text{SO}_2$ . Para obtener la tasa de emisión de  $\text{SO}_2$ , se integra la concentración de  $\text{SO}_2$  sobre el ancho de la pluma y se multiplica por la velocidad del viento.

Emisiones de SO<sub>2</sub> del 13 de mayo al 10 de junio.



Volúmenes de SO<sub>2</sub>, estimados a partir de las mediciones con COSPEC del 10 de mayo al 8 de junio.



## Agua Subterránea

### Disponibilidad de Agua Subterránea en el Condado de Gaines, Texas, Estados Unidos de América (EUA)

#### Objetivos de aprendizaje

Al completar esta actividad, serás capaz de:

- Discutir la relación entre el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua subterránea como recurso.
- Predecir si la disponibilidad de agua subterránea de una región es motivo de preocupación para los habitantes.
- Explicar cómo es posible que se agote el agua subterránea.
- Obtener datos para evaluar cambios en los niveles de agua subterránea.

#### Explorando la base de datos de agua subterránea del USGS

Los siguientes pasos te guiarán a explorar la base de datos de agua subterránea del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), la cual se encuentra disponible en el sitio web <http://waterdata.usgs.gov/nwis/qw>.

Paso 1: Ingresa a la liga y en la pestaña “Data Category” selecciona “Groundwater” y en la pestaña “Geographic Area” elige “Texas”. Haz clic en “GO”. Posterior a ello, en la Introducción podrás encontrar un enlace con el nombre “field-water-level measurements”, haz clic en él.

The screenshot shows the USGS National Water Information System (NWIS) Web Interface. At the top, there is a navigation bar with the USGS logo and the tagline "science for a changing world". Below this, the page title is "National Water Information System: Web Interface" and "USGS Water Resources". A search bar is visible with "Data Category" set to "Groundwater" and "Geographic Area" set to "Texas", with a "GO" button. Below the search bar, there are several sections:

- Click to hide News Bulletins**: A section with a bullet point: "Explore the NEW [USGS National Water Dashboard](#) interactive map to access real-time water data from over 13,500 stations nationwide." and a link for "Full News".
- USGS Groundwater Data for Texas**: A section with a bullet point: "Click to hide state-specific text".
- Current Conditions (42 sites)**: A section with a blue button labeled "Current Conditions". The text describes current conditions at selected sites based on the most recent data from on-site automated recording equipment. Measurements are commonly recorded at a fixed interval of 15- to 60-minutes and transmitted to the USGS every hour. Values may include "Approved" (quality-assured data that may be published) and/or more recent "Provisional" data (of unverified accuracy and subject to revision). Most current data are provisional.
- Historical Observations (79 sites)**: A section with a blue button labeled "Historical Observations". The text describes historical observations at selected sites based on the most recent data from on-site automated recording equipment. Measurements are commonly recorded at a fixed interval of 15- to 60-minutes and transmitted to the USGS every hour. Values may include "Approved" (quality-assured data that may be published) and/or more recent "Provisional" data (of unverified accuracy and subject to revision). Most historical data are provisional.

Red circles highlight the search filters and the "field-water-level measurements" link in the "Introduction" section.

Paso 2: Debajo de “Site Location”, activa la casilla “County” y haz clic en Submit.

**Choose Site Selection Criteria**  
There are 19,735 sites with groundwater-level measurements. Choose at least one of the following criteria to constrain the number of sites selected.

**Site -- Location --**

- County
- Hydrologic Unit (by Code)
- Hydrologic Unit (by Name)
- Lat-Long box

**Site -- Identifier --**

- Site Name
- Site Number
- Multiple Site Numbers
- Agency Code
- File of Site Numbers

**Site -- Attribute --**

- Well depth
- Hole depth
- National aquifer (by code)
- National aquifer (by name)
- Local aquifer (by code)
- Local aquifer (by name)

**Data -- Attribute --**

- Number of observations

[Questions or Comments](#)  
[Automated retrievals](#)  
[Help](#)

[Data Tips](#)  
[Explanation of terms](#)  
[Subscribe for system changes](#)  
[News](#)

Accessibility FOIA Privacy Policies and Notices  
U.S. Department of the Interior | U.S. Geological Survey  
Title: Groundwater for Texas: Water Levels

Paso 3: En la lista de “County”, selecciona “Gaines County”. Debajo elige la casilla “Show sites on map” y haz clic en Submit.

**County -- select one or more**

- Preston County
- Gaines County**
- Galveston County
- Garza County
- Gillespie County

**Choose Output Format**  
Display Summary of Selected Sites  
Choose one of the following options for displaying descriptions of the sites meeting the criteria above:

- Show sites on a map [Help](#)
- Table of sites grouped by [dropdown]
- Scroll list of sites -- allows selection of data for multiple sites
- Brief descriptions -- allows selection of data for multiple sites
- Site-description information displayed in [XML format dropdown]

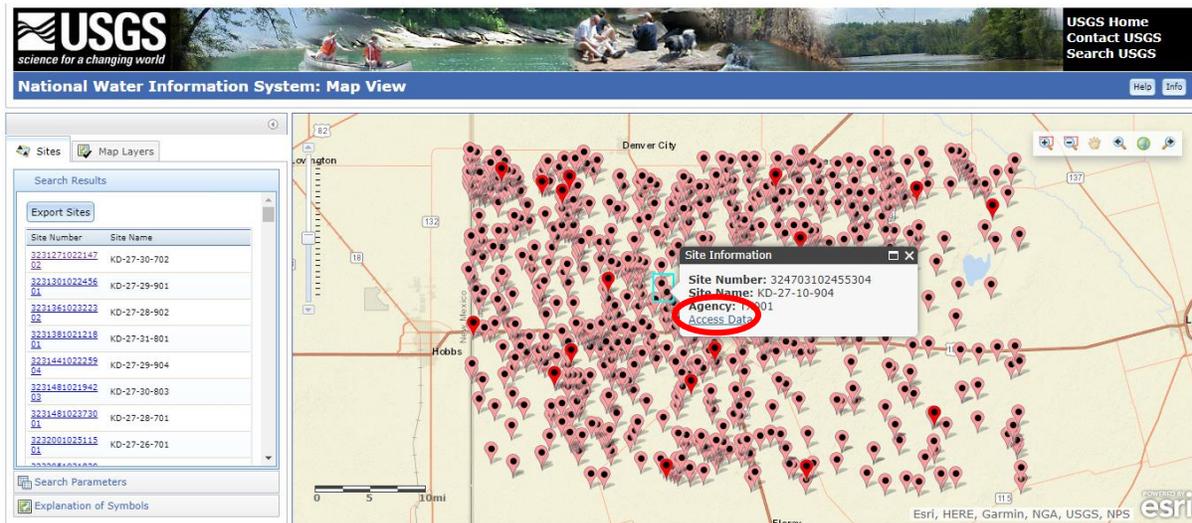
(Select fields to include in site-description output)

- Agency
- Site identification number
- Site name
- Site type

- Save file of selected sites to local disk for future upload

**Retrieve Groundwater level data for Selected Sites**  
Choose one of the following options for displaying data for the sites meeting the criteria above

Paso 4: Ahora puedes acceder a la información de cada pozo con solo dar clic en ellos. Si después de dar clic en cualquier pozo haces clic en “Access data” se abrirá una nueva ventana con los tipos de datos disponibles.



Paso 5: En la nueva ventana que se genera al hacer clic en Access Data, haz clic en “Field groundwater-level measurements data type”. (Toma en cuenta para la actividad el número que aparece debajo de Count, entre mayor sea, mayor cantidad de datos tendrás).

**TX001 324703102455304 KD-27-10-904**

Available data for this site [SUMMARY OF ALL AVAILABLE DATA](#) [GO](#)

**Well Site**

**DESCRIPTION:**  
 Latitude 32°47'03", Longitude 102°45'53" NAD27  
 Gaines County, Texas , Hydrologic Unit 12080003  
 Well depth: 152.0 feet  
 Land surface altitude: 3,422.0 feet above NGVD29.  
 Well completed in "High Plains aquifer" (N100HGHLN) national aquifer.  
 Well completed in "Ogallala Formation" (121OGLL) local aquifer

**AVAILABLE DATA:**

Data type	Begin Date	End Date	Count
<a href="#">Field groundwater-level measurements</a>	1964-01-16	1964-01-16	1
<a href="#">Revisions</a>	Unavailable (site:0) (timeserror)		

**OPERATION:**  
 Record for this site is maintained by the USGS Texas Water Science Center  
 Email questions about this site to [Texas Water Science Center Water-Data Inquiries](#)

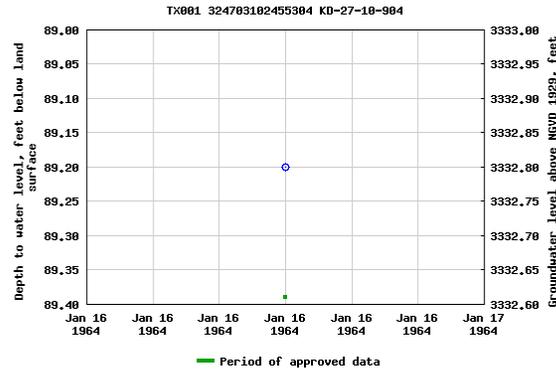
[Questions or Comments](#)  
[Automated retrievals](#)  
[Help](#)

[Data Tips](#)  
[Explanation of terms](#)  
[Subscribe for system changes](#)  
[News](#)

Paso 6: Ahora puedes visualizar toda la base de datos del pozo que seleccionaste en un gráfico con relación al tiempo. Puedes guardar una copia de este gráfico en “Download a presentation quality graph”.

Gaines County, Texas  
 Hydrologic Unit Code 12080003  
 Latitude 32°47'03", Longitude 102°45'53" NAD27  
 Land-surface elevation 3,422.0 feet above NGVD29  
 The depth of the well is 152.0 feet below land surface.  
 This well is completed in the High Plains aquifer (N100HGHLN) national aquifer.  
 This well is completed in the Ogallala Formation (121OGLL) local aquifer.

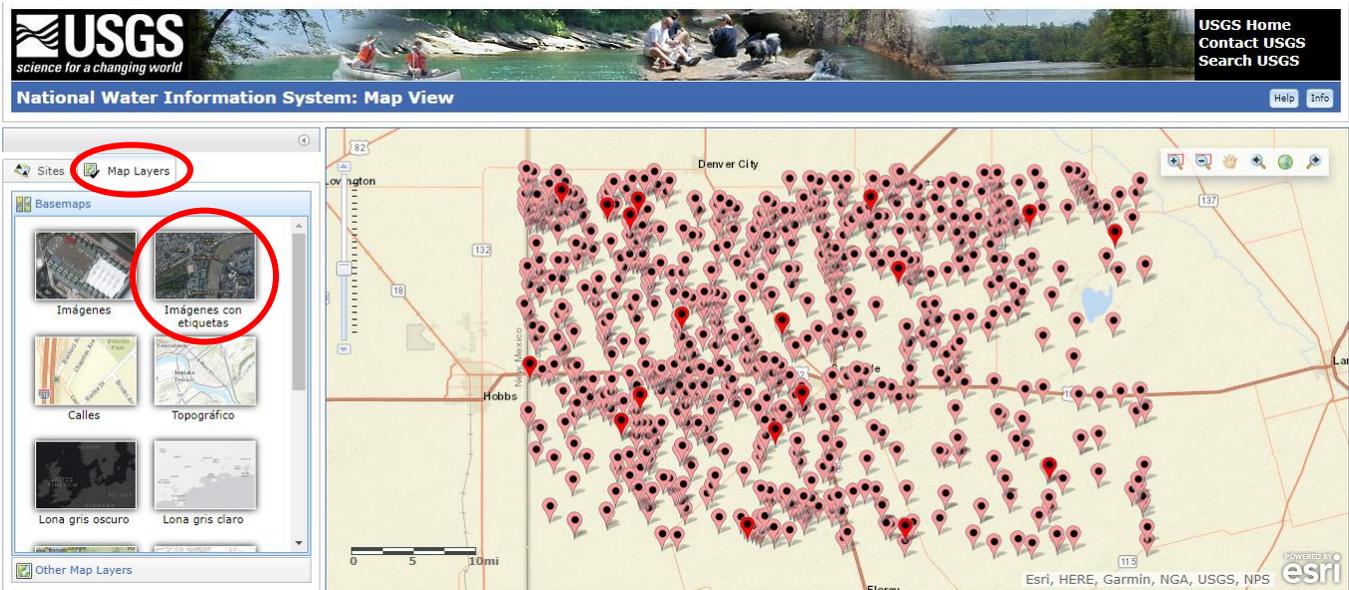
Output formats
<a href="#">Table of data</a>
<a href="#">Tab-separated data</a>
<a href="#">Graph of data</a>
<a href="#">Reselect period</a>



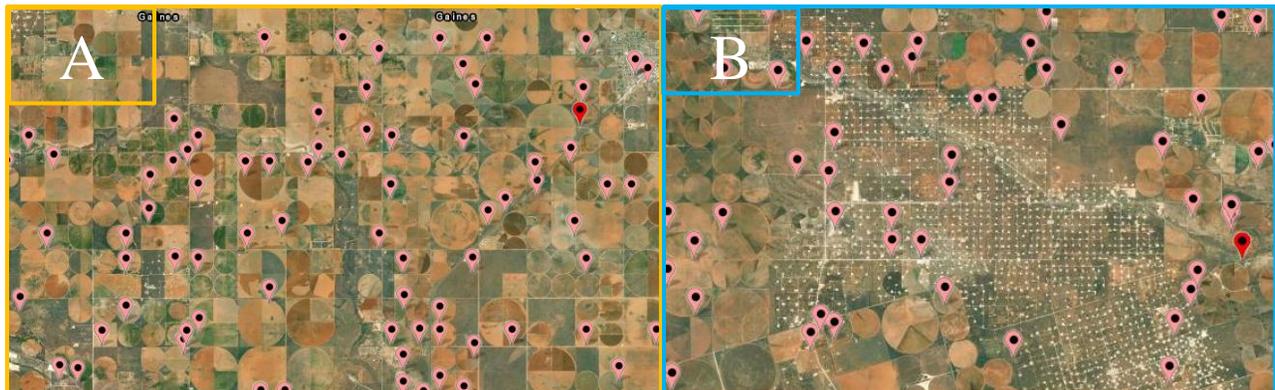
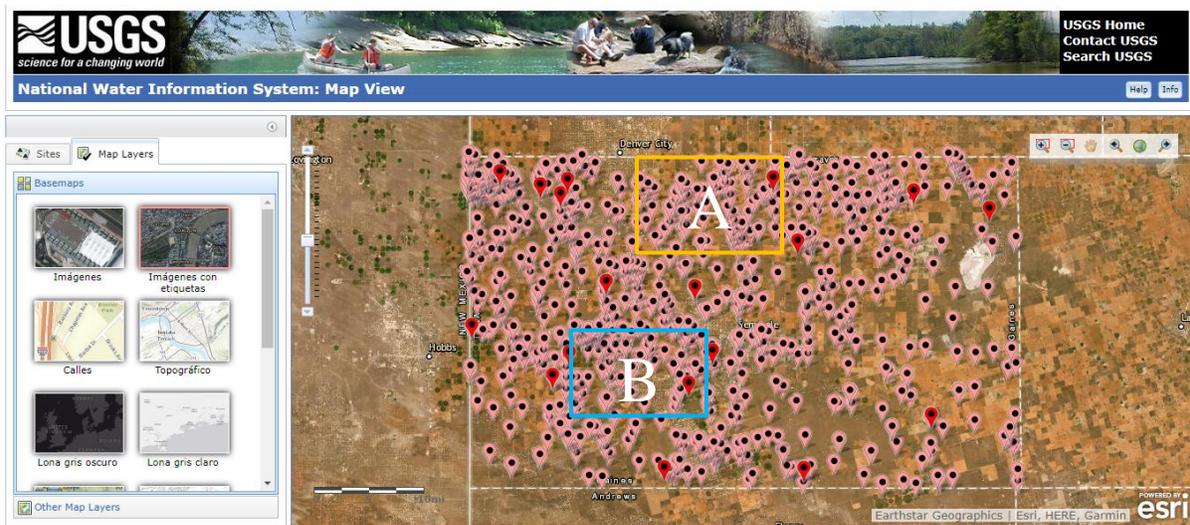
Breaks in the plot represent a gap of at least one year between field measurements.

[Download a presentation-quality graph](#)

Paso 7: De regreso a la ventana del mapa en las pestañas de la izquierda haz clic en “Map Layers” y luego en “Imagery with Labels” (Imágenes con etiquetas). Puedes explorar otras capas como elevación, delimitación de condados, caminos, etc.



Paso 8: Haz zoom a las áreas A (tierras de cultivos de riego) y B (campo de hidrocarburos). Estas áreas se utilizarán para la actividad.



### Evaluación del nivel de agua subterránea y su disponibilidad

Localiza 3 pozos agrícolas y 3 pozos en el campo petrolero. En el área A elige pozos con una cuenta mayor a 5 (el número mencionado en el Paso 5) y para el área B intenta encontrar pozos con una cuenta mayor a 2, en esta área es posible encontrar pozos con cuenta mayor a 10. Recuerda que entre mayor sea el número, mejor será el análisis del nivel de agua subterránea.

Con los datos que obtuviste del sitio web del USGS, contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Existen tendencias en los niveles de agua subterránea en el tiempo? Si tu respuesta es sí, ¿a qué se deben estas tendencias?

---



---



---



---

2. ¿Se observan diferencias entre los niveles de agua subterránea en el tiempo entre las dos áreas seleccionadas?

---

---

---

---

3. Con base en los datos observados, predice la futura disponibilidad de agua subterránea en estas áreas.

---

---

---

4. Localiza un pozo en cualquier otra área del Condado Gaines y menciona información interesante que hayas encontrado respecto a los niveles de agua subterránea.

---

---

---

---

## Soluciones

### Agua Superficial e Inundaciones

#### Las inundaciones en Cedar Falls, Iowa, Estados Unidos de América (EUA)

### Objetivos de aprendizaje

Al completar esta actividad, serás capaz de explicar que las inundaciones tienen un carácter periódico y probabilístico, son causadas por factores meteorológicos anuales y de corto plazo y pueden tener un impacto importante en las comunidades que viven cerca de un río.

Para alcanzar este objetivo:

- Interpretarás datos hidrográficos y meteorológicos con el fin de entender la relación entre las precipitaciones, el caudal de un río y las inundaciones;
- Calcularás los intervalos de recurrencia de grandes inundaciones para un sistema fluvial usando los datos obtenidos de la medición de la corriente de agua;
- Explicarás el concepto de “inundación de 100 años” y por qué inundaciones de dicha magnitud pueden ocurrir en años consecutivos o muy próximos;
- Describirás los peligros asociados a un río y evaluarás su impacto en las comunidades cercanas.

### Consideraciones iniciales

En 1993, el Medio Oeste de los EUA experimentó altos niveles de precipitación, lo que ocasionó la “Gran Inundación de 1993”. Las primeras dos fotografías muestran la extensión de la inundación cerca de St. Louis, Missouri, mientras que la tercera muestra una casa que quedó atrapada en la inundación.

Observa las imágenes y contesta las siguientes preguntas.

4. ¿Crees que el dueño de la casa de la tercera foto pudo haber imaginado que su propiedad estaría afectada por una inundación?

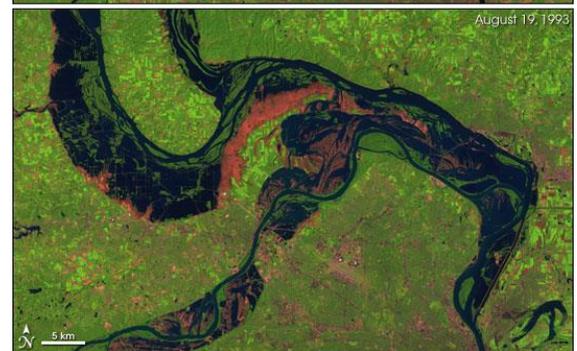
Se desconoce la cercanía exacta de la casa al río, sin embargo, el propietario tenía conocimiento de que vivía cerca de un río y ser consciente de ello es conocer y estar pendiente de cómo el río aumenta y disminuye su nivel a lo largo del año. Por lo que no precisamente pudo predecirlo, pero sí asociarlo a eventos en específico para estar preparado.

5. ¿Qué medidas podría haber tomado el dueño para proteger su casa?

Elevando el terreno de la casa colocando material de relleno o, con el material de construcción, hacer que esta tuviera una mayor altitud y así poder evitar que el agua, una vez iniciada una inundación, entrara al hogar y solo quedara debajo de él.

6. Si esa fuera tu casa, ¿te quedarías ahí o evacuarías?

Evacuaría por mi seguridad y por la seguridad de los que viven conmigo ya que el agua de inundación puede llevar consigo mucha basura, sustancias nocivas para la salud y/o animales peligrosos.



Imágenes Landsat de la región de St. Louis antes y durante la Gran Inundación de 1993 (NASA Earth Observatory, imagen de Jesse Allen).



Casa de St. Louis, Missouri afectada por la Gran Inundación de 1993 (fotografía de Sam Leone).

## ¿Qué impacto tiene un sistema fluvial en las personas que viven en proximidad del río? Ideas iniciales

4. ¿De dónde viene el agua en exceso que se desborda de un río?  
Generalmente el agua que desborda un río tiene como origen un evento de lluvias muy abundantes o durante periodos prolongados ya sea en el río mismo o desde una zona alta lejana que es donde inicia dicho río.
5. ¿Qué crees que significa el término “inundación de 100 años”? ¿Cada cuántos años crees que podría ocurrir una inundación de ese tipo?  
Debido a que las inundaciones son muy difíciles de predecir o de conocer la cantidad de agua que estas llevarán consigo debe referirse a la probabilidad de ocurrencia de una inundación o a la magnitud de una inundación en un lugar dado.
6. Enlista unas ideas de cómo un río puede afectar una casa o ciudad.  
El agua que acarrea las inundaciones cuando se desborda un río cercano a ciudades o poblaciones afectan a las construcciones de forma que, dependiendo el material, pueden dañar la estructura, además todos los muebles dentro de una casa pueden salir dañados o destruidos y debido a la basura es un peligro para la salud humana y de las mascotas.

### Contexto

En 1993, las ciudades a lo largo de los Ríos Mississippi y Missouri experimentaron una inundación récord debido a las altas tasas de precipitación durante la primavera. La inundación afectó un área de más de 800,000 km<sup>2</sup>, desplazando miles de personas y destruyendo cientos de hogares. Los expertos en sistemas fluviales la llamaron una “inundación de 500 años”.

En 2008, varias regiones del Medio Oeste de los EUA volvieron a inundarse. En Cedar Rapids, Iowa, se inundaron más de 5,200 hogares. Dicha inundación fue descrita una vez más como una “inundación de 500 años”, por lo que Iowa ha experimentado dos inundaciones de este tipo en tan solo 15 años.

### Parte 1 - Cambios anuales en el nivel del río

El “nivel de inundación” de un río se define como la altura que tiene la superficie del agua cuando esta comienza a inundar áreas que no se encuentran comúnmente sumergidas. Esta altura se relaciona con un caudal específico (recuerda que el caudal de un río es el volumen de agua que pasa por una sección del canal en un segundo y se mide en m<sup>3</sup>/s). Entonces, cuando alcanza dicha altura y caudal, un río experimenta una inundación y comienza a desbordarse.

Para esta actividad analizaremos las inundaciones que ha sufrido la ciudad de Cedar Falls, en Iowa. Cedar Falls es una ciudad de 35,000 habitantes que viven a lo largo de las orillas del Río Cedar. La ciudad ha experimentado numerosas inundaciones desde su fundación en 1845.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) mantiene una estación en Cedar Falls que mide la altura del Río Cedar y reporta los datos cada hora. Cuando el Río Cedar alcanza el nivel de inundación en esta estación, tiene un caudal de 660 m<sup>3</sup>/s. Este volumen de agua es el que comienza a desbordarse.

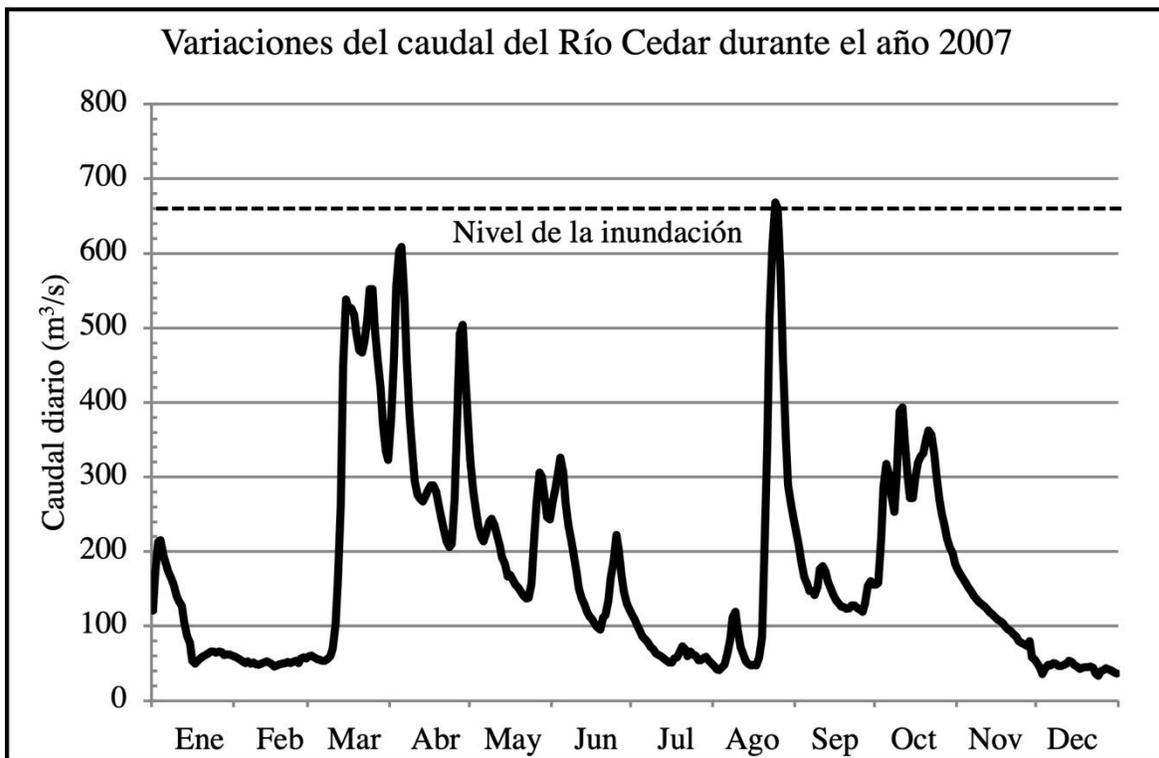
La gráfica abajo muestra cómo ha variado el caudal del Río Cedar durante el año 2007. Recuerda que la altura del agua está relacionada con el caudal, por lo que, cuando el caudal aumenta, el nivel del río también aumentará.

Analiza la gráfica y contesta las siguientes preguntas.

3. Describe cómo ha cambiado el caudal durante el año 2007.

El nivel del caudal en el año inicia bajo y aumenta de forma inmediata durante marzo, sin embargo, ese crecimiento disminuye paulatinamente hasta alcanzar los niveles iniciales hasta agosto que es cuando se observa un mayor aumento repentino que disminuye rápidamente a diferencia del inicio del año. Para el cierre del año el nivel del caudal regresa al inicial.

4. ¿A qué se deben los picos repentinos en el caudal del Río Cedar?  
Probablemente, lo que ocasione los picos repentinos en la gráfica del caudal de un río esté asociado a un evento de mucha lluvia u otro tipo de precipitación, esto relacionado directamente a los cambios de clima naturales a lo largo de año como el derretimiento de nieve durante la primavera por el aumento de temperatura.



## Parte 2 - Conexión con el ciclo hidrológico

A continuación, se muestran dos gráficas en las que se compara el caudal del Río Cedar con la precipitación diaria. En la primera se muestran los datos de todo el año 2007, mientras que la segunda se enfoca a los meses de abril y mayo del mismo año.

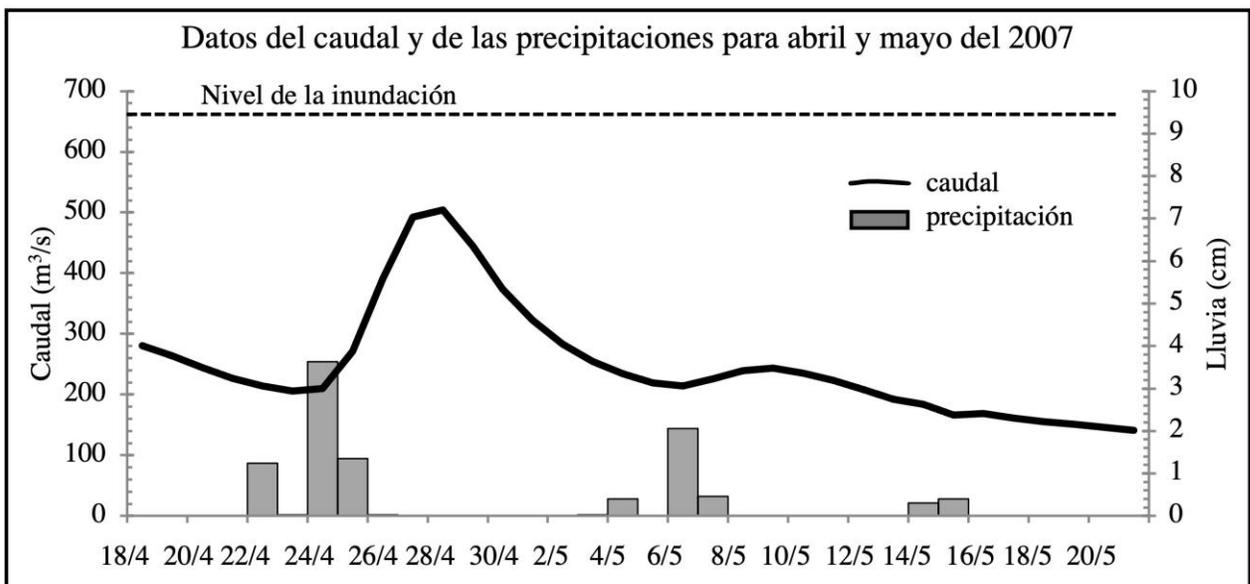
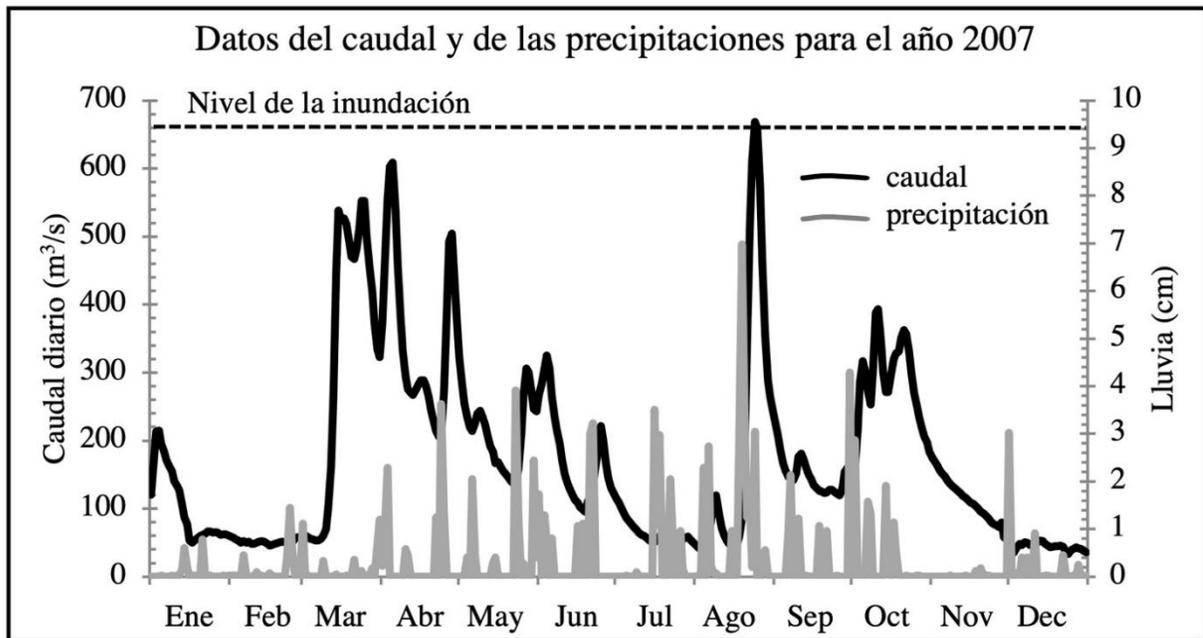
Analiza los diagramas y contesta las siguientes preguntas.

5. Describe la relación entre los valores de precipitación y el caudal del río. ¿A qué se debe esta relación?  
Cuando hay mayor precipitación aumenta la cantidad de agua que ingresa al río, lo que está directamente asociado al aumento del caudal, además cuando la precipitación aumenta es un evento de días mientras que el efecto en el aumento del caudal tiene una duración de un mes, o varios días, en lo que retoma el nivel que tenía previo al aumento de lluvias como ocurrió en el mes de agosto.
6. En algunos casos, la precipitación y el caudal del río no están relacionados. ¿Por qué podría ser?  
De enero a marzo se observa una alta precipitación junto con un caudal bajo mientras que en marzo aumenta drásticamente cuando las precipitaciones son bajas, esto ocurre debido a que los inviernos en la zona traen consigo temperaturas muy bajas y precipitación en forma de nieve que no llega al río de

forma inmediata, sino hasta que disminuyen las temperaturas en marzo debido al deshielo y es por ello que el efecto de la precipitación no tiene un efecto inmediato en el caudal.

7. Observa cómo cambia el caudal del río después de un evento de lluvia. ¿Por qué el caudal no aumenta el mismo día en que ocurre el evento de lluvia?

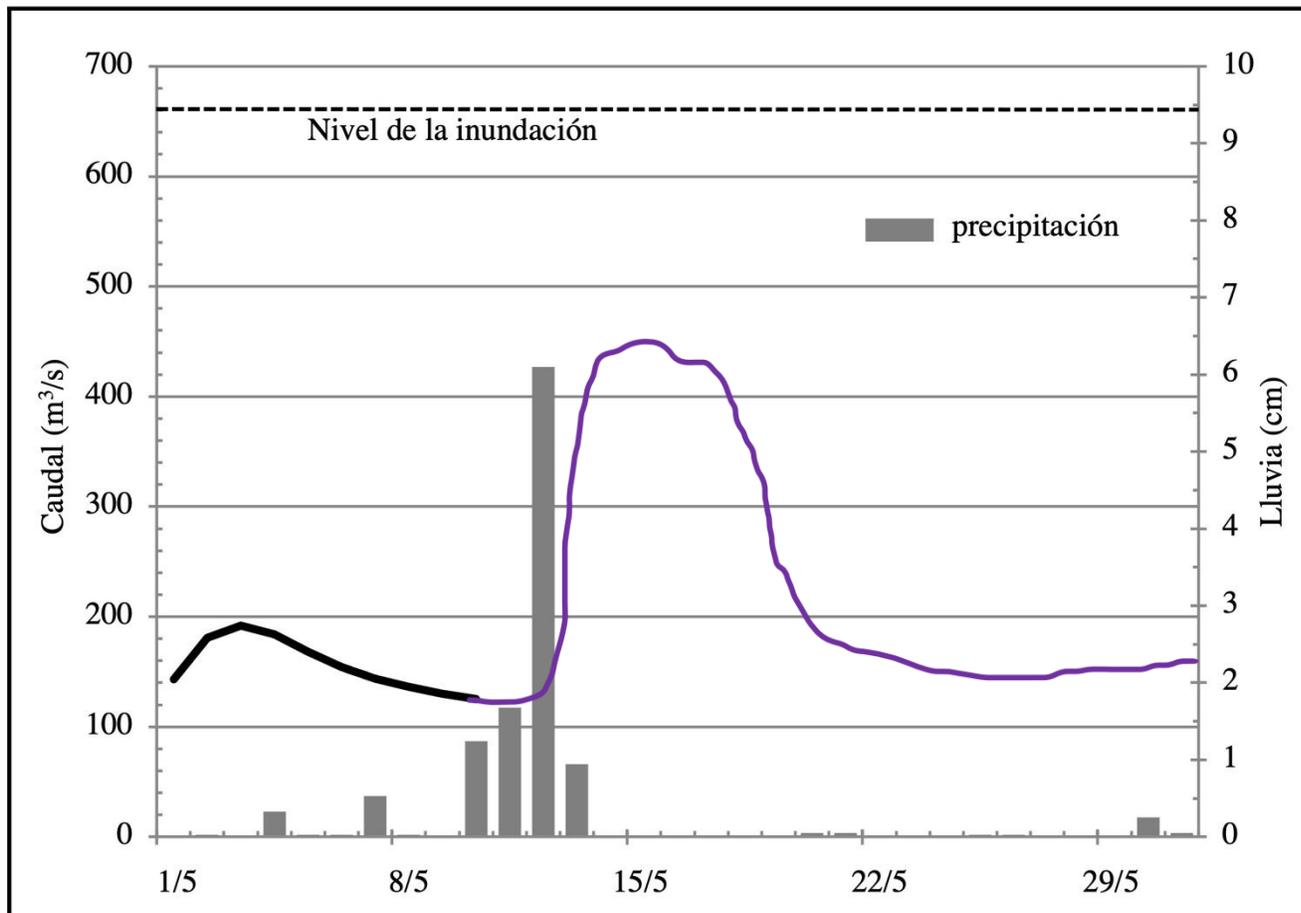
El efecto no es inmediato debido a que gran parte del agua que precipita no cae directamente en el río, por lo que para llegar a él tiene que escurrir de las zonas de tierra o infiltrarse y llegar al río a través del subsuelo y el agua en ambos procesos toma de días a semanas en moverse al río, y a pesar de la movilidad del agua, no llega toda al río pues en el camino se evapora o al infiltrarse llega a mayores profundidades.



Los datos de ambos diagramas fueron registrados en la estación USGS de Waterloo y están disponibles en [waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=USGS&site\\_no=05464000](http://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=USGS&site_no=05464000).

8. La gráfica siguiente muestra un evento hipotético de lluvia y el caudal del Río Cedar. La línea que describe la variación del caudal termina el 10 de mayo. Continúa la línea por el resto del mes y explica por qué la dibujaste de esa forma.

El caudal aumentaría un par de días después del aumento de lluvias, sin embargo, como este evento no es muy prolongado y la cantidad de agua se reduce casi a cero en los siguientes días el caudal rápidamente retoma su nivel inicial.



### Parte 3 - Variación anual

Al comparar los datos del caudal del Río Cedar medidos en diferentes años, se pueden reconocer patrones y tendencias comunes. En la página siguiente, se muestran las gráficas de los datos de caudal relativos a los años 1977, 1983, 1997 y 2010.

Analiza las gráficas y responde las siguientes preguntas.

3. Infiere la cantidad de lluvia que cayó en los diferentes años en Cedar Falls y justifica tus respuestas.
1977. En comparación con las gráficas de los demás años se puede identificar que hubo un evento de sequía significativa durante 1977. El nivel del caudal en muchas ocasiones se acerca demasiado al cero, es decir, sin agua en el río, lo que es fácil traducirlo a baja o nula precipitación por periodos muy prolongados, posiblemente ocurrieron eventos de lluvia durante los meses de marzo y septiembre, sin embargo, no fueron lo suficientemente fuertes para contrarrestar el bajísimo nivel del caudal.
1983. El año inició con bajos niveles de caudal, sin embargo el nivel aumentó hasta llegar y sobrepasar el nivel de inundación en más de una ocasión desde marzo hasta el mes de junio, esto pudo haber ocurrido por un largo periodo de lluvias constantes, es decir, que durante estos cuatro meses la precipitación no solo fue alta, sino que prolongada, por lo que el alto nivel en el caudal se mantuvo así

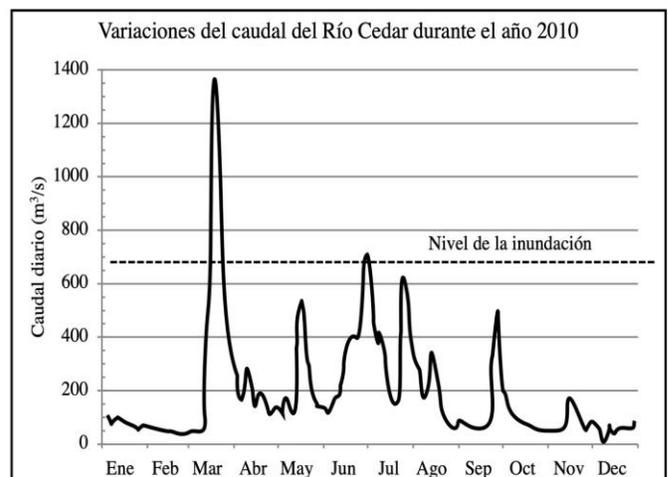
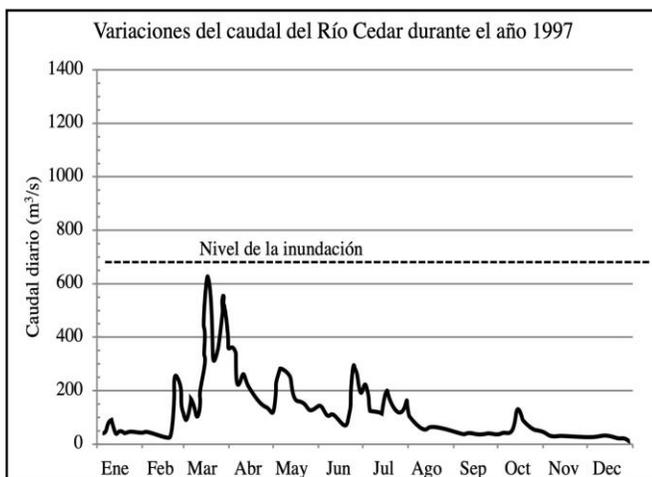
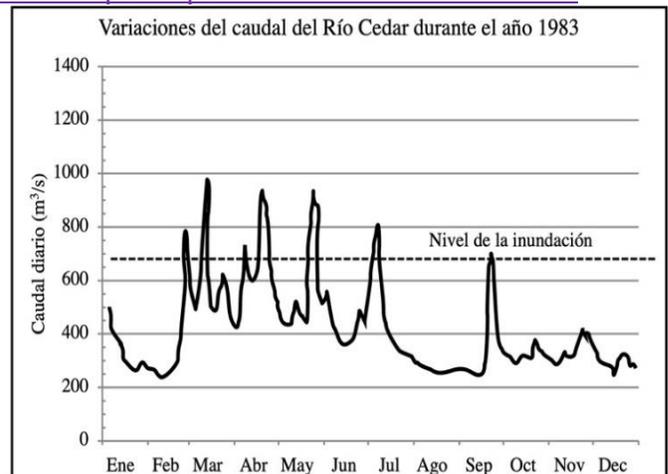
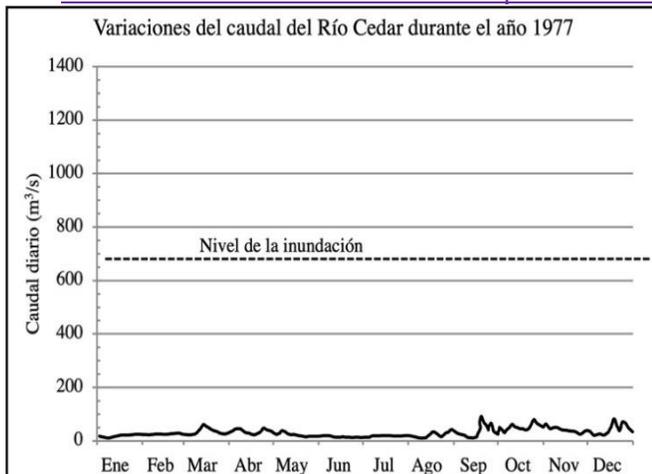
por un largo tiempo, sin embargo, una vez que dicho evento se detuvo, el caudal regresó a sus niveles previos y sólo se volvió a modificar en la siguiente temporada de lluvias, la cual fue corta en comparación a la ocurrida en primavera.

1997. Comparando las cuatro gráficas que se presentan, se puede decir que los números registrados este año presentan los niveles de caudal menos extremos y podrían aproximarse a datos promedio en la zona. Se observan niveles bajos del caudal al inicio y final del año mientras que, durante la temporada de lluvias, en el segundo tercio del año, el caudal del río Cedar aumentó más allá del promedio sin representar un peligro pues no alcanzó el nivel de inundación en ningún momento y una vez terminada dicha temporada, el caudal retomó su nivel.

2010. Se observa inmediatamente un evento de una inundación muy grande en marzo – abril del 2010 lo que pudo haber influido en que el caudal del río se mantuviera alto, en comparación a los demás años analizados, durante el resto del año ya que más adelante es posible identificar caudales que sobrepasan, por poco, el nivel de inundación. Una de las causas de la gran inundación que se observa puede ser resultado de una tasa alta de precipitación, ya que previo a ello, el caudal del río era muy bajo, incluso se encontraba debajo del promedio que se ha observado en todas las gráficas hasta el momento.

4. Discute las analogías y diferencias que has observado en las variaciones del caudal de los cuatro años y las relaciones que has inferido entre las variaciones del caudal y el régimen de lluvias.

En todos los años, en cada uno de sus casos, coinciden en los meses en donde se encuentran los niveles más altos del caudal (marzo, julio), así como los niveles más bajos (diciembre – enero, junio) esto debido a que, a pesar de los eventos que diferencian cada año como las inundaciones o las sequías, la tendencia que hace crecer o disminuir el caudal se repite casi de igual forma en los cuatros años analizados esto relacionada al comportamiento del clima que responde a las estaciones del año.



## Parte 4 - Predicción de inundaciones futuras

Desafortunadamente, las inundaciones no se pueden predecir. Sin embargo, es posible utilizar los datos de inundaciones pasadas para calcular la probabilidad de ocurrencia de una inundación de cierto tamaño. Las inundaciones pequeñas ocurren casi todos los años, mientras que las grandes, que son las más preocupantes, ocurren esporádicamente.

Se ha definido el término “inundación de 100 años” para referirse a una inundación que tiene el 1% de probabilidad de ocurrir en cualquier año. Esto no quiere decir que una inundación de ese tamaño ocurre solo una vez cada 100 años, sino que la probabilidad de ocurrencia anual de una inundación de dicho volumen es muy baja.

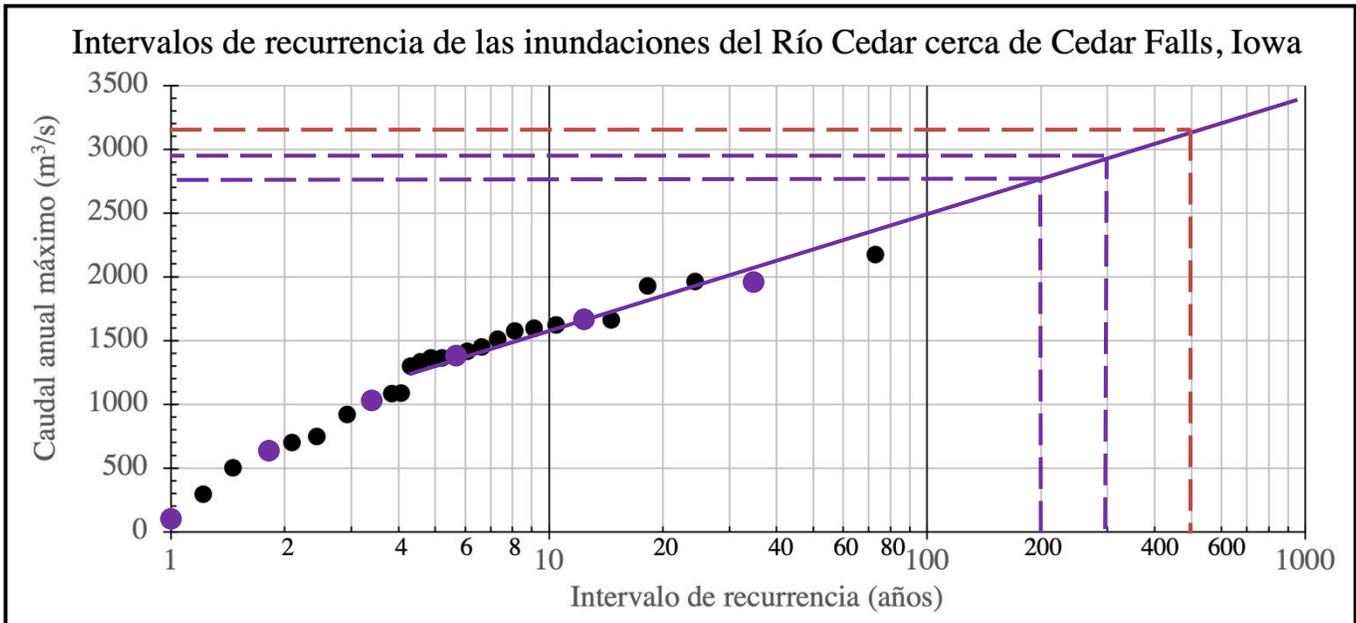
El USGS monitorea el caudal de muchos ríos y usa estos datos para determinar la frecuencia de las inundaciones. Las estimaciones de la frecuencia de las inundaciones son más precisas cuando se cuenta con un registro de caudales de varios años. La frecuencia de las inundaciones normalmente se expresa en términos de “intervalo de recurrencia”. Este es el número promedio de años que pasan entre una inundación y otra de la misma magnitud y se calcula enlistando todas las inundaciones que han ocurrido y clasificándolas en un rango de mayor a menor caudal.

El USGS ha monitoreado el Río Cedar cerca de Cedar Falls desde 1941. En la tabla abajo se enlistan algunos de los mayores caudales que se han registrado entre el 1941 y el 2013, excluyendo los eventos del año 2008 (la Gran Inundación del 2008 se tratará posteriormente) y algunas inundaciones menores.

Rango	Fecha	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Intervalo de recurrencia (años)	Rango	Fecha	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Intervalo de recurrencia (años)
1	29 Mar 1961	2171.9	73.0	15	31 Mar 1960	1362.0	4.9
2	8 Abr 1965	1968.0	<u>36.5</u>	16	30 Jul 1990	1333.7	4.6
3	23 Jul 1999	1962.4	24.3	17	15 Abr 2001	1296.9	4.3
4	2 Abr 1993	1928.4	18.3	18	8 Mar 1950	1087.4	4.1
5	29 Jun 1969	1659.4	14.6	19	1 Mar 1948	1081.7	3.8
6	25 May 2004	1656.5	<u>12.2</u>	20	18 Abr 1973	1056.2	<u>3.7</u>
7	31 May 2013	1622.6	10.4	25	25 Ago 1979	920.3	2.9
8	9 Abr 1951	1597.1	9.1	30	17 Jun 1944	747.6	2.4
9	13 Jun 1947	1574.4	8.1	35	28 Mar 1959	699.4	2.1
10	17 Mar 1945	1509.3	7.3	40	30 Jun 1998	659.8	<u>1.8</u>
11	31 Mar 1962	1449.8	6.6	50	28 Mar 1943	501.2	1.5
12	5 Mar 2010	1413.0	6.1	60	5 Mar 1985	294.5	1.2
13	23 Jun 1954	1398.9	<u>5.6</u>	70	17 Jul 1958	122.3	<u>1.0</u>

La ecuación para obtener el intervalo de recurrencia es:  $intervalo\ de\ recurrencia = (n + 1) / rango$ , donde  $n$  es el número de años registrados (en este caso 72, ya que no se está tomando en cuenta el 2008) y el rango es la posición de la inundación en la lista.

9. Completa la tabla calculando los intervalos de recurrencia de las seis inundaciones para las cuales dichos valores no están indicados.
10. Una vez calculados los intervalos de recurrencia, coloca tus resultados en la gráfica de frecuencia de inundaciones que se muestra a continuación (toma en cuenta que los datos del eje horizontal están reportados en escala logarítmica).



11. Después de haber graficado los seis puntos, dibuja una recta que pase por los valores con intervalos de recurrencia iguales o mayores a 4 años y extiéndela hacia el extremo derecho de la gráfica. Es normal que la línea no pase por todos los datos, sin embargo, procura trazarla de manera que se ajuste a la mayoría de los puntos. La recta que has dibujado te permite conocer el intervalo de recurrencia de una inundación de cierto volumen, y viceversa.

Al extender la línea al extremo derecho del diagrama, es posible predecir el caudal de grandes inundaciones que aún no han ocurrido.

12. ¿Cuál sería el caudal de una inundación de 200 años? ¿Y de una inundación de 300 años?

Inundación de 200 años =  $2,750 \text{ m}^3/\text{s}$

Inundación de 300 años =  $2,950 \text{ m}^3/\text{s}$

A partir de los intervalos de recurrencia, se puede calcular la probabilidad de ocurrencia anual de una inundación de cierto tamaño. La probabilidad de ocurrencia ( $P$ ) de una inundación con cierto intervalo de recurrencia ( $RI$ ) es  $P = 100 / RI$ . La tabla siguiente muestra la relación entre el intervalo de recurrencia de cierta inundación y su probabilidad de ocurrencia anual.

Intervalo de recurrencia (años)	Probabilidad de ocurrencia anual de una inundación
1	100%
2	50%
5	<u>20%</u>
10	10%
50	<u>2%</u>
100	1%
500	<u>0.2%</u>

13. Calcula la probabilidad de ocurrencia de las inundaciones para las cuales este dato no está indicado.

14. El 11 de junio del 2008, el Río Cedar tuvo un caudal récord de  $3,171 \text{ m}^3/\text{s}$ . Utiliza la gráfica anterior para estimar el intervalo de recurrencia de esa inundación y determina la probabilidad de que una inundación de ese tamaño vuelva a ocurrir.

Intervalo de recurrencia = 700 años      Probabilidad = 0.15%

15. Con base en los datos de caudal que has examinado, ¿crees que una inundación que tiene un intervalo de recurrencia de 1 año tiene el 100% de probabilidad de ocurrir cada año? Explica.  
De acuerdo con los datos que se han observado a lo largo de la actividad acerca del comportamiento del Río Cedar es posible inferir que tiene un caudal promedio de 100 – 200 m<sup>3</sup>/s (sin tomar en cuenta inundaciones o sequías) y una inundación con el 100% de ocurrencia representa una inundación con caudal máximo anual de 122 m<sup>3</sup>/s, esto quiere decir que no se tomaría como una inundación en sentido estricto debido a que corresponde al caudal promedio del río.
16. En 2010, un río ha experimentado una inundación de 500 años. Dos estudiantes que viven cerca del río están debatiendo sobre el significado de este término y si es seguro vivir cerca del río. El estudiante 1 considera que “Es bastante seguro vivir cerca del río, debido a que el término “inundación de 500 años” significa que una inundación de ese tamaño solo ocurre una vez cada 500 años. Esto quiere decir que una inundación de ese tamaño no volverá a ocurrir hasta dentro de 500 años”. Por otra parte, el estudiante 2 considera que “No es buena idea vivir cerca del río en un lugar que se inundó en 2010. El término “inundación de 500 años” se refiere a la probabilidad de que una inundación de esa magnitud ocurra cada año y, ya que esa probabilidad no es cero, es posible que el área experimente el mismo evento de inundación el año sucesivo”. ¿Con cuál de los dos estudiantes estás de acuerdo y por qué?  
Estoy de acuerdo con el estudiante 2, debido a que, como lo describe en su argumento, el término “inundación de 500 años” hace referencia a una probabilidad, no a la cantidad de tiempo entre dos inundaciones de gran caudal. Como lo mencionó el segundo estudiante, la probabilidad de una inundación de gran caudal nunca es cero, por lo que vivir en un río no se consideraría una idea segura, debido a que el peligro de perder la propiedad, pertenencias dentro de ella o incluso la vida de algunos o varios de los habitantes del hogar está presente, aunque sea muy pequeña.

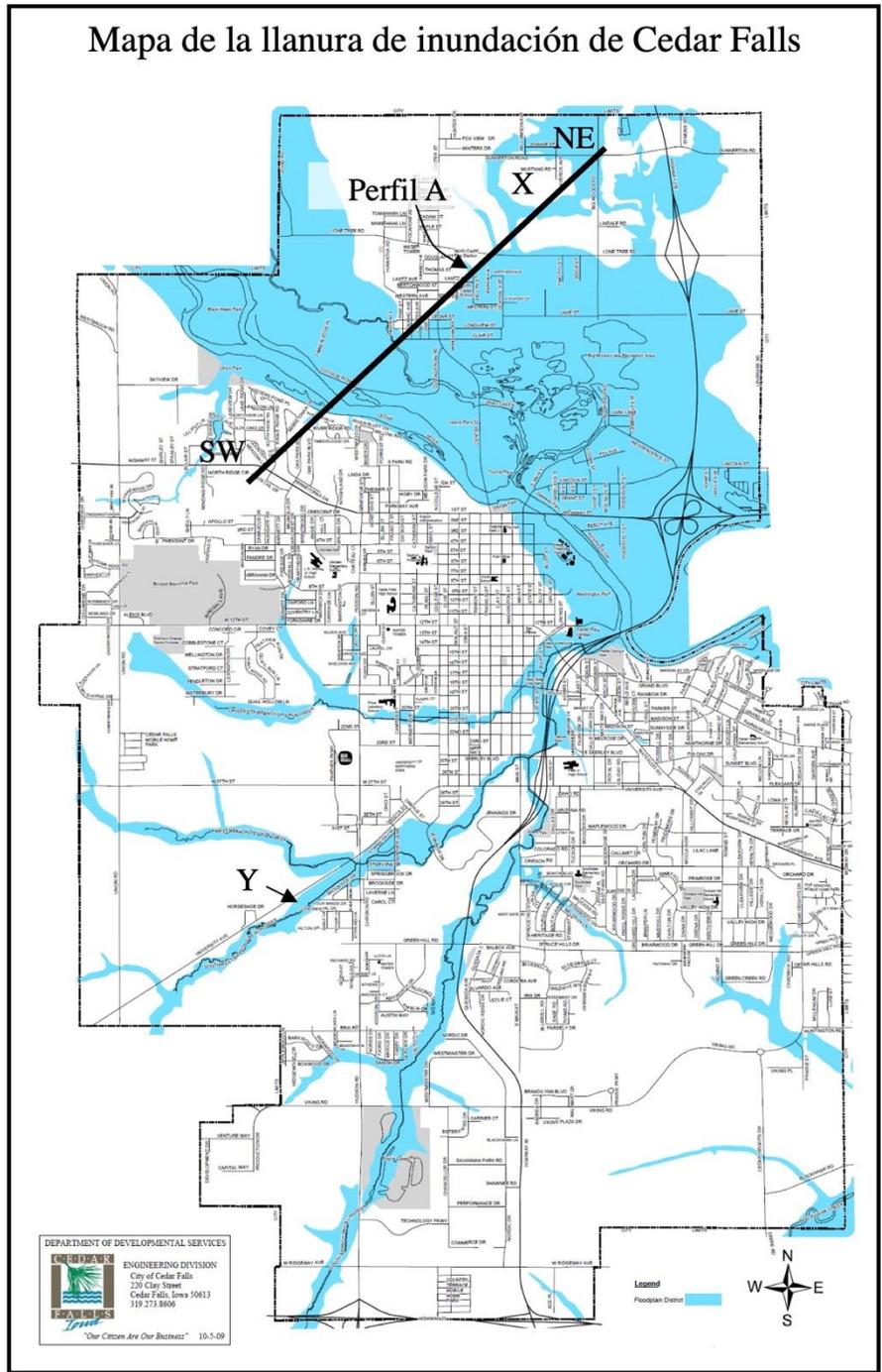
## Parte 5 - Consecuencias de vivir en una llanura de inundación

La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias en los EUA (FEMA) publica mapas que definen las áreas que se inundarían en caso de inundaciones de 100 y 500 años. Estos mapas se basan en datos de caudal e intervalos de recurrencia medidos en un segmento específico de un río y muestran qué partes de una comunidad se inundarían durante dichos eventos.

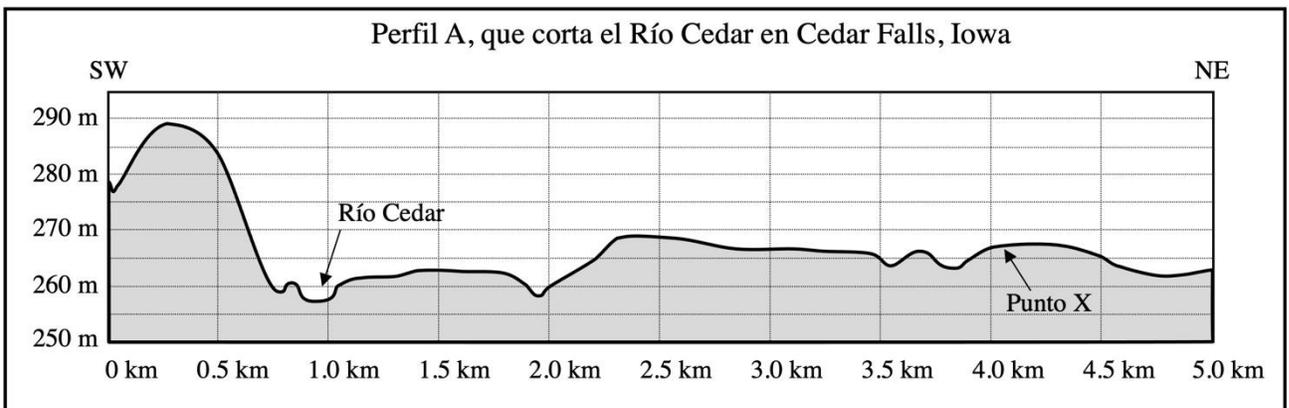
En algunos casos, una propiedad originalmente incluida en un área de inundación se puede revalorar y considerar fuera de peligro si sus dueños logran agregar suficiente material de relleno como para elevar la propiedad por encima del nivel potencial de la inundación. Asimismo, las ciudades pueden construir diques o muros contra inundaciones para proteger las áreas topográficamente más bajas. Como ocurre con cualquier mapa, los mapas de FEMA no son precisos al 100% y, a medida que se dispone de nuevos datos, se aportan modificaciones para corregir los errores. En algunos casos, esto significa que una zona que alguna vez estuvo catalogada dentro de un área de inundación podría catalogarse afuera del área de inundación luego de una actualización. Las ciudades como Cedar Falls usan estos mapas para regular las construcciones en la llanura de inundación.

El mapa en la página siguiente, construido para la ciudad de Cedar Falls en el año 2009, muestra el área de la ciudad que quedaría afectada por una inundación de 500 años análoga a la Gran Inundación que ocurrió en 2008. Normalmente, el Río Cedar en esta zona tiene una altura de 260 m, mientras que en la Gran Inundación del 2008 el agua alcanzó un nivel de 265 m. Desde entonces, el ayuntamiento ha decidido utilizar el área de inundación de 500 años como definición legal de llanura de inundación. Como se puede apreciar en el mapa, el área al noreste del río es más propensa a experimentar inundaciones difusas, debido a que el terreno es más plano y porque la orilla meridional del río está protegida por un dique. El perfil A muestra la topografía del terreno a los lados del río e ilustra cómo el lado SW es más empinado que el lado NE.

# Mapa de la llanura de inundación de Cedar Falls



Perfil A, que corta el Río Cedar en Cedar Falls, Iowa



Observa el mapa, el perfil A y contesta las siguientes preguntas.

3. El punto X se encuentra fuera del área afectada por la inundación de 500 años y, sin embargo, está rodeado por ella. ¿Por qué?

La altitud del punto X es mayor al nivel de inundación (265 m), sin embargo, el punto X se encuentra en un punto topográficamente alto de poca extensión, es decir, la altitud no es continua y cambia inmediatamente, puede tomarse el punto X como la cima de una pequeña loma y es por ello que sus alrededores, más bajos topográficamente, ya no sobrepasan el nivel de inundación y se encuentran dentro del área de inundación estimada.

4. El punto Y tiene una elevación de 280 m, mayor que la elevación de 265 m que alcanzaría el agua en una inundación de 500 años y, sin embargo, está marcado dentro de la llanura de inundación. ¿Por qué una zona tan elevada está incluida en la llanura de inundación? ¿Qué impacto podría tener esto en alguien que quisiera vivir más arriba del río para evitar inundaciones?

El punto Y se encuentra sobre un tributario del Río Cedar y es por estas zonas que llega una mayor cantidad de agua al río y aporta al caudal. Tomando en cuenta que si ocurre un aumento en el caudal del Río Cedar también habrá un aumento en el caudal del tributario que lo alimenta pues están conectados y es por ello que puede desbordarse y crear una llanura de inundación alrededor de este, aunque de un tamaño mucho menor a la llanura que crea el Río Cedar.

## Riesgo de inundaciones

### Objetivos de aprendizaje

Al completar esta actividad, serás capaz de:

- Interpretar el riesgo de inundación en diferentes localidades usando un mapa de riesgo de inundación;
- Explicar los peligros de vivir en una llanura de inundación y la utilidad de los aliviaderos de crecida, también conocidos como vertederos hidráulicos;
- Evaluar el riesgo de inundaciones en tu localidad.

### Parte 1 – Utilidad de los mapas de riesgo de inundación

La figura inferior es un mapa de riesgo de inundación para una sección de la ciudad de St. Louis, Missouri, Estados Unidos de América (EUA). El Río Mississippi se encuentra en la esquina superior derecha, mientras que el área sombreada con color azul es la zona designada como aliviadero de crecida. La zona sombreada con amarillo indica el área que quedaría cubierta por una inundación de 100 años, aunque ya se ha construido un sistema de diques que protegería esta parte de la ciudad de una inundación de ese tamaño.



Mapa de riesgo de inundación para una sección de la ciudad de St. Louis, Missouri. Imagen tomada y modificada de Google Earth.

Imagina que eres un vendedor de seguros contra inundaciones y tienes que vender dichos seguros a las casas marcadas en el mapa con los círculos azul y naranja.

9. ¿A cuál de las dos casas le cobrarías una tarifa más alta por el seguro contra inundaciones? ¿Por qué?

A la casa naranja le cobraría una tarifa más alta por un seguro en contra de inundaciones ya que se encuentra dentro del área de inundación de 100 años, es decir, que si ocurre una gran inundación en la zona tiene más probabilidad la casa naranja de inundarse que la casa azul, por lo tanto, es más probable que sí se tengan gastos contra inundación por cubrir en la casa naranja.

10. Los dueños de la casa azul no quieren adquirir el seguro contra inundaciones, debido a que no se encuentran en la zona de riesgo de una inundación de 100 años. ¿Estás de acuerdo con ellos o les sugerirías la adquisición del seguro? Justifica tu respuesta.

A pesar de no encontrarse dentro del área de inundación, la casa azul está muy cerca de ella. Es importante señalar que el área definida en la imagen corresponde a una inundación de 100 años, por lo que, si ocurre una inundación más grande, de 200, 500 o más años, es posible que las áreas de inundaciones correspondientes a esas inundaciones sí cubran la casa azul y, si no adquieren el seguro contra inundaciones, no podrán recibir una indemnización por sus pérdidas, ya que no es seguro que suceda, pero no es una probabilidad cero.

11. En 1993 ocurrió una inundación que excedió los parámetros de una inundación de 100 años en diversos puntos del Río Mississippi. Los dueños de la casa naranja consideran que no necesitan el seguro, ya que una inundación de 100 años ocurrió hace poco. ¿Estás de acuerdo con ellos o les sugerirías la adquisición del seguro? Justifica tu respuesta.

No estoy de acuerdo con los dueños de la casa naranja, ya que el término inundación de 100 años hace referencia a la probabilidad que ocurra una inundación de un determinado caudal, no quiere decir que sea una inundación que ocurre cada 100 años exactamente y como responde a una probabilidad no muy grande, pero no igual a cero, es una inundación que puede ocurrir en cualquier momento por lo que el peligro que una inundación grande presenta es inminente y sugiero sí adquieran el seguro contra inundaciones.

12. Otro motivo por el cual los dueños de la casa naranja no consideran oportuno adquirir el seguro es porque el sistema de diques elimina el riesgo de inundaciones. ¿Qué les dirías a los dueños para convencerlos de que el seguro contra inundaciones es una buena inversión?

El sistema de aliviaderos de crecidas tiene una ubicación estratégica que le permite mitigar los efectos de una inundación, sin embargo, si la inundación es muy grande y sobrepasa la capacidad de dichos aliviaderos, el agua continuará su paso llegando a la zona de viviendas dentro del área de inundación señalada en la imagen donde representaría ya un peligro.

13. Los dueños de la casa azul se dedican a bienes raíces y no comprenden por qué los valiosos terrenos frente al río son reservados para el aliviadero de crecidas. Explica si tú estuvieses dispuesto a asegurar viviendas construidas sobre el aliviadero, tomando en cuenta el riesgo y los beneficios económicos. También, explica por qué los dueños deberían valorar el aliviadero, sobre todo considerando la ubicación de su casa.

Los terrenos inmediatos al río son ideales para la construcción de aliviaderos ya que su inmediatez permitirá gestionar de mejor manera y en menor tiempo el exceso de agua en un caso de cualquier tipo de inundación ya que los aliviaderos ayudan en que el agua no llega a la zona de viviendas o en que llegue en menor cantidad de la esperada dependiendo el tamaño de la inundación. Este es un beneficio especialmente para las viviendas alejadas del río, como es el caso de la casa azul, ya que tienen mayor tiempo de advertencia y menor probabilidad de inundación.

## Parte 2 - Riesgo e historial de inundaciones en tu ciudad

Así como la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias tiene mapas de riesgo de inundación para los EUA, México tiene el Atlas Nacional de Riesgos, cuyo acceso es gratuito en la página <http://atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>. En la pestaña “Capas” del menú lateral, puedes seleccionar el Atlas Nacional de Riesgos por Inundación (ANRI) y, de acuerdo con la región, explorar el mapa de riesgo para inundaciones de 2, 5, 10, 50 y 100 años en la opción “Índice de inundabilidad” que se despliega hasta abajo.

Localiza en el mapa interactivo la localidad en donde vives y responde las siguientes preguntas.



Ciudad Universitaria y alrededores con la capa de Inundación de 2 años activada



Ciudad Universitaria y alrededores con la capa de Inundación de 100 años activada

14. ¿Existe la posibilidad de que tu localidad sufra una inundación?  
Sí existe la probabilidad que se inunde incluso con una inundación muy pequeña como lo sería una “inundación de 2 años”, aunque no representa una gran superficie, la posibilidad existe y es considerablemente alta, pues es más fácil que ocurra una inundación pequeña como esta.
15. ¿Los ríos que fluyen cerca del lugar en donde vives tienen aliviaderos?  
Todos los ríos y cuerpos de agua superficial en la Ciudad de México tienen diversas estructuras que les permiten no dañar directamente, y en ocasiones incluso proteger, todo tipo de construcciones que

se encuentran en sus orillas debido a la presencia de infraestructura diseñada especialmente para cada caso.

16. ¿Hay casas, edificios o estructuras dentro de las zonas en riesgo de inundación de tu localidad?  
Sí, hay construcciones tanto en las zonas de riesgo para inundaciones grandes como lo sería una inundación de 100 años como en las zonas de riesgo para inundaciones pequeñas. Es importante que las construcciones que se encuentran en las zonas de riesgo para todas o la mayoría de las inundaciones se encuentren siempre alerta de las tasas de precipitación e inundaciones en la zona debido a que son muy susceptibles a daños o pérdidas.

## Geología Económica

### Las Tierras Raras (REE): elementos críticos para el futuro

#### Objetivos de aprendizaje

Al completar esta actividad, serás capaz de:

- Identificar recursos minerales, especialmente las REE, utilizados en dispositivos electrónicos comunes y en tecnologías de energías limpias;
- Describir las tendencias generales en gráficas de producción y precios de las REE, identificar cambios o anomalías en las gráficas y explicar los patrones en términos de producción minera, demanda, reciclaje, cambios tecnológicos, regulación y/o aumento de la población;
- Interpretar las relaciones entre consumidores, productores, organismos reguladores y el medio ambiente a través del uso de mapas conceptuales;
- Examinar tu comportamiento como consumidor y evaluar el impacto de tu comportamiento en la sustentabilidad.

#### Las REE

Las REE incluyen los lantánidos (del lantano al lutecio) y el itrio, que se comporta como los lantánidos. Son elementos del bloque f, por lo que tienen orbitales f parcialmente llenos. Esta configuración electrónica es lo que las hace increíblemente útiles.

Las REE no son “raras” en el sentido de que sean escasas; de hecho, son más comunes que el oro en la corteza terrestre. Más bien, es “raro” encontrarlas en concentraciones suficientemente altas como para que sea económicamente conveniente extraerlas.



#### Usos y “criticidad” de las REE

Cerio (Ce) y lantano (La) se utilizan para los convertidores catalíticos de los carros y en refinerías de petróleo. Los convertidores catalíticos que contienen Ce y La pueden almacenar y liberar oxígeno y, por ende, reducir la contaminación por CO<sub>2</sub> de los carros. En las refinerías de petróleo, La y Ce se usan como catalizadores para descomponer las moléculas de hidrocarburos más pesadas en moléculas más ligeras, esto aumenta el rendimiento de la gasolina y puede reducir la contaminación por CO<sub>2</sub>.

Las REE se usan también para fabricar aleaciones metálicas, bombillas fluorescentes, pantallas de televisores y computadoras y baterías recargables de NiMH utilizadas en carros híbridos.

Un uso importante de las REE es la creación de imanes. De hecho, debido a su configuración electrónica única, las aleaciones de REE se pueden convertir en imanes permanentes mucho más fuertes, y también mucho más pequeños y livianos, que otros imanes. Los imanes más pequeños y fuertes son especialmente

importantes para reducir el peso de los motores de los carros y aumentar la eficiencia del combustible, o para reducir significativamente el tamaño y el peso de los generadores de las turbinas eólicas más grandes y potentes.

Dado que el uso de tecnologías como bombillas fluorescentes, turbinas eólicas, automóviles híbridos y convertidores catalíticos para carros son importantes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, las REE son esenciales para la “economía verde”.

La “criticidad” de las REE se evalúa comparando la importancia de las REE con la posibilidad de que su suministro pueda verse interrumpido. Elementos como el disprosio, el terbio, el europio, el neodimio y el itrio, utilizados en imanes para turbinas eólicas y vehículos eléctricos o como fósforos en iluminación energéticamente eficiente, corren el riesgo de no ser suficientes para satisfacer la demanda y se consideran “materiales críticos”. La importancia de las REE y su “criticidad” cambian con el tiempo y con la dinámica del mercado global.

### Desafíos en la extracción y procesamiento de las REE

La mayoría de los yacimientos de REE, que se encuentran en China y Kazajstán, se forman por los procesos de meteorización química en climas tropicales, que concentran dichos elementos en los suelos.

El mayor obstáculo en el camino de la producción de REE es el procesamiento de los minerales que las contienen. Normalmente, los minerales de REE contienen todos los 15 elementos que las conforman. Dado que las REE tienen propiedades químicas muy similares entre sí, separarlas es un desafío tecnológico que requiere mucho dinero, energía y tiempo. Además, cada mineral de REE requiere un método de procesamiento diferente, lo cual aumenta los costos y los desafíos técnicos. Un desafío adicional se relaciona con el hecho de que los minerales de REE más comunes, como la monacita, contienen también isótopos radiactivos, como el torio, que deben extraerse y eliminarse de forma segura.

En este momento, las plantas de procesamiento de REE más viables comercialmente se encuentran en China. Hasta que otros países sean capaces de separar económicamente las diferentes REE, China seguirá siendo el único proveedor de REE en el mercado global (actualmente, China controla más del 90% de la producción mundial de REE).

### Las REE: oferta, demanda, consumo y precio

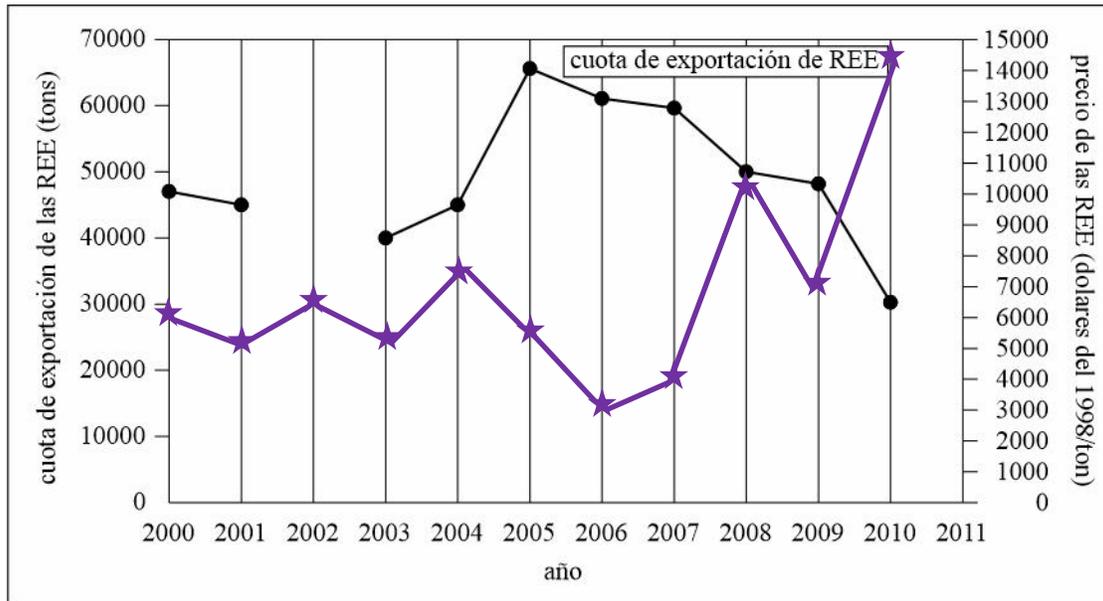
En esta actividad analizaremos la oferta de REE, así como datos de consumo y precios, y discutiremos posibles estrategias futuras para balancear la oferta y la demanda de las REE.

China es el país que produce la mayor cantidad de REE en el mundo. Su gobierno fija la cantidad máxima de REE que pueden ser exportadas legalmente cada año, es decir, la cuota de exportación. La tabla a continuación muestra cómo han variado la cuota de exportación de REE y su precio por tonelada (ajustado por la inflación respecto al valor del dólar estadounidense de 1998) del 2000 al 2010.

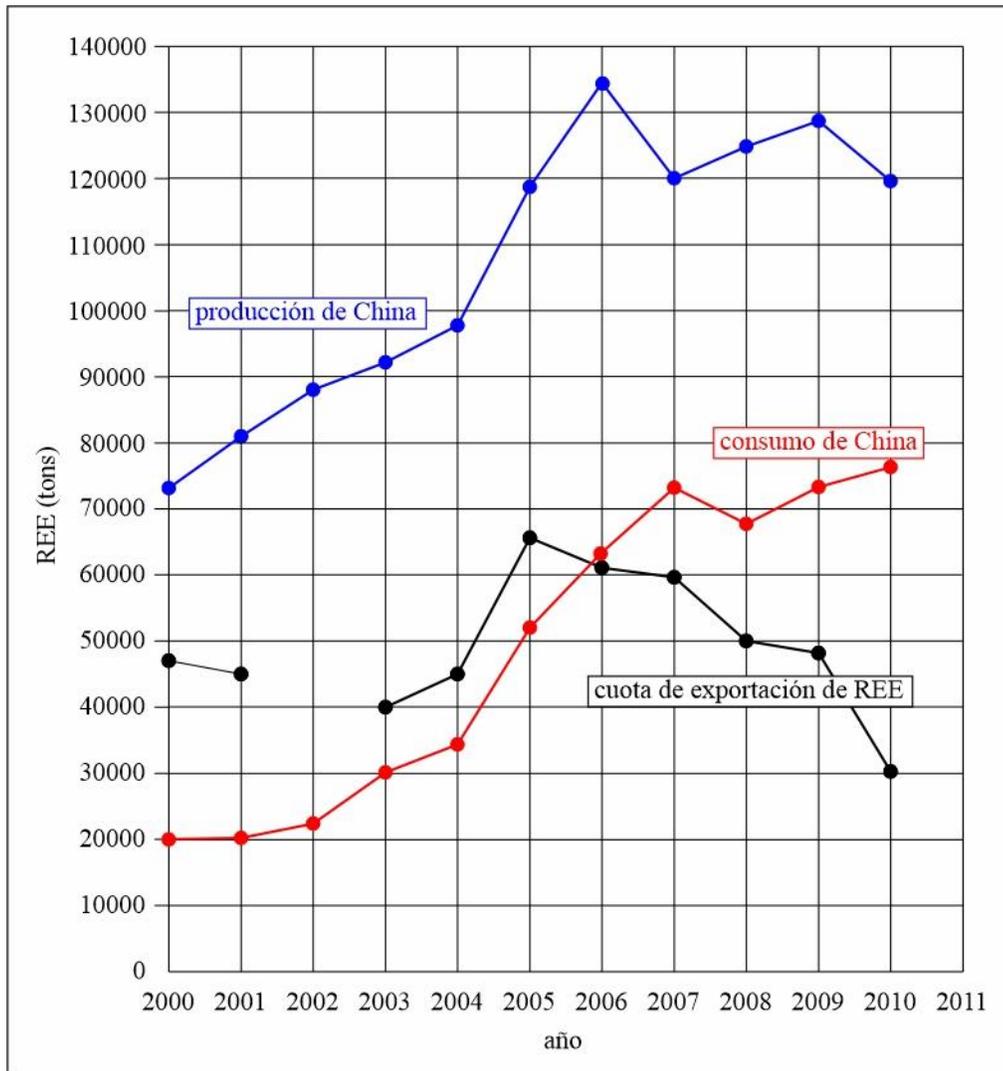
Año	Cuota de exportación (toneladas)	Precio por tonelada (dólares del 1998)
2000	47000	6110
2001	45000	5330
2002	N/A	6800
2003	40000	5450
2004	45000	7410
2005	65580	5500
2006	61070	3150

2007	59643	4160
2008	49990	10300
2009	48155	7100
2010	30258	14500

8. El diagrama muestra cómo ha variado la cuota de exportación de REE desde 2000 a 2011. En el mismo diagrama, grafica también los precios de las REE, utilizando una simbología diferente.

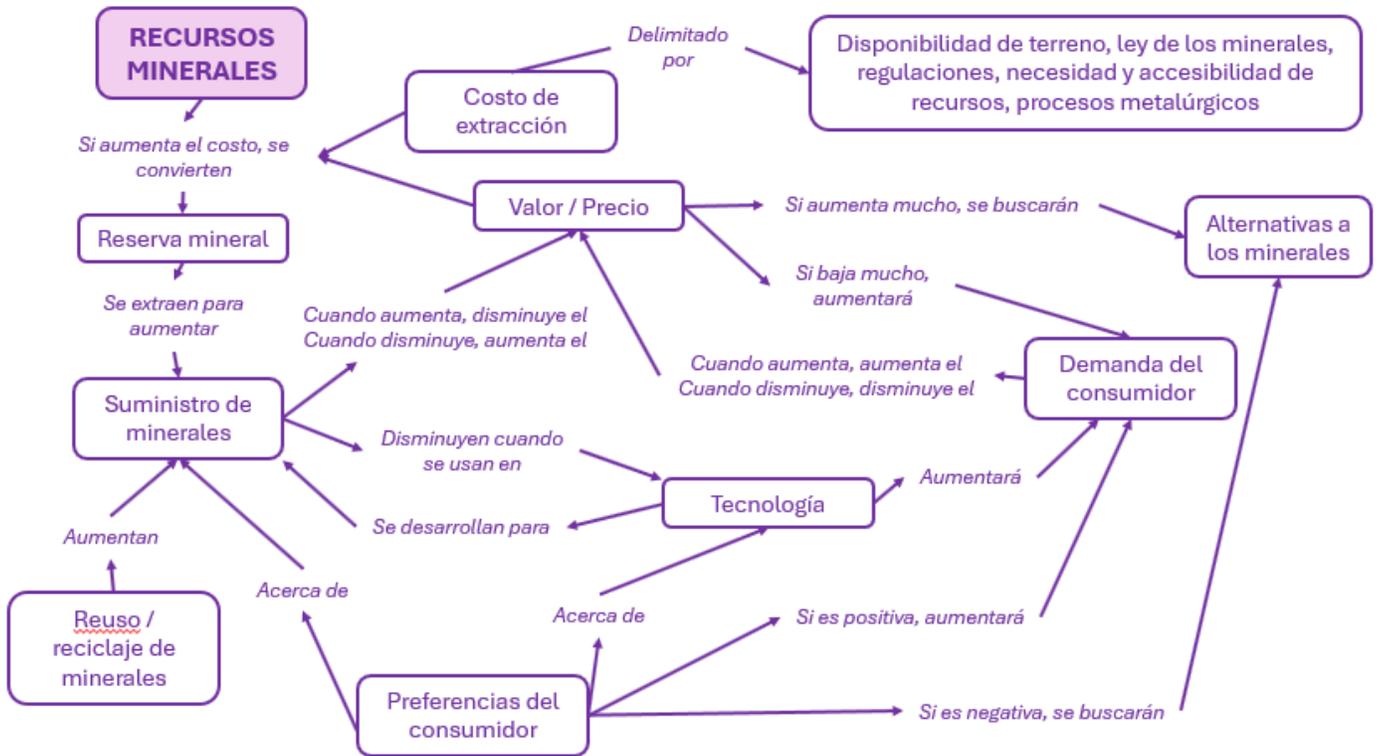


9. ¿Cuánto disminuyó la cuota de exportación de REE entre 2005 y 2010?  
Dentro de esos 5 años, la cuota de exportación disminuyó de 65,580 a 30,258, es decir, 35,322 toneladas.
10. ¿En qué año el precio de las REE ha alcanzado su valor más bajo? ¿Cuál fue dicho valor?  
El precio más bajo que se ha registrado entre los años 2000 y 2011 fue en el 2006 de 3,150 dólares por tonelada.
11. ¿Qué relación observas entre la cuota de exportación de REE (es decir, la oferta) y su precio?  
A partir del 2005 la oferta y el precio tienen una relación proporcionalmente inversa, es decir, cuando la oferta aumenta el precio disminuye mientras que cuando la oferta baja, los precios se elevan, esta es una respuesta completamente común en todos los mercados ya que cuando la cantidad del producto disponible es limitada, su valor es mayor pues quienes hacen uso del producto lo necesitan y pagarían más por ello.
12. La gráfica abajo muestra cómo han variado la producción y el consumo de REE en China, así como la cuota de exportación para el período 2000-2011. ¿Por qué crees que China está reduciendo la cuota de exportación de REE? Proporciona dos razones.  
Es posible que la cuota de exportación se reduzca debido a que el consumo interno en China está aumentando gracias al crecimiento y expansión de las energías limpias y de la producción de dispositivos electrónicos en respuesta al crecimiento poblacional en el país. Además, factores en contra de las actividades mineras como la contaminación del agua y el suelo y la radiación han logrado reducir las actividades de dicho sector en China. De igual manera, es posible que el país se encuentre almacenando REE para abastecer la futura demanda interna.



13. La tabla abajo muestra algunos usos comunes, así como datos de oferta y demanda para cinco elementos de las REE. Puedes notar que la oferta y la demanda están desbalanceadas. ¿Qué pueden hacer los consumidores, los productores de REE (es decir, las compañías mineras) y los fabricantes de tecnología para reducir dicho desbalance? ¿Cómo afectarían dichas acciones la adopción y el uso de tecnologías de energía limpia? Crea un mapa conceptual para ilustrar tus respuestas.

Elemento	Imanes (para generar electricidad, en turbinas eólicas, carros híbridos...)	Baterías NiMH para carros híbridos	Fósforos en bombillas energéticamente eficientes	Convertidores catalíticos de los carros, que reducen los contaminantes	Demanda (tons)	Oferta (tons)
Lantano		x	x	x	41200	30500
Cerio		x	x	x	43900	38400
Praseodimio	x	x		x	9800	7000
Neodimio	x	x			27000	24400
Europio			x		400	390



14. Menciona dos medidas que podrías tomar como individuo para reducir el desbalance entre la oferta y la demanda de REE. Explica en qué manera estas medidas podrían aumentar la oferta de REE y/o reducir la demanda.

Principalmente se debe hacer conciencia sobre las acciones que llevamos a cabo como consumidores, ya que se encuentra más a nuestro alcance la reducción de la demanda de los REE en acciones como evitar la compra de dispositivos electrónicos nuevos cuando los que se utilizan aún se encuentran en perfectas condiciones o no tener más dispositivos de los necesarios en un hogar como televisiones, reproductores o bocinas. Además, cuando algún dispositivo deje de funcionar, es importante disponer correctamente de él llevándolo a un centro de reciclaje para que los elementos en ellos sean reutilizados en nuevos aparatos.

## Deslizamientos en Masa

### El caso del deslizamiento de Oso, Washington, Estados Unidos de América (EUA)

#### Objetivos de aprendizaje

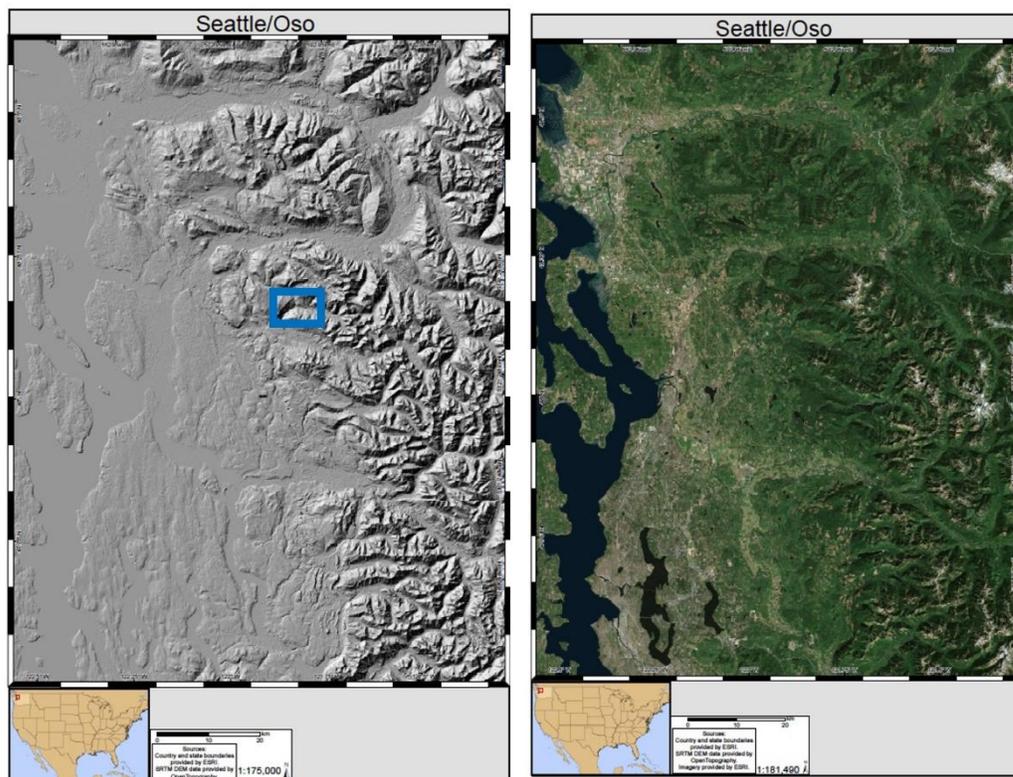
Al completar esta actividad, serás capaz de:

- Identificar las características del paisaje que aumentan la susceptibilidad a movimientos en masa;
- Crear un mapa que ilustre las características morfológicas de un movimiento en masa;
- Utilizar datos geodésicos<sup>3</sup> para comparar la existencia, el aspecto y la morfología de rasgos superficiales antes y después de un movimiento en masa;
- Describir el impacto de los movimientos en masa en las comunidades y proponer soluciones para la mitigación del riesgo.

#### Estudio del deslizamiento de Oso

El 22 de marzo de 2014, el área de Oso, en el noroeste del estado de Washington, EUA fue afectada por un deslizamiento que enterró alrededor de 35 hogares y una carretera (Figuras 1 y 2). Cuarenta y tres personas perdieron la vida en este evento, que se convirtió en el deslizamiento con mayor mortandad en la historia de EUA, además de provocar ~150 millones de dólares en daños. La primavera del 2014 fue una de las más húmedas registradas en la zona, ya que, en marzo de ese año, en unas pocas semanas cayó el 200% de la precipitación mensual promedio.

Figura 1. Imagen SRTM de relieve sombreado (izquierda) e imagen aérea (derecha) del noroeste del estado de Washington. El cuadro azul muestra la ubicación del deslizamiento de Oso.



<sup>3</sup> La geodesia es la ciencia que mide con precisión el tamaño, la forma, la distribución de masa de la Tierra y las variaciones de estas con el tiempo. Entre los métodos de medición, se incluyen:

- InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar): mide la deformación de una región. Se aplica para examinar los cambios provocados por terremotos y deslizamientos de tierra;
- LiDAR (Light Detection and Ranging): produce información topográfica de alta resolución que puede ser utilizada para identificar fallas y deslizamientos de tierra, entre otras cosas.

Figura 2. Vista aérea oblicua del deslizamiento de Oso (<http://www.dvidshub.net/image/1209685/oso-mudslide>).



- Menciona algunas de las características del paisaje (climáticas, tectónicas, etc.) que podrían aumentar el riesgo de deslizamientos en esta región.

Algunas características tectónicas que aumentan el riesgo de deslizamientos son la presencia de actividad sísmica, las áreas relieve montañoso que se observan en la parte derecha de las fotografías también son consecuencia de la tectónica a gran escala. En cuanto a las principales características climáticas que aumentan el riesgo de deslizamiento se encuentra el aumento de precipitación tanto en forma de lluvia como de nieve ya que eventualmente se derretirá y, al igual que el agua de lluvia, arrastran el material más fino cuesta abajo.

La Figura 3 ilustra los componentes principales de un deslizamiento rotacional de tierra, mientras que las Figuras 4 y 5 ilustran la simbología que se utiliza para representar los deslizamientos en un mapa.

**Corona:** el sector de la ladera que no ha colapsado, ubicado justo arriba del deslizamiento. Puede presentar grietas y a menudo tiene forma semicircular.

**Terreno hummocky:** la porción intermedia e inferior del bloque desplazado. Presenta grietas **radiales** y **transversales**, así como pequeños estanques y lomas.

**Superficie del deslizamiento:** el contacto entre el bloque desplazado y el basamento.

**Cabeza:** la parte superior del material desplazado a lo largo de su contacto con el escarpe principal.

**Escarpe:** superficie muy empinada, localizada en el límite del deslizamiento y originada por el material desplazado de la ladera. El escarpe más alto es el **principal**, mientras que los que se producen pendiente abajo se denominan **menores**.

**Dedo:** el margen del material desplazado más alejado del escarpe principal. En un mapa se ve bulboso e irregular.

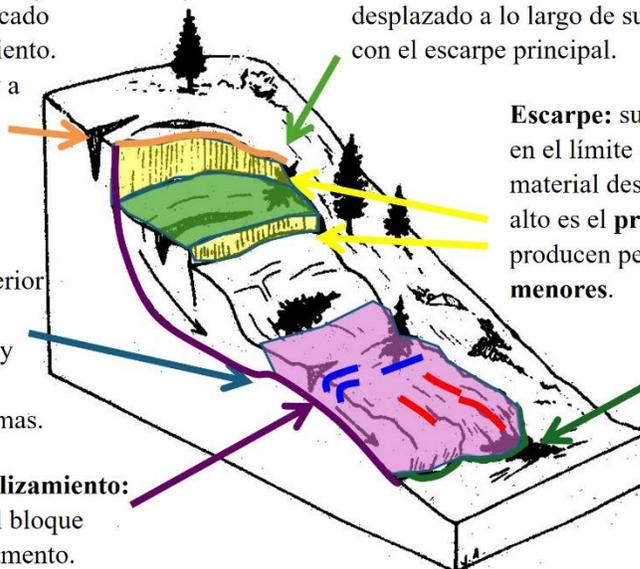


Figura 3. Diagrama esquemático de un deslizamiento rotacional en el que se indican los principales elementos morfológicos (modificado de <http://www.conservation.ca.gov>).

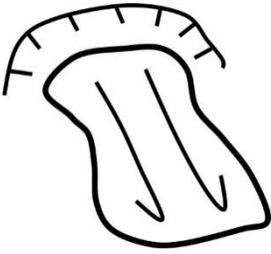
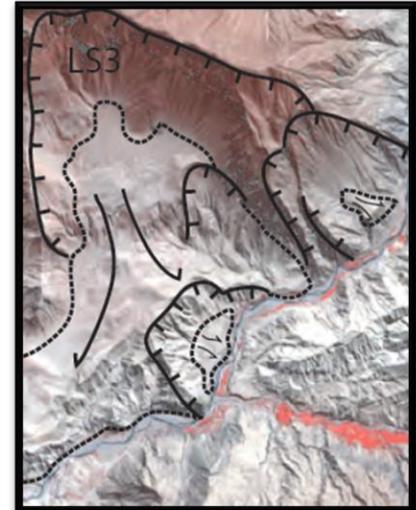


Figura 4. Simbología utilizada para mapear un deslizamiento. El material desplazado es contornado con una línea continua si sus límites son claros, discontinua si no son muy claros. Las flechas indican la dirección del movimiento.

Figura 5. Deslizamientos trazados en una foto de campo a lo largo del Río Marañón, Perú (izquierda, foto de Sarah Hall) y en una imagen satelital ASTER a lo largo del Río Tambo (derecha).



Los mapas a continuación muestran imágenes de relieve sombreado de alta resolución (datos aéreos LiDAR) de la zona en donde ocurrió el deslizamiento de Oso.

5. Localiza el deslizamiento más reciente en la imagen de relieve sombreado de la Figura 6 (imagen tomada después de marzo 2014). Señala las partes del deslizamiento utilizando la simbología que se indica en las Figuras 4 y 5. Es probable que, próximo al deslizamiento reciente, encuentres evidencia de formas del relieve relacionadas con deslizamientos previos; indícalas también.
6. Compara tu interpretación geomorfológica de la Figura 6 con la imagen de relieve sombreado basada en los datos recolectados en 2013, antes del deslizamiento (Figura 7). Además de la clara redistribución del material a lo largo del deslizamiento, ¿observas algún otro cambio en el paisaje entre las imágenes del 2013 y 2014? Márcalos en la Figura 7.
7. Con base en tu interpretación de las Figuras 6 y 7, ¿consideras que esta región tiene un historial de movimientos en masa? Argumenta tu respuesta.

En las figuras es posible identificar múltiples remanentes de deslizamientos anteriores, incluso unos sobre otros, esto a través del reconocimiento de dos o más partes de los deslizamientos en masa como los escarpes, las coronas y la acumulación de material que es mayor en unas zonas comparándolas con otras, una herramienta para localizar esto es la morfología general de zona, además si se tiene la posibilidad de comparar más de una fotografía a lo largo del tiempo dará paso a señalar las características del paisaje que han desaparecido o han sido modificadas debido a los deslizamientos.

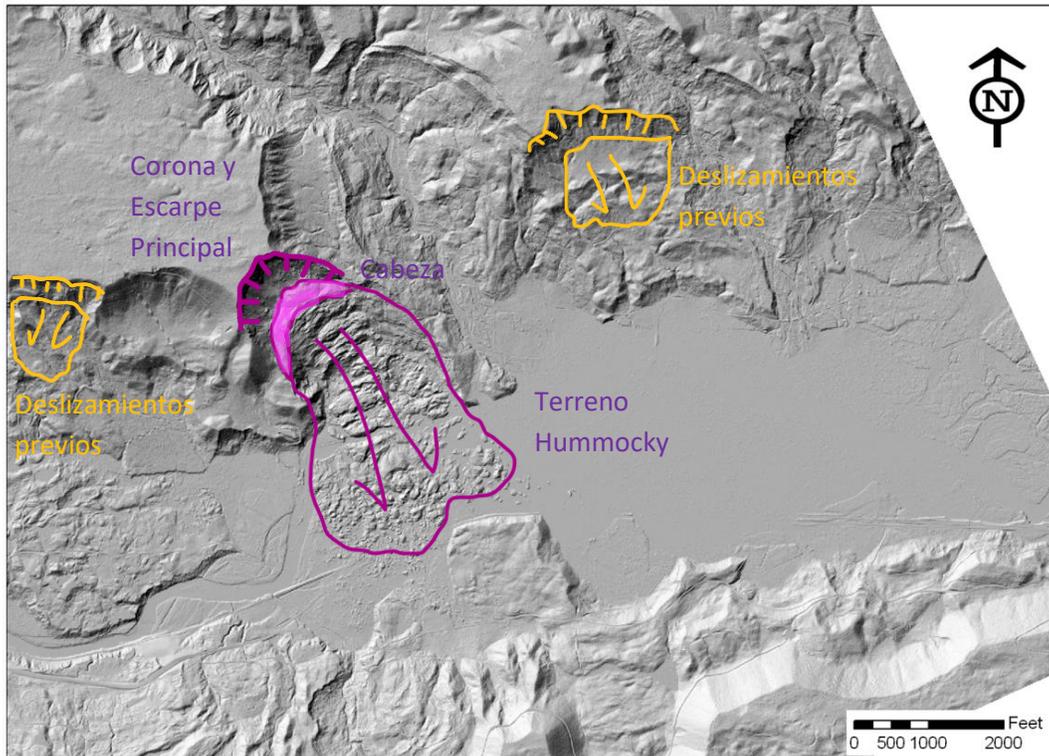


Figura 6. Imagen de relieve sombreado LiDAR de la región de Oso, Washington. Estos datos fueron recolectados después de marzo de 2014 (<http://gis.ess.washington.edu/areas/oso/>).

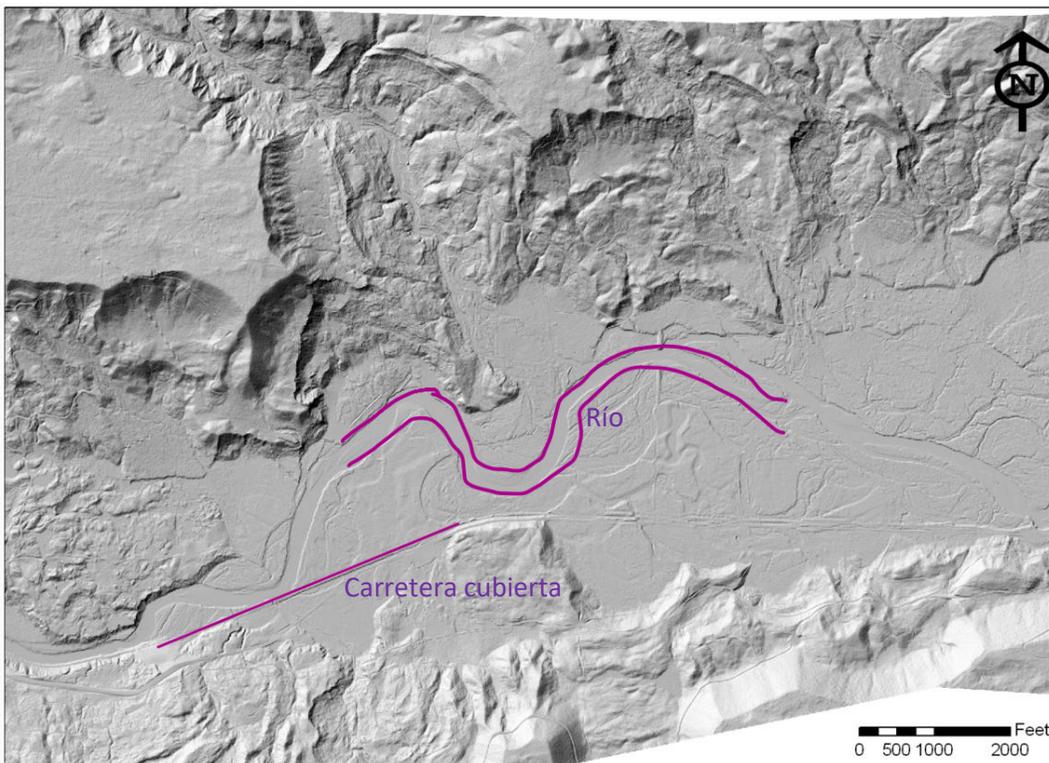
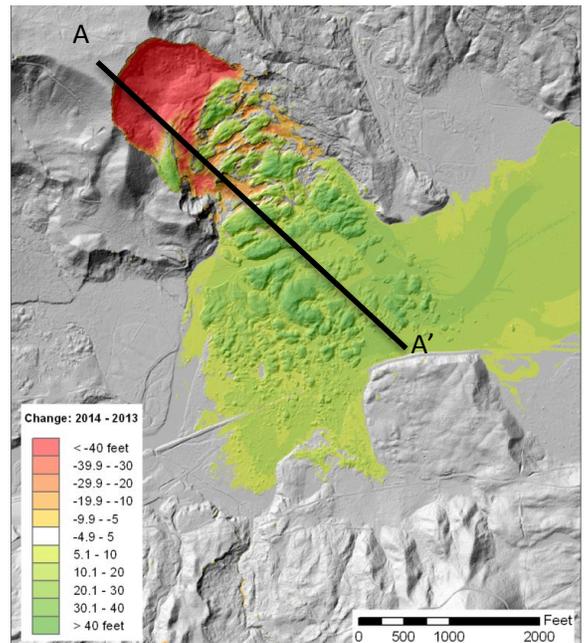


Figura 7. Imagen de relieve sombreado LiDAR de la región de Oso, Washington. Estos datos fueron recolectados en el año 2013 (<http://gis.ess.washington.edu/areas/oso/>).

8. Dibuja un esquema de cómo crees que se ve el perfil topográfico A-A' señalado en la Figura 8. Asegúrate de que el perfil refleje la redistribución del material que se aprecia en figura.



Figura 8. Esta imagen muestra la diferencia en la elevación superficial entre el 2013 y el 2014. Observa la pérdida de elevación en el área del escarpe principal y el aumento de elevación en la región del dedo (modificado de <http://gis.ess.washington.edu/areas/oso/>).



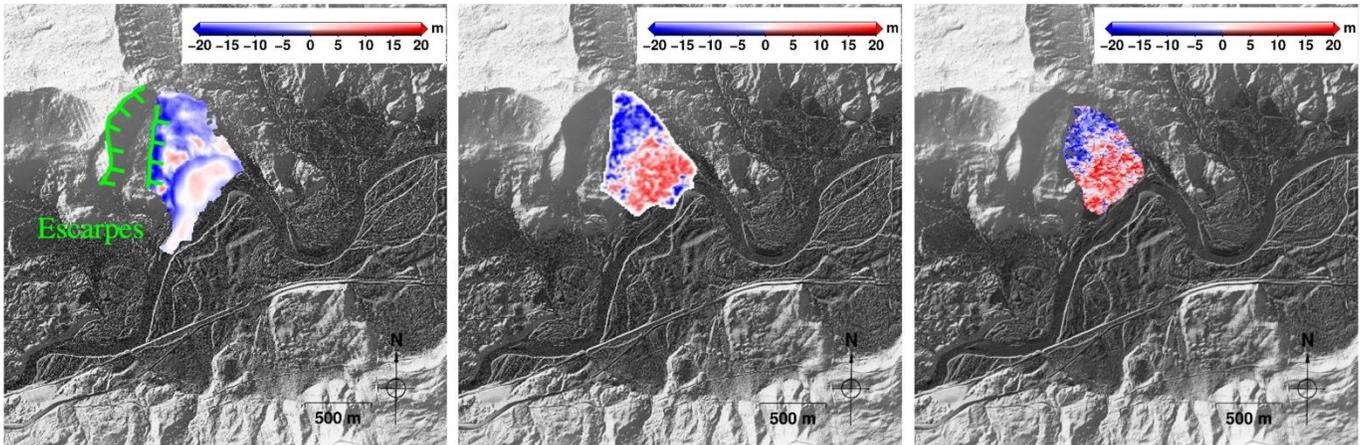
La imagen de relieve sombreado obtenida con datos LiDAR (Figura 7) muestra que esta región tiene una larga historia de movimientos en masa similares al evento que ocurrió en 2014. De hecho, porciones del mismo bloque se han deslizado rápidamente en seis diferentes ocasiones ente 1937 y 2006. Podemos observar cambios recientes en la elevación superficial utilizando técnicas InSAR con el fin de aprender a reconocer y prepararnos para futuros eventos de la misma magnitud. Aunque en 2014 se deslizó catastróficamente en pocos segundos, porciones de este bloque se han estado deslizando paulatinamente durante un largo tiempo.

En la siguiente parte de la actividad, interpretarás los datos SRTM, LiDAR e InSAR obtenidos por Kim et al. (2015)<sup>4</sup> en el área de Oso previamente al evento de 2014. Los autores combinaron estos datos para lograr una cobertura temporal desde el 2000 hasta el 2013.

Todos los mapas en la Figura 9 son “mapas de diferencias” que muestran los cambios de elevación (en metros) que han ocurrido entre los diferentes periodos de recolección de datos. Cada mapa incluye una

<sup>4</sup> Kim, J., Lu, Z., Qu, F., Hu, X., 2015. Pre-2014 mudslides at Oso revealed by InSAR and multi-source DEM analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6 (3), 184-194.

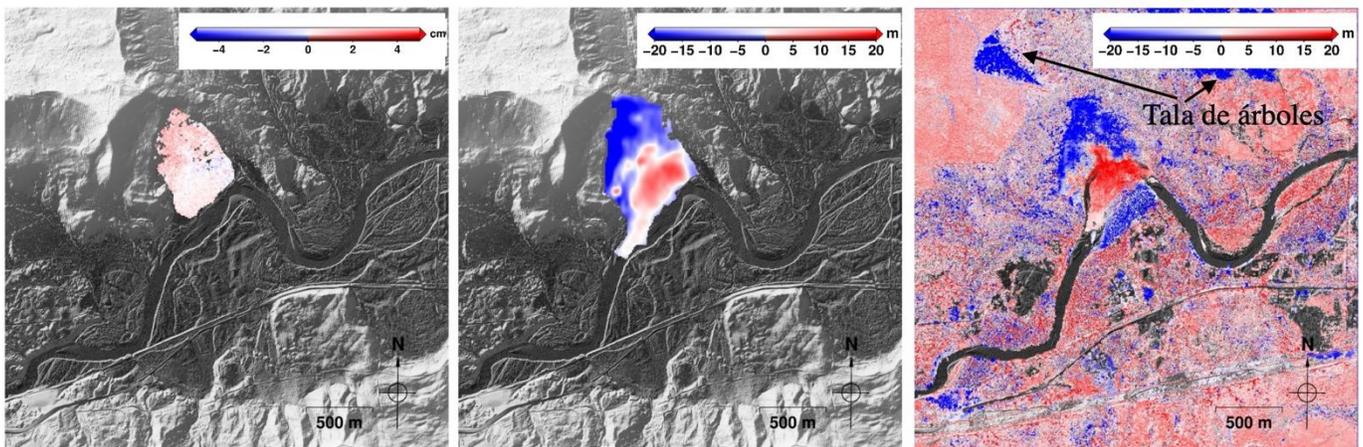
descripción del periodo en el cual se recolectaron los datos que registra y el tipo de datos utilizados. En cada mapa, el rojo representa los aumentos de elevación (la escala máxima es de 20 m para todos los mapas, excepto en el mapa D donde el máximo es 5 m), el azul representa las pérdidas de elevación (mínimo de 20 m excepto en el mapa D donde el mínimo es 5 m) y el verde indica que no hubo cambios de elevación. Utiliza los mapas en la Figura 9 para contestar las siguientes preguntas.



9A. Diferencia entre los datos SRTM del 2000 y los datos LiDAR del 2003.

9B. Diferencia entre los datos LiDAR del 2003 y los datos InSAR del 2007.

9C. Diferencia entre los datos SRTM del 2000 y los datos InSAR del 2007.



9D. Diferencia entre los datos InSAR del 2007 y los datos InSAR del 2011.

9E. Diferencia entre los datos SRTM del 2000 y los datos LiDAR del 2013.

9F. Diferencia entre los datos SRTM del 2003 y los datos LiDAR del 2013.

Figura 9. Mapas de diferencias para la zona del deslizamiento de Oso durante los 14 años precedentes al evento de 2014 (Kim et al., 2015).

8. Entre el 2000 y el 2003, ¿el aumento de elevación ocurrió en la zona del escarpe principal o en el dedo del deslizamiento?  
El aumento de elevación entre el 2000 y el 2003 ocurrió cerca de la zona del dedo ya que este es el destino de todo el material removido.
9. Durante el periodo de monitoreo ocurrió un deslizamiento rápido. ¿Crees que ocurrió entre el 2007 y el 2011 o entre el 2003 y el 2007? Argumenta tu respuesta.  
El evento de deslizamiento rápido ocurrió entre 2003 y 2007 debido a que se observa una mayor diferencia en las elevaciones en la Figura 9B, que corresponde a estos años, en comparación a la 9D en donde los cambios son tan pequeños que incluso la escala de la simbología en la imagen disminuye.

10. Estima el área del deslizamiento que creció 10 m o más entre 2000 y 2013 (fijate en la escala).  
Tomando en cuenta la escala de 500 m en la imagen 9E y que donde la elevación aumentó 10 o más metros corresponde a los colores azules más intensos, esta área tiene una dimensión aproximada de 450 m x 300 m y por lo tanto una superficie de 135,000 m<sup>2</sup>.
11. La Figura 9F difiere un poco de las demás, ya que se basa en datos LiDAR que incluyen puntos de elevación de la vegetación, además de los puntos de elevación superficial. Las áreas azules indican pérdida de vegetación. ¿Consideras que la ausencia de árboles sobre el escarpe principal contribuiría a aumentar las fuerzas impulsoras o la resistencia al deslizamiento? Argumenta tu respuesta.  
La presencia de vegetación en general sobre un escarpe y/o cualquier talud contribuye a las fuerzas que se resisten al deslizamiento, esto debido a que las raíces son un factor que permite mantener el suelo menos disperso, además, la presencia de vegetación grande como árboles disminuye la escorrentía de agua en la superficie pues el agua de lluvias es aprovechada por la vegetación.
11. Describe al menos tres consecuencias sociales del deslizamiento de Oso. Imagina que eres un consultor para una comunidad ubicada en un contexto geológico similar. Sugiere tres acciones que la comunidad debería llevar a cabo para reducir el riesgo de deslizamientos.  
Consecuencias sociales del deslizamiento en Oso: La muerte de 43 personas, pérdida de inmuebles (hogares y negocios), desaparición temporal de miembros de las familias, pérdida de una carretera y con ella la incomunicación con unidades de rescate o servicios de emergencias, un río incautado que lleva consigo la acumulación de agua con la posibilidad de inundaciones a otras comunidades.  
Acciones para reducir el riesgo de deslizamientos: Monitorear constantemente todos los movimientos de la ladera, así como los niveles de saturación de agua en esta, reubicación de la comunidad si es posible, instalar o mejorar el sistema de drenaje en las pendientes más vulnerables o con mayor riesgo y para construcciones de comunidades futuras, evitar los asentamientos en regiones similares.

## Peligro Volcánico

### Monitoreo volcánico del Monte Rainier, Washington, Estados Unidos de América (EUA)

## Objetivos de aprendizaje

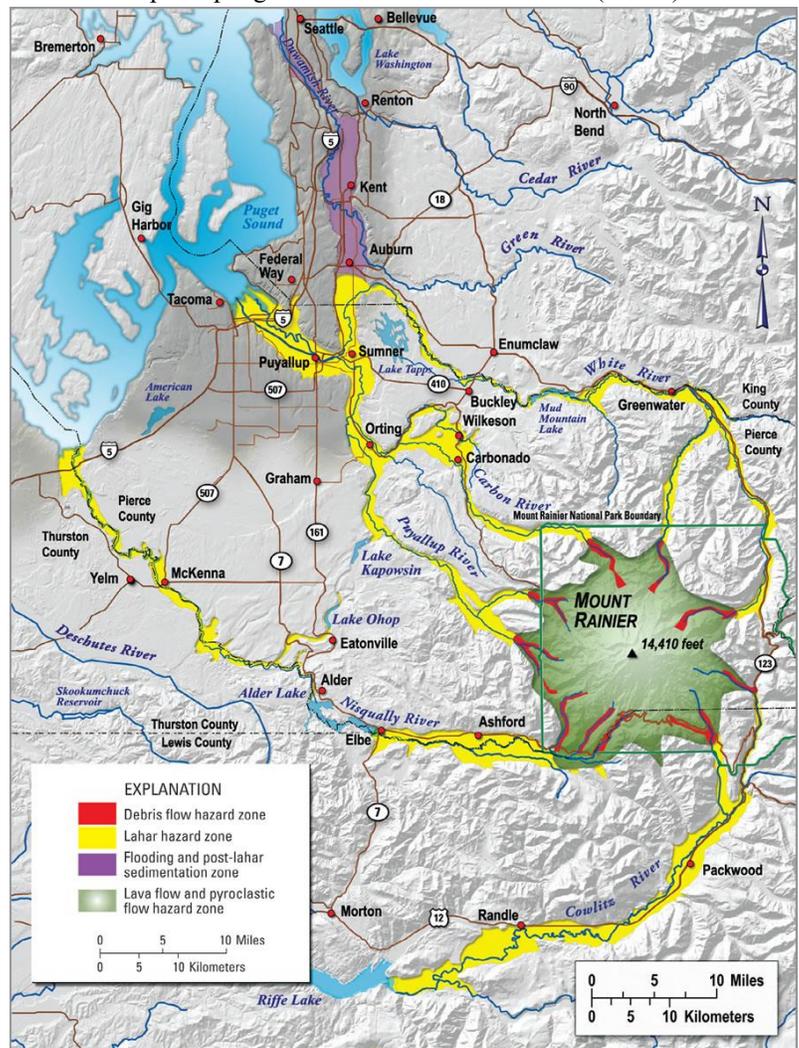
Al completar esta actividad, serás capaz de:

- Interpretar diferentes tipos de datos precursores de erupciones con el fin de generar hipótesis y predecir el impacto de un aumento progresivo de la actividad geológica sobre una posible erupción;
- Generar conclusiones a partir del análisis de bases de datos reales en constante cambio;

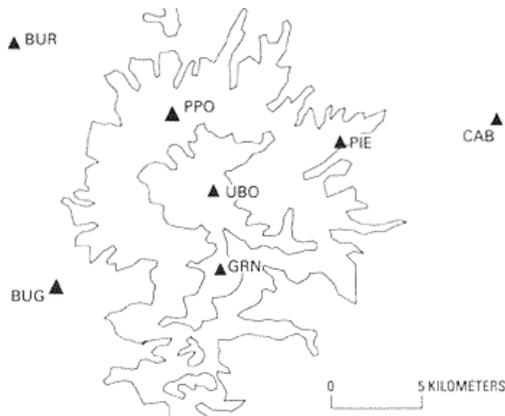
## Vivir al límite del peligro en una zona de subducción

Por su elevación (4392 msnm) y su relieve, su cima capeada de nieve, sus valles radiales alimentados por glaciares y su cercanía a los suburbios del área Seattle-Tacoma, el Monte Rainier es, sin duda, el volcán más peligroso de la Cordillera de las Cascadas (el arco volcánico relacionado con la subducción de la placa Pacífica bajo la placa de Norteamérica). Su erupción podría producir ceniza volcánica, flujos de lava y flujos piroclásticos. Además, al derretir la nieve y el hielo que capean el volcán, estos eventos pueden impulsar la formación de lahares, los cuales representan el mayor peligro relacionado con una erupción volcánica.

Mapa de peligros del área del Monte Rainier (USGS).

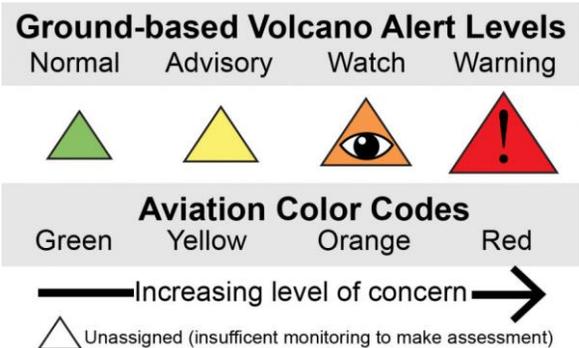


Estaciones de monitoreo en el volcán.



El Servicio Geológico de los EUA (USGS) ha establecido un sistema de alerta para comunicar el aumento o disminución de la actividad de un volcán.

Nivel de alerta	Descripción
Verde	El volcán se encuentra en su estado no eruptivo o está regresando a su estado no eruptivo después de una erupción.
Amarillo	El volcán muestra un incremento de actividad respecto a su estado no eruptivo o, después de una erupción, su actividad ha disminuido, pero sigue siendo monitoreada para detectar un posible nuevo aumento.
Naranja	La actividad volcánica se intensifica, indicando una posible erupción en un plazo de tiempo incierto, o se está llevando a cabo una erupción con peligros limitados.
Rojo	Se sospecha una erupción peligrosa inminente o se está llevando a cabo una erupción peligrosa.



## Reporte de la actividad sísmica

Para poder evaluar y predecir la actividad futura de un volcán, se debe preparar un reporte de la actividad sísmica.

Completa los siguientes elementos del reporte sismológico.

6. Describe brevemente cómo se usa la sismicidad para el monitoreo de volcanes.

Cuando un volcán se encuentra activo, dicha actividad provoca sismos de diversas magnitudes dependiendo el evento que lo provoca, tales eventos pueden ser el rápido ascenso del magma, el fracturamiento de rocas o el movimiento de los volátiles del magma dentro del volcán y son principalmente estos fenómenos a los que se deben tener atención durante el monitoreo de un volcán.

7. Usa la Tabla S para describir los diferentes tipos de datos sobre la actividad sísmica que tienes a disposición en el Anexo S. Esto te ayudará a organizar tu descripción de cómo ha evolucionado la actividad sísmica del volcán.

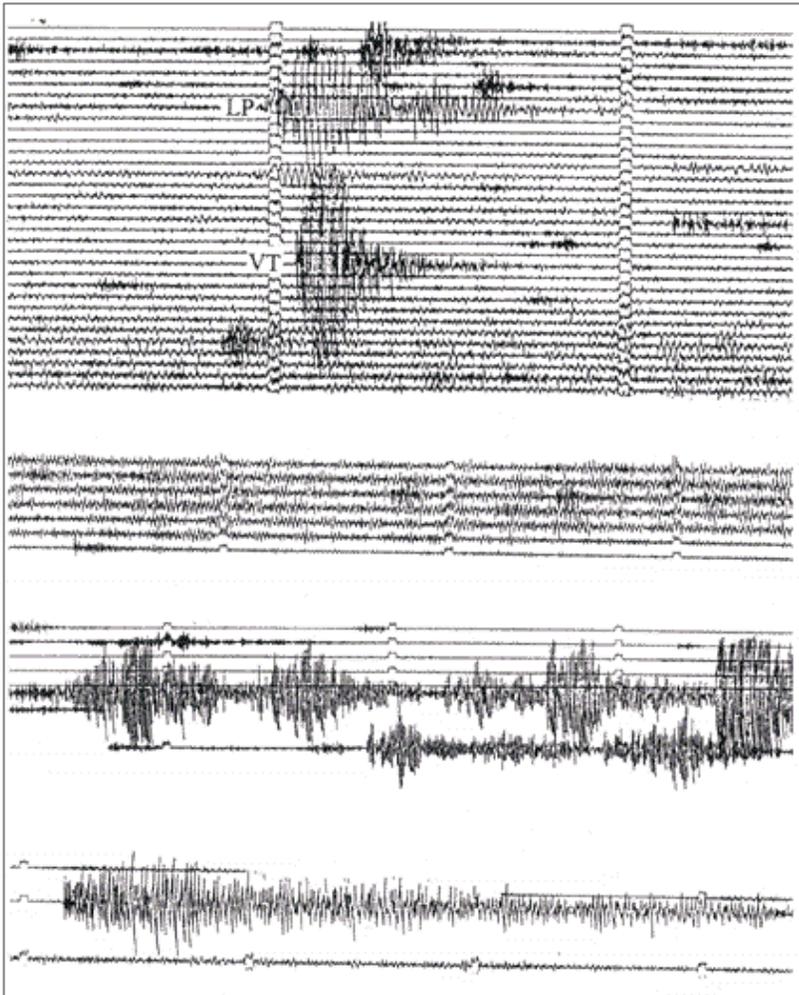
Tabla S

Fecha	Tipo de dato	Descripción	Interpretación
15 de mayo	Sismogramas	Un sismo, registrado en dos estaciones (cima y flanco NE)	Un solo evento de tipo VT que indica un movimiento de rocas relacionado con la migración de magma.
6 al 31 de mayo	Ubicación de los sismos	<u>La mayoría de los sismos se encuentran al NW de la cima entre los 2 y 7 km de profundidad, mientras que una porción más pequeña de sismos ocurrió debajo de la cima a 3 – 4 km de profundidad.</u>	<u>Durante esta fecha el movimiento de magma se encuentra al NW de la cima a poca profundidad.</u>
1 al 7 de junio	Ubicación de los sismos	<u>A diferencia de las fechas previamente estudiadas, la mitad de los sismos se encuentran en la cima y la otra mitad al NW de esta y las profundidades de ambos disminuyeron.</u>	<u>El cambio de ubicación y de profundidades someras a prácticamente en la superficie indican que el magma ha ascendido justo en correspondencia de la cima.</u>
10 de mayo al 8 de junio	RSAM	<u>Se observa un promedio de amplitudes hasta el 1 de junio en donde comienzan a aumentar presentando picos.</u>	<u>La magnitud de los sismos registrados al NE de la cima del volcán aumentó a inicios del mes de junio, indicando movimiento de magma en esa zona.</u>
1 al 8 de junio	Histograma de los eventos sísmicos	<u>Hay un mayor número de sismos registrados entre el 5 – 7 de junio tanto en la cima como en todo el volcán, sin embargo, al NW no existió tanta actividad sísmica.</u>	<u>Hay movimiento de magma en un radio inferior a 5 kilómetros de la cima.</u>

8. ¿Qué información proporcionan los incrementos y disminuciones de los valores de RSAM sobre los movimientos de magma adentro del volcán?  
Los valores RSAM representan un promedio de un conjunto de amplitudes sísmicas y estas se encuentran relacionadas a la magnitud del sismo que reportan ya que entre mayor es la amplitud de onda, mayor será la magnitud del sismo. Por ello cuando hay un aumento de valores RSAM existe un aumento en la magnitud de los sismos que se presentan y viceversa y este aumento de magnitud responde a un aumento de actividad, es decir, de migración del magma dentro del volcán.
9. Revisa las imágenes de la ubicación de los sismos entre el 6 de mayo y el 7 de junio. ¿Observas algún cambio en la ubicación de los sismos en ese tiempo? Si es así, ¿cuál?  
No existe una gran diferencia en la ubicación de los sismos, sin embargo, si hay un cambio en la cantidad de sismos en las dos ubicaciones con mayor densidad. En la primera imagen del 6 al 31 de mayo la mayoría de los sismos se encuentran al NW de la cima, aproximadamente a 2 – 3 km, mientras que en la imagen del 1 al 7 de junio parece que la cantidad de sismos al NW de la cima es casi igual a la cantidad en la misma. Sobre las profundidades de estos, disminuyen con el tiempo hasta tocar la superficie.
10. ¿Cuál es tu interpretación de los datos sísmicos en términos de potencial de actividad volcánica futura? Utiliza el mapa de peligros del área del Monte Rainier y el sistema de alerta volcánica del USGS para decidir el nivel de alerta que debería tener el volcán. Justifica tu respuesta.  
Con base en las interpretaciones de los datos sísmicos que se proporcionaron en esta actividad puede clasificarse en un nivel de alerta amarillo.  
De acuerdo con la definición del nivel de alerta amarilla “el volcán muestra un incremento de actividad respecto a su estado no eruptivo” en todos los datos sísmicos que se mostraron fue posible observar un aumento de actividad a principios del mes de junio respecto al mes de mayo en donde si existió actividad sísmica, fue mínima y, además del aumento en la cantidad de sismos en determinadas zonas, los sismos fueron aumentando su intensidad.  
En el caso del monitoreo de volcanes, prestar mucha atención a los cambios en los eventos sísmicos en el volcán en cuestión y sus alrededores es esencial para entender si existen movimientos importantes dentro de este, dichos movimientos pueden ser ocasionados por ascenso de magma, fracturamiento de rocas dentro del volcán y en ocasiones cerca de la superficie o sobre ella e incluso el movimiento que ocasiona los sismos pueden ser provocado por los volátiles en el magma. Todos estos fenómenos son indicativos de actividad volcánica, dependiendo de su intensidad y periodicidad pueden dar una idea de la ocurrencia de una futura erupción.

## Anexo S

A continuación, se describen algunos tipos de sismos reconocibles a partir de sus sismogramas. Las marcas de tiempo representan intervalos de 1 minuto.



LP: terremoto de período largo, asociado a la inyección y al movimiento del magma en rocas superficiales; sugiere una erupción inminente.

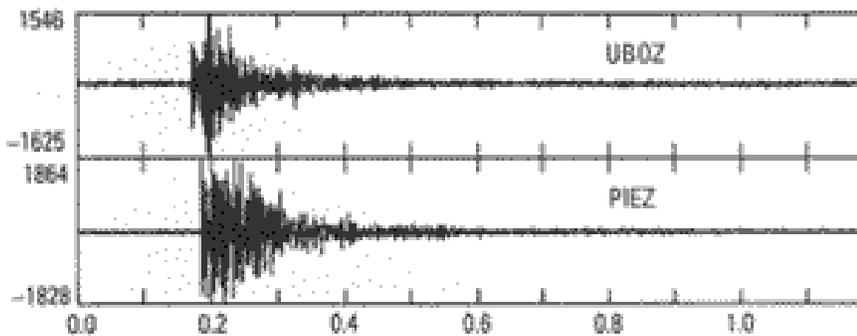
VT: terremoto volcánico-tectónico, profundo, que indica cambios en la tensión de las rocas relacionados con la inyección o el retroceso de magma.

Eventos LP muy próximos entre sí.

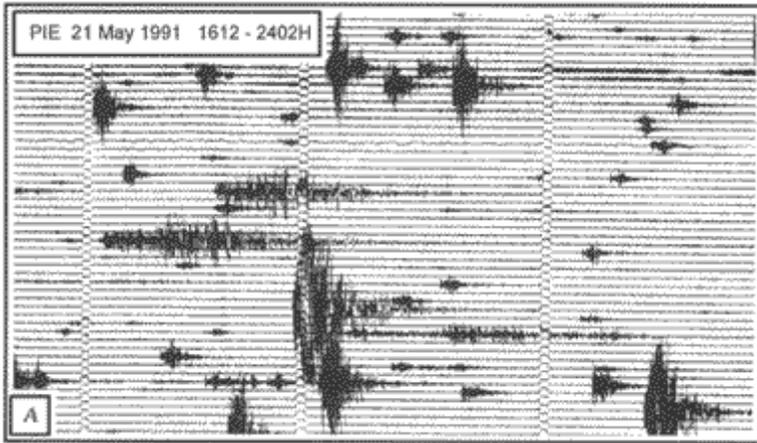
Temblores armónicos: liberación continua y prolongada de energía sísmica asociada con el movimiento de magma a baja profundidad.

Señal sísmica de una erupción explosiva.

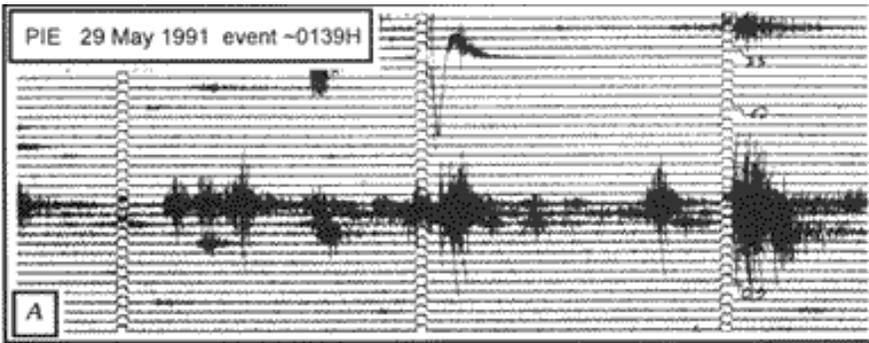
A continuación, se proporcionan varios tipos de datos sísmicos (sismogramas, RSAM, ubicación de sismos e histogramas de sismos) registrados entre el 6 de mayo y el 8 de junio.



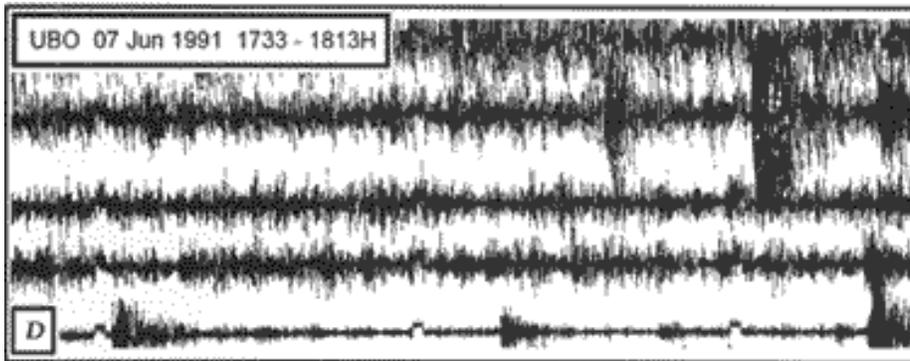
Sismogramas del 15 de mayo registrados en las estaciones UBO y PIE. Se muestran los intervalos de tiempo en segundos.



Sismogramas registrados el 21 de mayo en la estación PIE. El tiempo corre desde arriba hasta abajo y de izquierda a derecha. Los intervalos de tiempo son de 60 segundos.



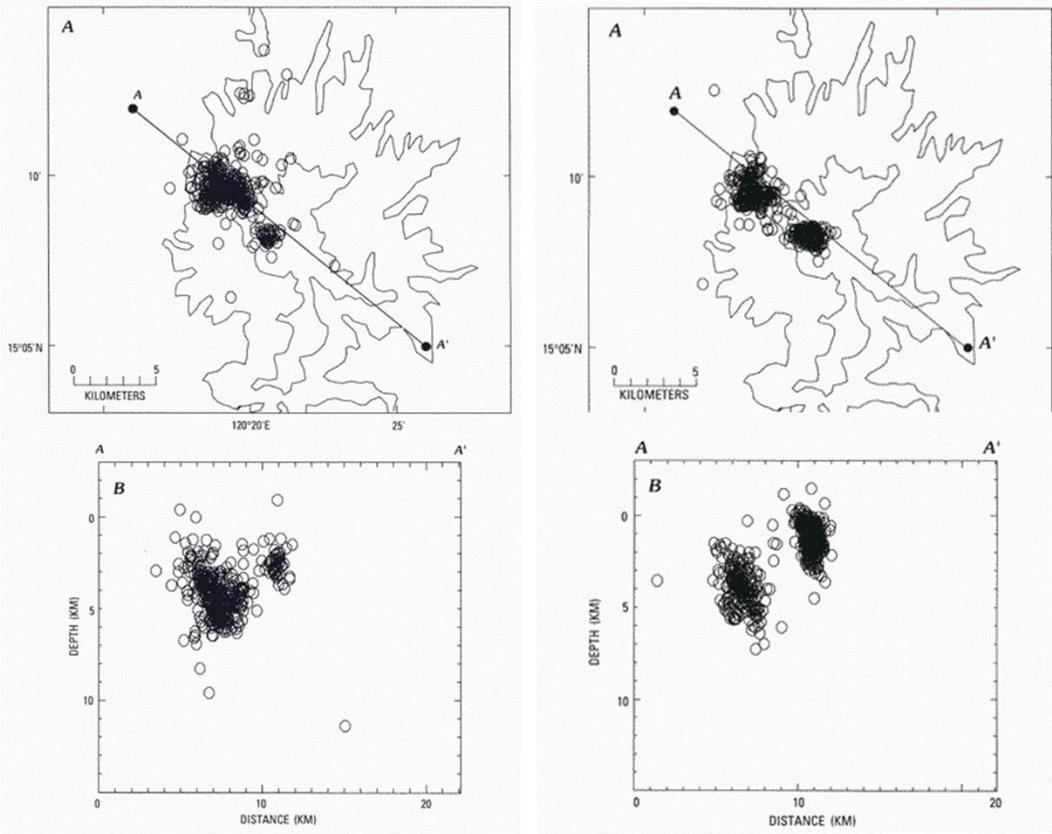
Sismograma registrado el 29 de mayo en la estación PIE. Los intervalos de tiempo son de 60 segundos.



Sismograma registrado el 7 de junio en la estación UBO. El tiempo corre desde arriba hasta abajo y de izquierda a derecha. Considera que esta señal se esfuma 2 horas después del segmento que se muestra. Los intervalos de tiempo son de 60 segundos.

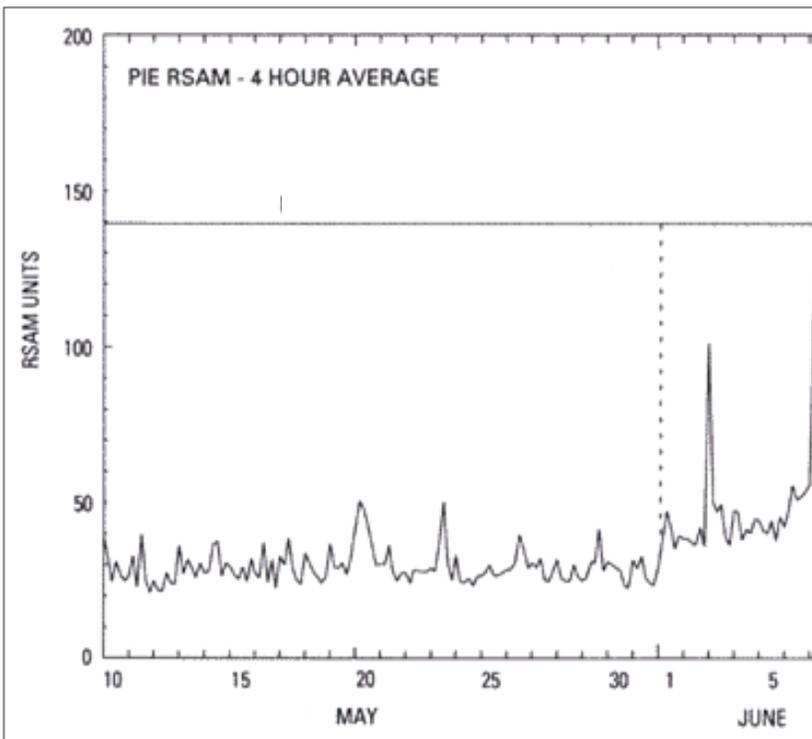
6 al 31 de mayo

1 al 7 de junio



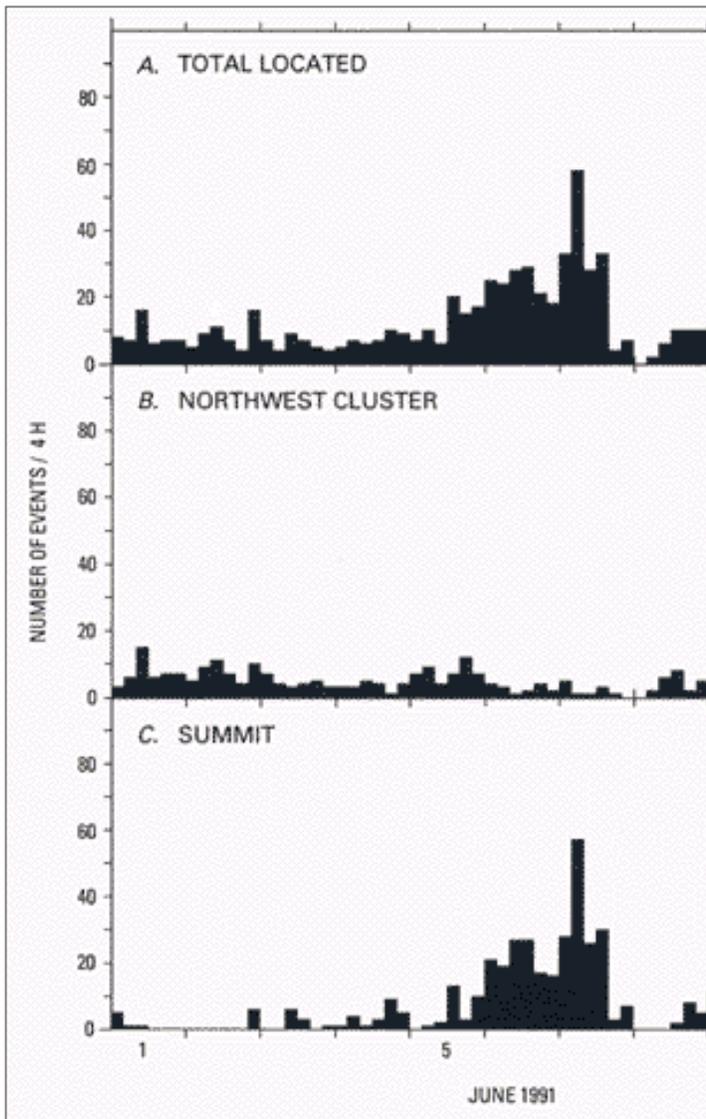
Ubicación de los sismos en mapa.

Distribución de los sismos en profundidad a lo largo del perfil AA'.



Datos RSAM medidos en la estación PIE desde el 10 de mayo al 8 de junio (promedios obtenidos cada 4 horas).

La RSAM (medida de la amplitud sísmica en tiempo real) representa un promedio de todas amplitudes sísmicas registradas en una estación, independientemente del tipo de sismo que las ha generado.



Número de eventos sísmicos que ocurrieron cada 4 horas entre el 1 y el 8 de junio, registrados en (A) todas las estaciones del volcán, (B) el área ubicada 5 km al NW de la cima y (C) en la cima.

## Reporte de la geoquímica de gases

Para poder evaluar y predecir la actividad futura de un volcán, es fundamental preparar un reporte de las emisiones de gas y de la actividad fumarólica.

Completa los siguientes elementos de un reporte de geoquímica de gases.

- Describe brevemente qué relación existe entre las emisiones de SO<sub>2</sub> y una posible erupción volcánica y en qué manera el análisis de las emisiones de gas ayuda a monitorear los volcanes.

Cuando el magma asciende hacia la superficie, puede liberar gases disueltos, como el SO<sub>2</sub>, debido a la disminución de la presión. Un aumento en las emisiones de SO<sub>2</sub> puede señalar que el magma está más cerca de la superficie y que una erupción volcánica es posible o inminente.

El análisis de las emisiones de SO<sub>2</sub> ayuda a monitorear los volcanes porque proporciona información sobre los cambios en el sistema magmático. Un incremento repentino en la cantidad de SO<sub>2</sub> emitido puede indicar un mayor movimiento de magma y un aumento en la probabilidad de erupción.

- Usa la Tabla G para describir los datos de gases y actividad fumarólica que tienes a disposición en el Anexo G. Esto te ayudará a organizar tu descripción de cómo han evolucionado la actividad de los gases y las fumarolas del volcán desde abril.

Tabla G

Fecha	Tipo de dato	Descripción	Interpretación
2 de abril	Deformación del suelo	<u>Posterior a explosiones ocasionadas por fumarolas, ocurrieron alteraciones a la morfología del volcán creando nuevas fracturas y cráteres.</u>	<u>El volcán presenta nueva actividad que antes no ocurría debido a que los cambios en la morfología son recientes.</u>
13 al 25 de mayo	Emisiones de SO <sub>2</sub> (tons/día)	<u>Las emisiones se mantienen muy bajas (menores a 2000 t/día), incluso, en algunos días, no hay registro de emisiones.</u>	<u>Durante estos días es posible inferir que no hay actividad volcánica ya que las emisiones se mantienen bajas y constantes.</u>
26 al 28 de mayo	Emisiones de SO <sub>2</sub> (tons/día)	<u>Ocurre un aumento repentino y muy grande en las emisiones alcanzando 5000 t/día, las cuales vuelven a caer drásticamente después de dos días.</u>	<u>Existió una expulsión importante de gases en el volcán durante estos días, sin embargo, fue momentánea.</u>
30 de mayo al 8 de junio	Emisiones de SO <sub>2</sub> (tons/día)	<u>Los niveles de emisión de SO<sub>2</sub> se redujeron y regresaron a los valores previos a la anomalía del 26 – 28 de mayo.</u>	<u>Lo que ocasionó los altos niveles de SO<sub>2</sub> días antes se detuvo o disminuyó a casi nada en su actividad pues se retomó la cantidad de SO<sub>2</sub> liberada en un estadio más tranquilo y normal.</u>

3. ¿Qué indica un aumento o una disminución de las emisiones de SO<sub>2</sub> sobre una posible erupción? ¿Por qué?

Un aumento en las emisiones de So2 puede señalar que el magma está más cerca de la superficie y que una erupción volcánica es posible o inminente. De hecho, cuando el magma asciende, la disminución de la presión provoca la exsolución del SO<sub>2</sub>, y otros volátiles, inicialmente disueltos en el magma y su liberación como gas.

5. ¿Cuál es tu interpretación de las emisiones de SO<sub>2</sub> en términos de potencial de actividad volcánica futura? Utiliza el mapa de peligros del área del Monte Rainier y el sistema de alerta volcánica del USGS para decidir el nivel de alerta que debería tener el volcán. Justifica tu respuesta.

De acuerdo con el comportamiento de las emisiones de SO<sub>2</sub>, las cuales pasaron de bajas a muy altas en cuestión de días, es posible ubicar el nivel de alerta en amarillo. Esto como indicativo que no existía movimiento de magma tan cerca de la superficie previo al aumento repentino de las emisiones.

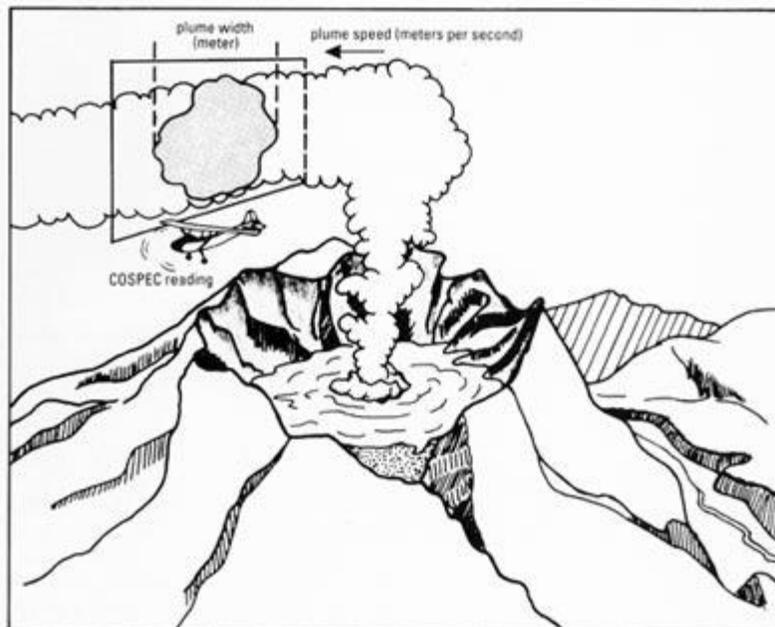
El aumento de emisiones es un confiable indicativo de aumento en la actividad de un volcán y, a pesar de que el cambio en este caso fue de poca duración, sí fue un cambio importante y contrastante con las condiciones que el volcán presenta antes y después del evento.

Además, tomando en cuenta que se encuentra muy cerca de lugares poblados como grandes ciudades, el mínimo cambio en la actividad del volcán debe ser tomando en cuenta para alertar a las personas cercanas a él, por el riesgo que representa una erupción y por el daño que los gases liberados pueden ocasionar la calidad del aire y a la salud humana.

## Anexo G

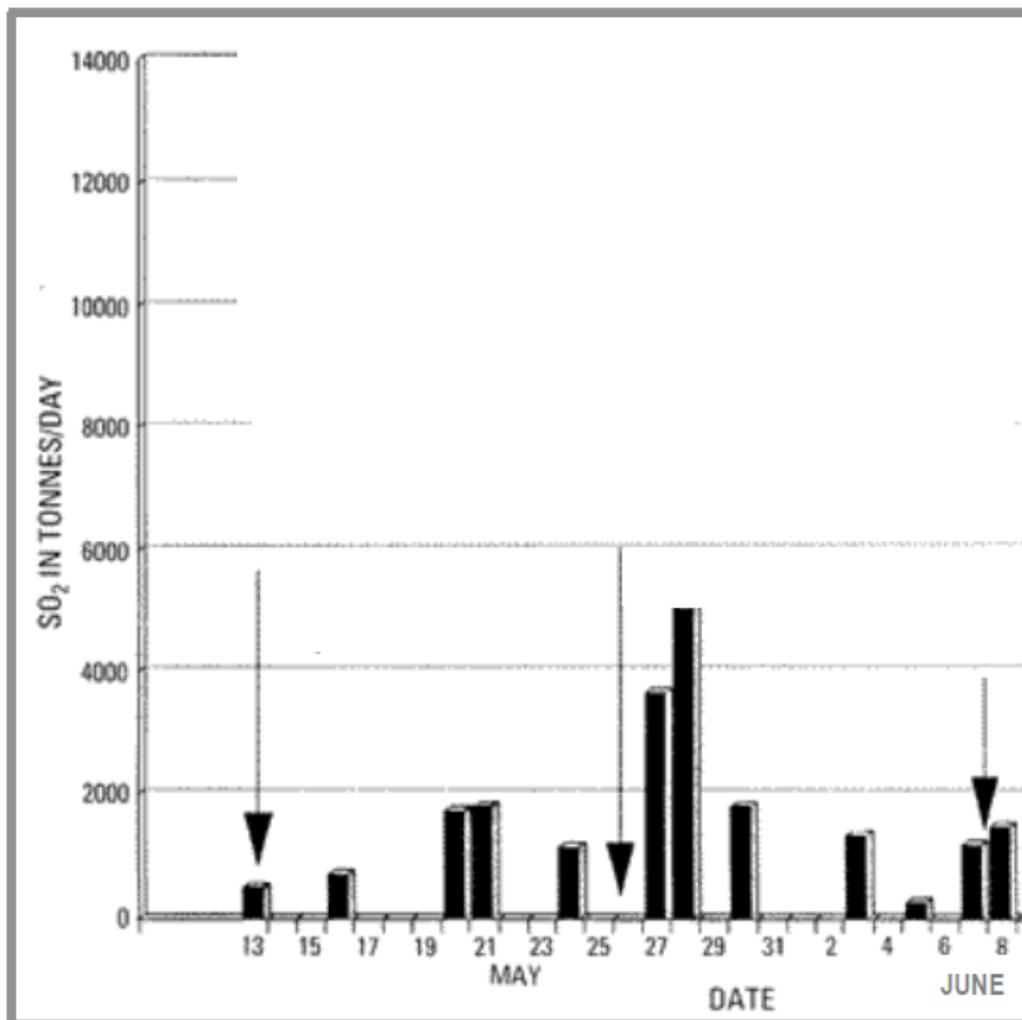


Fotos de fracturas y lineamientos de nuevos cráteres formados por las explosiones del 2 de abril en el flanco norte del volcán. En la foto de la izquierda se aprecian fumarolas prominentes a lo lejos, en la zona sur.

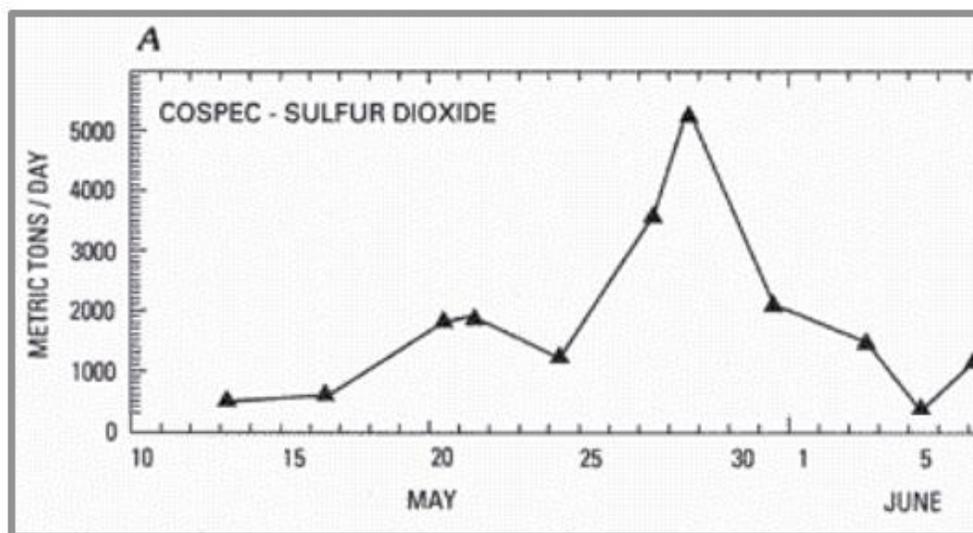


Un helicóptero equipado con un COSPEC sobrevuela la pluma volcánica para medir la concentración de  $\text{SO}_2$ . Para obtener la tasa de emisión de  $\text{SO}_2$ , se integra la concentración de  $\text{SO}_2$  sobre el ancho de la pluma y se multiplica por la velocidad del viento.

Emisiones de SO<sub>2</sub> del 13 de mayo al 10 de junio.



Volúmenes de SO<sub>2</sub>, estimados a partir de las mediciones con COSPEC del 10 de mayo al 8 de junio.



## Agua Subterránea

### Disponibilidad de Agua Subterránea en el Condado de Gaines, Texas, Estados Unidos de América (EUA)

#### Objetivos de aprendizaje

Al completar esta actividad, serás capaz de:

- Discutir la relación entre el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua subterránea como recurso.
- Predecir si la disponibilidad de agua subterránea de una región es motivo de preocupación para los habitantes.
- Explicar cómo es posible que se agote el agua subterránea.
- Obtener datos para evaluar cambios en los niveles de agua subterránea.

#### Explorando la base de datos de agua subterránea del USGS

Los siguientes pasos te guiarán a explorar la base de datos de agua subterránea del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), la cual se encuentra disponible en el sitio web <http://waterdata.usgs.gov/nwis/qw>.

Paso 1: Ingresa a la liga y en la pestaña “Data Category” selecciona “Groundwater” y en la pestaña “Geographic Area” elige “Texas”. Haz clic en “GO”. Posterior a ello, en la Introducción podrás encontrar un enlace con el nombre “field-water-level measurements”, haz clic en él.

The screenshot displays the USGS National Water Information System (NWIS) web interface. At the top, the USGS logo and navigation links are visible. The main header reads "National Water Information System: Web Interface". Below this, there are search filters for "Data Category" (set to "Groundwater") and "Geographic Area" (set to "Texas"), with a "GO" button. The page content includes a "USGS Groundwater Data for Texas" section with a "Click to hide state-specific text" link. Underneath, there are two main data categories: "Current Conditions" (42 sites) and "Historical Observations" (79 sites). The "Introduction" section provides background information on the NWIS database and includes a link to "field-water-level measurements".

Paso 2: Debajo de “Site Location”, activa la casilla “County” y haz clic en Submit.

**Choose Site Selection Criteria**  
There are 19,735 sites with groundwater-level measurements. Choose at least one of the following criteria to constrain the number of sites selected.

**Site -- Location --**

- County
- Hydrologic Unit (by Code)
- Hydrologic Unit (by Name)
- Lat-Long box

**Site -- Identifier --**

- Site Name
- Site Number
- Multiple Site Numbers
- Agency Code
- File of Site Numbers

**Site -- Attribute --**

- Well depth
- Hole depth
- National aquifer (by code)
- National aquifer (by name)
- Local aquifer (by code)
- Local aquifer (by name)

**Data -- Attribute --**

- Number of observations

[Questions or Comments](#)  
[Automated retrievals](#)  
[Help](#)

[Data Tips](#)  
[Explanation of terms](#)  
[Subscribe for system changes](#)  
[News](#)

Accessibility FOIA Privacy Policies and Notices  
U.S. Department of the Interior | U.S. Geological Survey  
Title: Groundwater for Texas: Water Levels

Paso 3: En la lista de “County”, selecciona “Gaines County”. Debajo elige la casilla “Show sites on map” y haz clic en Submit.

**County -- select one or more**

- County

**Choose Output Format**  
Display Summary of Selected Sites  
Choose one of the following options for displaying descriptions of the sites meeting the criteria above:

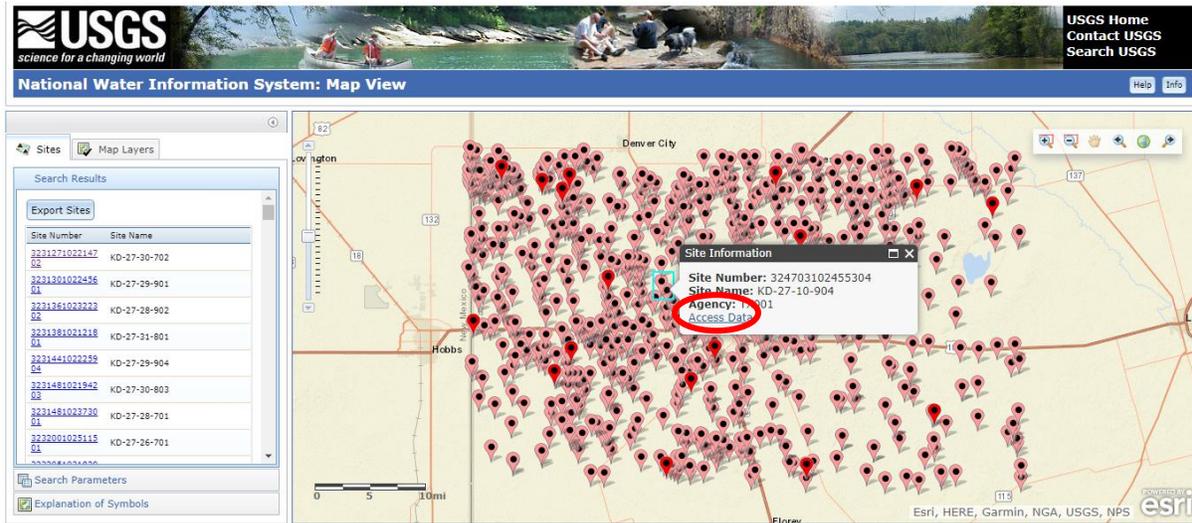
- Show sites on a map [Help](#)
- Table of sites grouped by [dropdown]
- Scroll list of sites -- allows selection of data for multiple sites
- Brief descriptions -- allows selection of data for multiple sites
- Site-description information displayed in [XML format dropdown]

(Select fields to include in site-description output)

- Save file of selected sites to local disk for future upload

**Retrieve Groundwater level data for Selected Sites**  
Choose one of the following options for displaying data for the sites meeting the criteria above

Paso 4: Ahora puedes acceder a la información de cada pozo con solo dar clic en ellos. Si después de dar clic en cualquier pozo haces clic en “Access data” se abrirá una nueva ventana con los tipos de datos disponibles.



Paso 5: En la nueva ventana que se genera al hacer clic en Access Data, haz clic en “Field groundwater-level measurements data type”. (Toma en cuenta para la actividad el número que aparece debajo de Count, entre mayor sea, mayor cantidad de datos tendrás).

**TX001 324703102455304 KD-27-10-904**

Available data for this site [SUMMARY OF ALL AVAILABLE DATA](#) [GO](#)

**Well Site**

**DESCRIPTION:**  
 Latitude 32°47'03", Longitude 102°45'53" NAD27  
 Gaines County, Texas , Hydrologic Unit 12080003  
 Well depth: 152.0 feet  
 Land surface altitude: 3,422.0 feet above NGVD29.  
 Well completed in "High Plains aquifer" (N100HGHLN) national aquifer.  
 Well completed in "Ogallala Formation" (121OGLL) local aquifer

**AVAILABLE DATA:**

Data type	Begin Date	End Date	Count
<a href="#">Field groundwater-level measurements</a>	1964-01-16	1964-01-16	1
<a href="#">Revisions</a>	Unavailable (site:0) (timeserror)		

**OPERATION:**  
 Record for this site is maintained by the USGS Texas Water Science Center  
 Email questions about this site to [Texas Water Science Center Water-Data Inquiries](#)

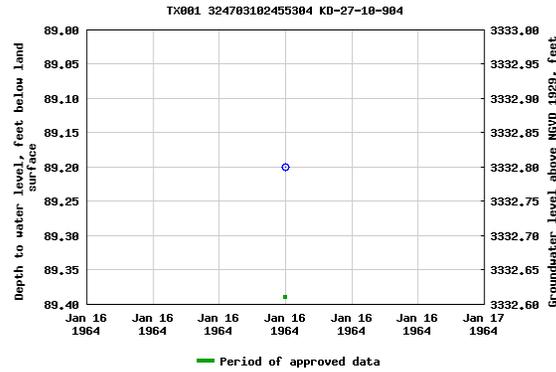
[Questions or Comments](#)  
[Automated retrievals](#)  
[Help](#)

[Data Tips](#)  
[Explanation of terms](#)  
[Subscribe for system changes](#)  
[News](#)

Paso 6: Ahora puedes visualizar toda la base de datos del pozo que seleccionaste en un gráfico con relación al tiempo. Puedes guardar una copia de este gráfico en “Download a presentation quality graph”.

Gaines County, Texas  
 Hydrologic Unit Code 12080003  
 Latitude 32°47'03", Longitude 102°45'53" NAD27  
 Land-surface elevation 3,422.0 feet above NGVD29  
 The depth of the well is 152.0 feet below land surface.  
 This well is completed in the High Plains aquifer (N100HGHLN) national aquifer.  
 This well is completed in the Ogallala Formation (121OGLL) local aquifer.

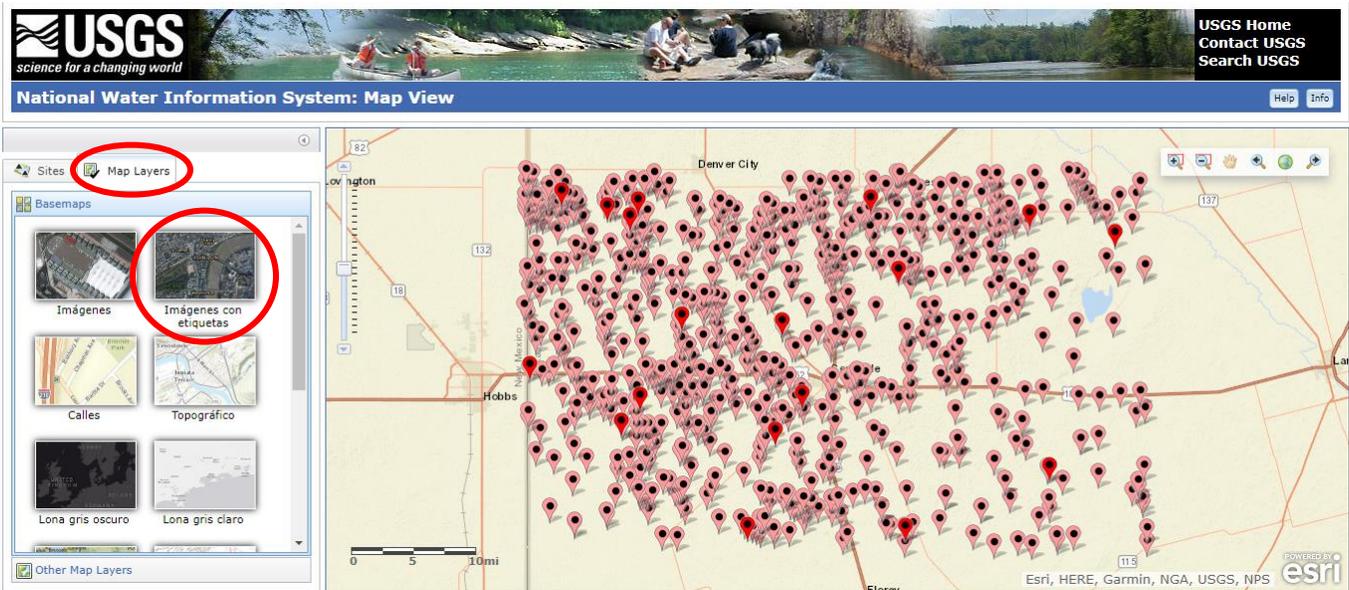
Output formats
<a href="#">Table of data</a>
<a href="#">Tab-separated data</a>
<a href="#">Graph of data</a>
<a href="#">Reselect period</a>



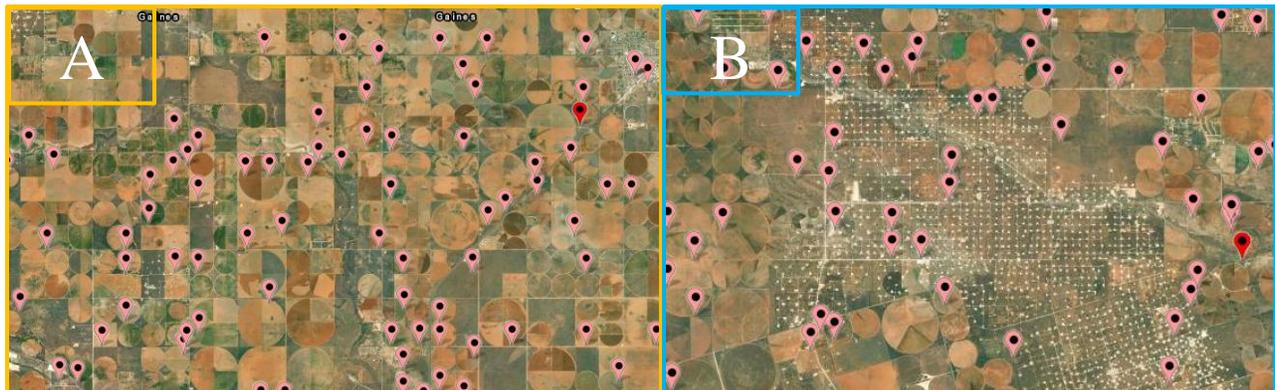
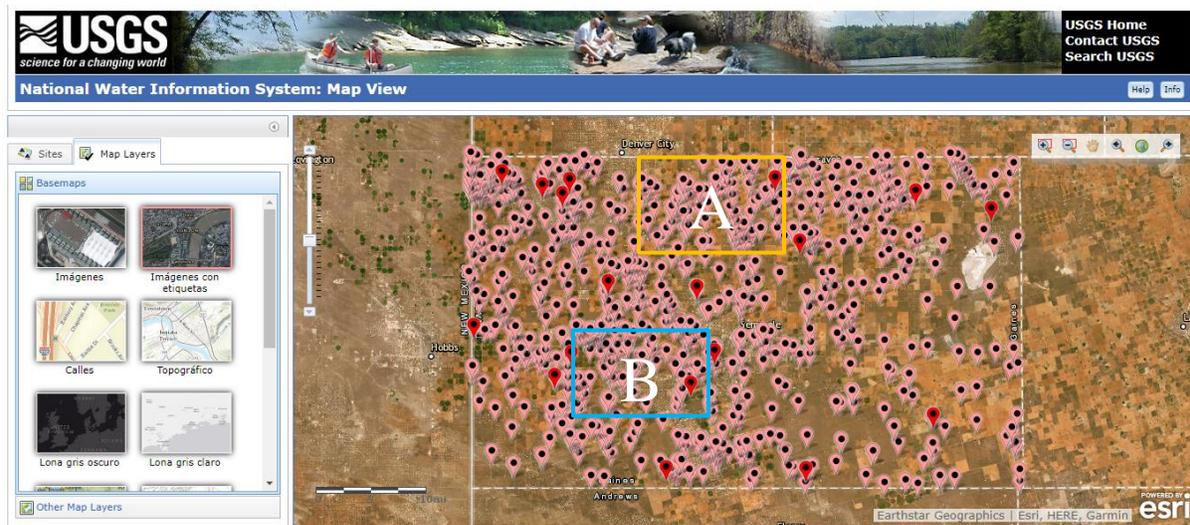
Breaks in the plot represent a gap of at least one year between field measurements.

[Download a presentation-quality graph](#)

Paso 7: De regreso a la ventana del mapa en las pestañas de la izquierda haz clic en “Map Layers” y luego en “Imagery with Labels” (Imágenes con etiquetas). Puedes explorar otras capas como elevación, delimitación de condados, caminos, etc.



Paso 8: Haz zoom a las áreas A (tierras de cultivos de riego) y B (campo de hidrocarburos). Estas áreas se utilizarán para la actividad.

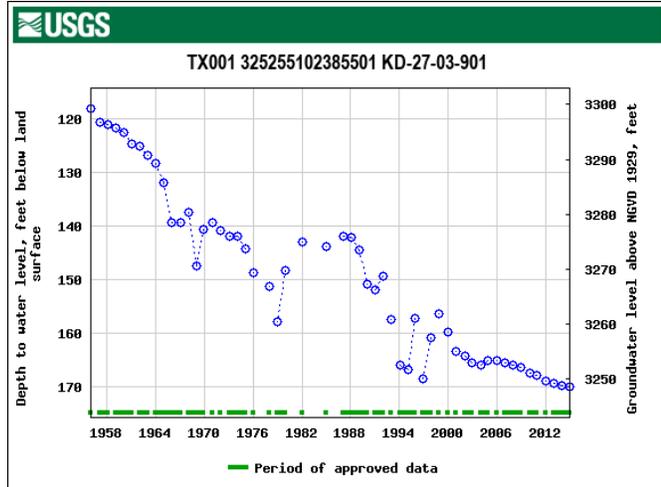


### Evaluación del nivel de agua subterránea y su disponibilidad

Localiza 3 pozos agrícolas y 3 pozos en el campo petrolero. En el área A elige pozos con una cuenta mayor a 5 (el número mencionado en el Paso 5) y para el área B intenta encontrar pozos con una cuenta mayor a 2, en esta área es posible encontrar pozos con cuenta mayor a 10. Recuerda que entre mayor sea el número, mejor será el análisis del nivel de agua subterránea.

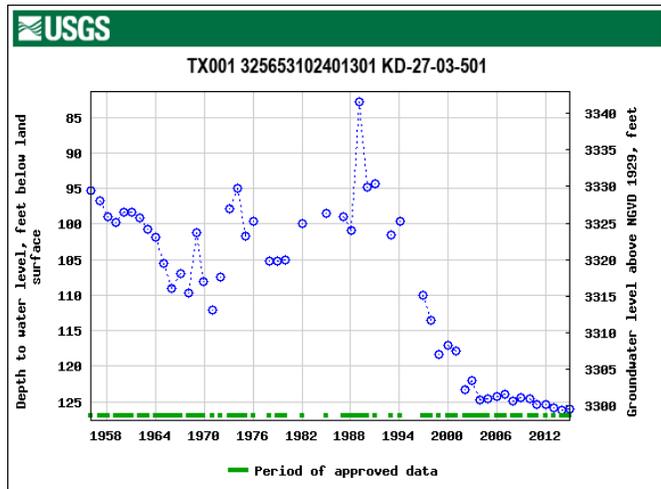
## Mejores Pozos Agrícolas

1. Site Number: 325255102385501  
Site Name: KD-27-03-901  
Cuenta: 55



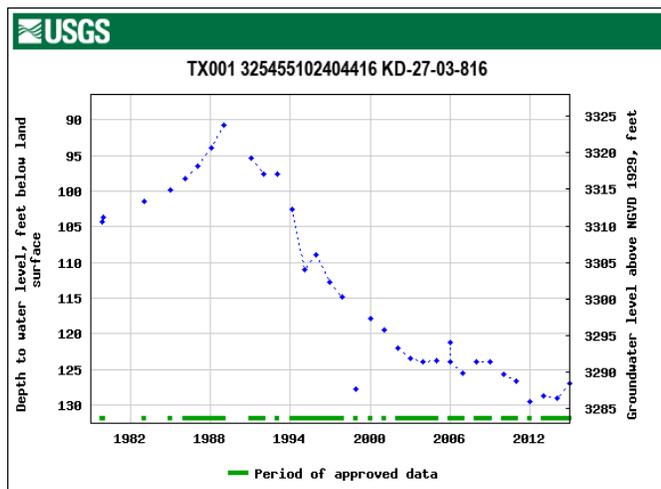
[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=325255102385501](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=325255102385501)

2. Site Number: 325653102401301  
Site Name: KD-27-03-501  
Cuenta: 52



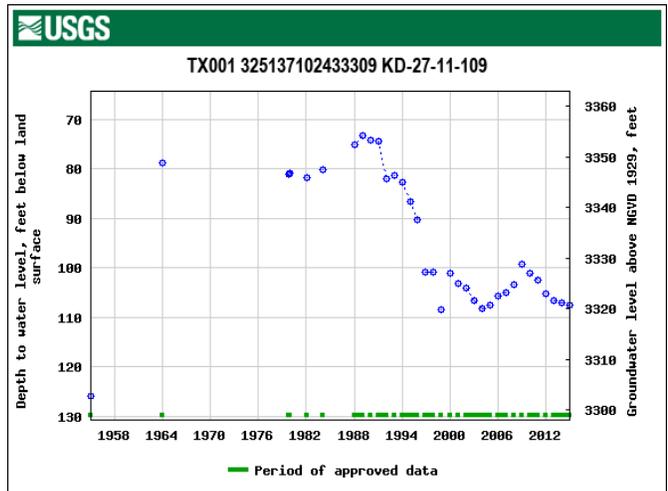
[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=325653102401301](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=325653102401301)

3. Site Number: 325455102404416  
Site Name: KD-27-03-816  
Cuenta: 34



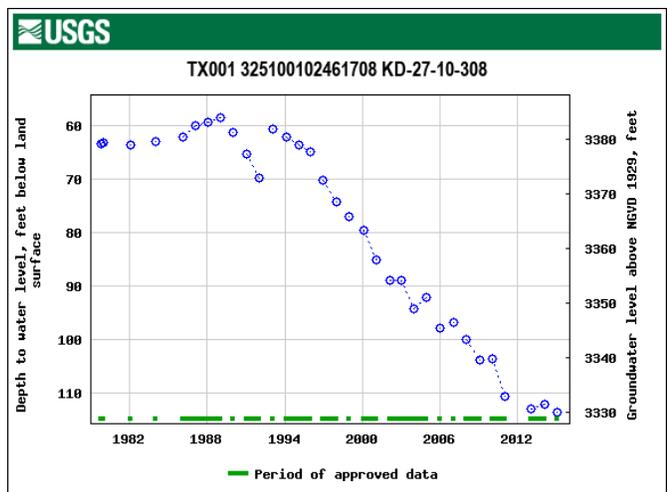
[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=325455102404416](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=325455102404416)

4. [Site Number: 325137102433309](#)  
[Site Name: KD-27-11-109](#)  
[Cuenta: 34](#)



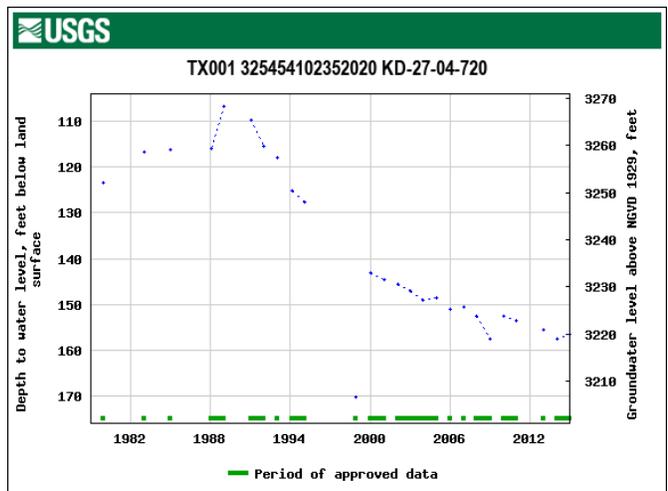
[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=325137102433309](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=325137102433309)

5. [Site Number: 325100102461708](#)  
[Site Name: KD-27-10-308](#)  
[Cuenta: 33](#)



[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=325100102461708](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=325100102461708)

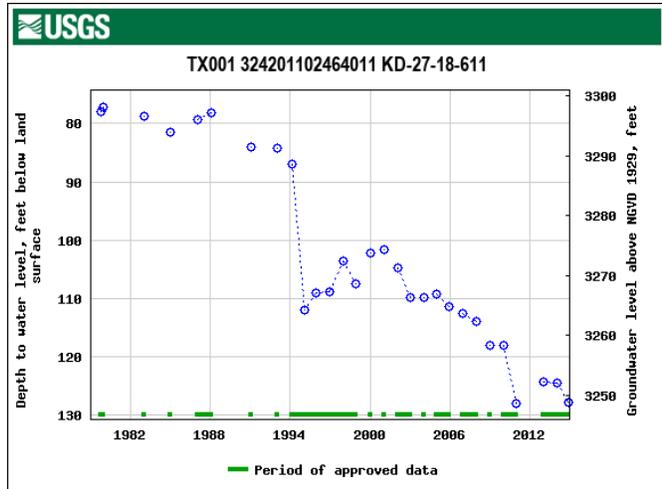
6. [Site Number: 325454102352020](#)  
[Site Name: KD-27-04-720](#)  
[Cuenta: 27](#)



[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=325454102352020](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=325454102352020)

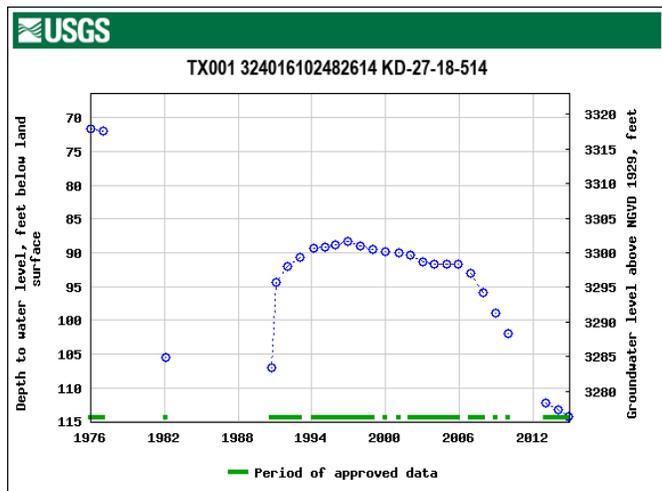
Mejores Pozos en el Campo Petrolero

1. Site Number: 324201102464011  
Site Name: KD-27-18-611  
Cuenta: 29



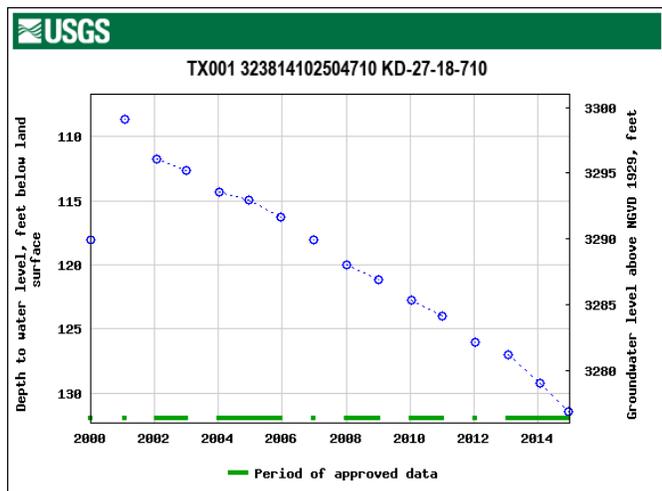
[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=324201102464011](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=324201102464011)

2. Site Number: 324016102482614  
Site Name: KD-27-18-514  
Cuenta: 27



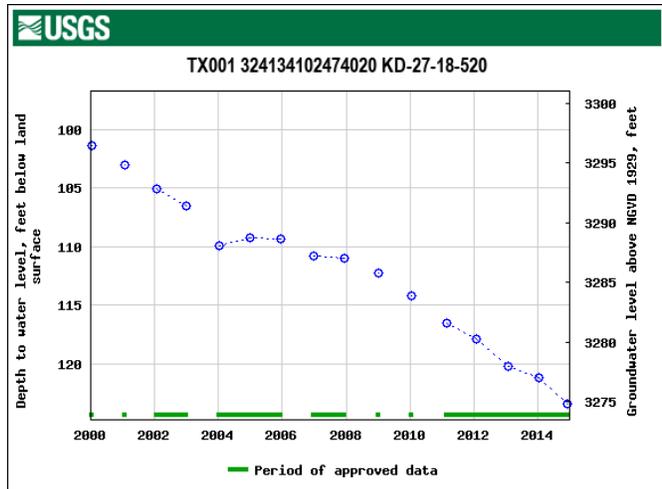
[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=324016102482614](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=324016102482614)

3. Site Number: 323814102504710  
Site Name: KD-27-18-710  
Cuenta: 16



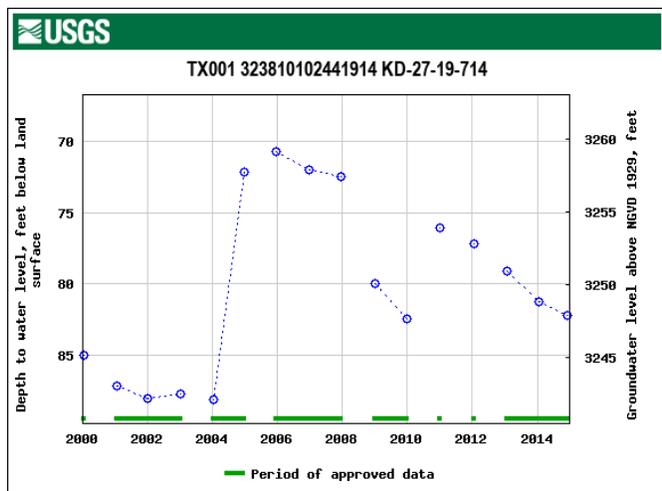
[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=323814102504710](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=323814102504710)

4. [Site Number: 324134102474020](#)  
[Site Name: KD-27-18-520](#)  
[Cuenta: 16](#)



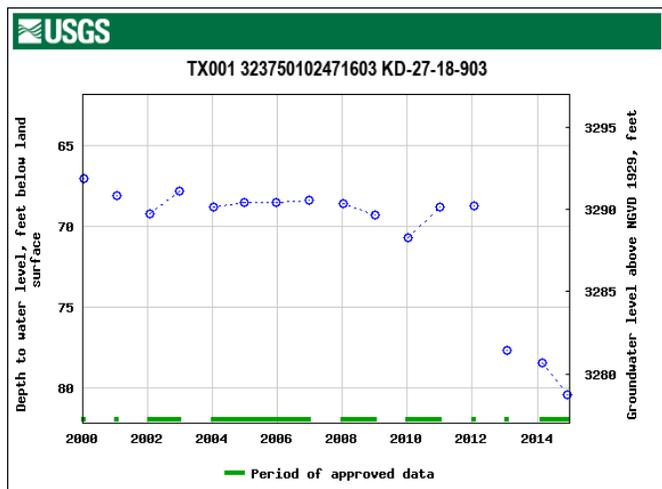
[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=324134102474020](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=324134102474020)

5. [Site Number: 323810102441914](#)  
[Site Name: KD-27-19-714](#)  
[Cuenta: 16](#)



[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=323810102441914](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=323810102441914)

6. [Site Number: 323750102471603](#)  
[Site Name: KD-27-18-903](#)  
[Cuenta: 16](#)



[https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency\\_code=TX001&site\\_no=323750102471603](https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory?agency_code=TX001&site_no=323750102471603)

Con los datos que obtuviste del sitio web del USGS, contesta las siguientes preguntas:

5. ¿Existen tendencias en los niveles de agua subterránea en el tiempo? Si tu respuesta es sí, ¿a qué se deben estas tendencias?

La tendencia general en los dos tipos de pozos estudiados es el aumento de la profundidad del nivel freático. Esto indica que las reservas de agua subterránea en la zona se han utilizado de tal forma que cada vez hay menos agua y por ello el nivel freático disminuye. La cantidad de agua que sale (por bombeo o por salidas naturales como manantiales) de él o los acuíferos de la zona es mayor a la cantidad de agua que entra en ellos en las zonas de recarga.

6. ¿Se observan diferencias entre los niveles de agua subterránea en el tiempo entre las dos áreas seleccionadas?

En los pozos agrícolas se puede observar que la tendencia del aumento de la profundidad del nivel freático comenzó poco después de 1988. Si bien el nivel no se mantenía completamente estable antes, los cambios que sufría eran pequeños, en contraste al nivel a partir de 1989 se observa que el nivel comenzó a tener una profundidad cada vez mayor sin poder recuperarse. Mientras que en los pozos en el campo petrolero la tendencia al aumento de profundidad del nivel freático parece ser constante durante todo este siglo, con pocos datos previos.

7. Con base en los datos observados, predice la futura disponibilidad de agua subterránea en estas áreas.

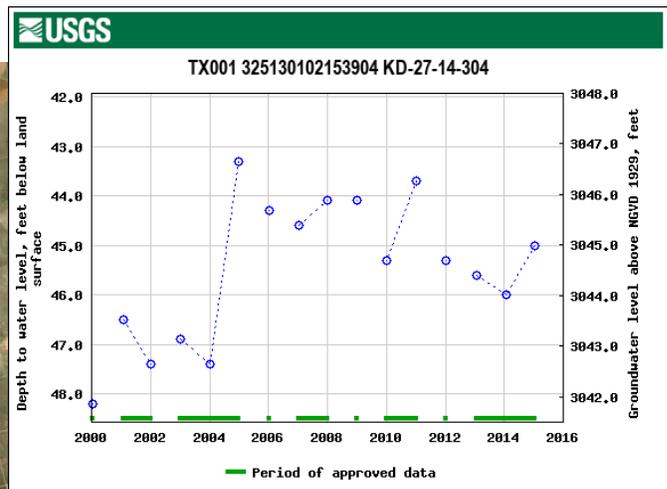
Con los datos proporcionados en la base de USGS es posible observar cómo varía el nivel freático en el área, sin embargo, al desconocer más características del acuífero como su área, profundidad o delimitadores no es posible decir con certeza la duración del agua subterránea en la zona. Lo que sí es posible inferir es que inevitablemente se terminará debido a que la tasa de descarga es mucho mayor a la tasa de recarga, por lo que sería prudente estudiar las características del acuífero y obtener la mejor solución para disminuir las salidas y aumentar las entradas de agua en este o en cuantos acuíferos se encuentren involucrados en la zona.

8. Localiza un pozo en cualquier otra área del Condado Gaines y menciona información interesante que hayas encontrado respecto a los niveles de agua subterránea.

Pozo cerca al Lago Cedar

Site Number: 325130102153904

Site Name: KD-27-14-304



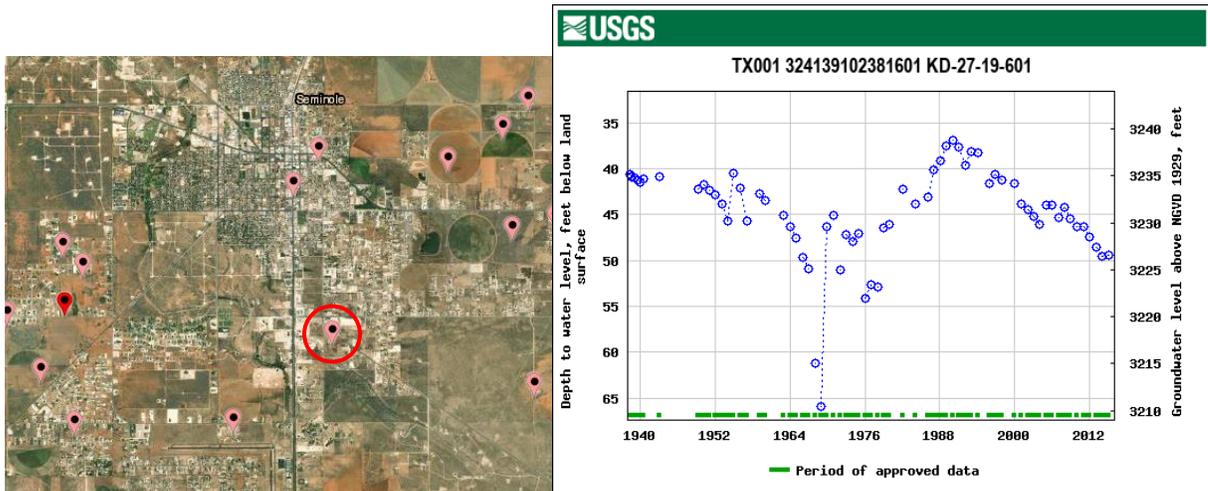
En este pozo, a diferencia de los observados previamente, no se observa una clara tendencia en el aumento de la profundidad del nivel freático. Se observa ligeramente más estable y con recuperaciones tan constantes como las caídas, esto puede deberse a la cercanía que hay con respecto

al cuerpo de agua superficial el Lago Cedar. Aunque no siempre, en ocasiones el agua superficial está conectada con el agua subterránea y cuando esto ocurre el agua superficial permite que exista una mayor cantidad de agua entrando al acuífero alimentándolo y aumentando la cantidad de agua que entra en él.

Pozo en zona urbana

Site Number: 324139102381601

Site Name: KD-27-19-601



Este pozo se encuentra en una zona urbana y se puede observar que a lo largo de 72 años el nivel estático sí ha presentado cambios, pero estos en rara ocasión sobrepasan los 10 ft (a excepción de 1970 que aumentó su profundidad drásticamente). Este nivel ligeramente constante o con cambios ligeros es resultado de un equilibrio en las recargas y descargas del cuerpo de agua subterránea.

## Glosario

**Aliviadero de crecida.** Un canal creado con el fin de reducir el caudal de un río durante una gran inundación y así evitar el crecimiento del nivel del agua o que alcance una mayor área. También conocido como vertedero hidráulico o *floodway* en inglés.

**Caudal.** El volumen de agua que fluye en un determinado punto de un río durante una determina unidad de tiempo.

**Ciclo hidrológico.** La circulación constante del agua de la Tierra. El ciclo se alimenta de la energía del Sol y se caracteriza por intercambios continuos de agua entre los océanos, la atmósfera y los continentes.

**Deslizamiento en masa.** El movimiento de una masa de roca, detritos o tierra por una pendiente bajo la influencia directa de la gravedad.

**Flujo piroclástico.** Una mezcla de muy alta temperatura, compuesta principalmente de cenizas y fragmentos de piedra pómez, que se desplaza por los flancos de un volcán o a lo largo de la superficie del suelo.

**Geodesia.** Ciencia que mide con precisión el tamaño, la forma, la distribución de masa de la Tierra y las variaciones de estas con el tiempo

**Lahar.** Un flujo de detritos en las laderas de un volcán que se produce cuando capas inestables de cenizas y escombros se saturan principalmente por acción de agua o nieve y fluyen pendiente abajo, generalmente siguiendo canales de corrientes.

**Llanura de inundación.** La parte plana y baja de un valle fluvial sujeta a inundaciones periódicas.

**Nivel freático.** El nivel superior de la zona saturada de agua subterránea.

**Peligro.** Evento o situación que representa una amenaza para la integridad de las personas, de sus bienes o del medio ambiente.

**Relieve.** Características reconocibles y formadas naturalmente en la superficie de la Tierra.

**Riesgo.** Probabilidad de que un peligro ocurra y afecta la integridad de las personas, de sus bienes o del medio ambiente.

**Tierras raras.** Los elementos de tierras raras (REE por sus siglas en inglés) son un conjunto de diecisiete elementos metálicos. Entre ellos se incluyen los quince lantánidos de la tabla periódica, además del escandio y el itrio.

## Referencias

- Bhattacharyya, P. (17 de Julio de 2017). *Activity Option 2.2 - Rare Earth Elements: Critical Elements of the Future*. Obtenido de InTeGrate: [https://serc.carleton.edu/integrate/teaching\\_materials/mineral\\_resources/activity2-2.html](https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/mineral_resources/activity2-2.html)
- CENAPRED. (2024). *Sistema nacional de información sobre riesgos*. Obtenido de <http://atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>
- GETSI. (2013). *Geodesy Tools for Societal Issues*. Obtenido de Science Education Resource Center at Carleton College: <https://serc.carleton.edu/getsi/index.html>
- Gray, K. (18 de Julio de 2017). *Unit 4: Hazards from Flooding*. Obtenido de InTeGrate: [https://serc.carleton.edu/integrate/teaching\\_materials/energy\\_and\\_processes/activity\\_4.html](https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/energy_and_processes/activity_4.html)
- Greenberg, H. (2014). *Geomorphological Research Group*. Obtenido de University of Washington: <https://gis.ess.washington.edu/areas/oso/>
- Hall, S., & Walker, B. (10 de Diciembre de 2020). *Unit 4: Anatomy of a tragic slide: Oso Landslide case study*. Obtenido de InTeGrate: [https://serc.carleton.edu/getsi/teaching\\_materials/surface\\_processes/unit4.html](https://serc.carleton.edu/getsi/teaching_materials/surface_processes/unit4.html)
- InTeGrate. (2012). *Interdisciplinary Teaching about Earth for a Sustainable Future*. Obtenido de Science Education Resource Center at Carleton College: <https://serc.carleton.edu/integrate/index.html>
- InTeGrate. (28 de Marzo de 2017). *Formative Assessment 2: Flood Risk*. Obtenido de InTeGrate: [https://serc.carleton.edu/integrate/teaching\\_materials/water\\_science\\_society/student\\_materials/672](https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/water_science_society/student_materials/672)
- Kim, J. W. (2015). Pre-2014 mudslides at Oso revealed by InSAR and multi-source DEM analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(3), 184-194.
- Perez, A., & Villalobos, J. (25 de Agosto de 2024). *Unit 6: Groundwater Availability and Resources*. Obtenido de InTeGrate: [https://serc.carleton.edu/integrate/teaching\\_materials/freshwater/unit6.html](https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/freshwater/unit6.html)
- Sissel, M. (2014). *Oso Mudslide*. Obtenido de Defense Visual Information Distribution Service: <https://www.dvidshub.net/image/1209685/oso-mudslide>
- Tarbuck, E. J. (2017). *Earth: an introduction to physical geology*. Pearson.
- Teasdale, R., Selkin, P., & Goodell, L. (10 de Mayo de 2019). *Hazards and Risks at Convergent Plate Boundaries (Day 1 of activity)*. Obtenido de InTeGrate: [https://serc.carleton.edu/integrate/teaching\\_materials/living\\_edge/activity5.html](https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/living_edge/activity5.html)
- USGS. (2024). *National Water Information System: Web Interface*. Obtenido de USGS Water Resources: <https://waterdata.usgs.gov/nwis/>