

EXAMEN

3 de julio de 2019

Sin apuntes – Sin preguntas en sala – 2 horas

PAUTA

1. (10 puntos) A consecuencia del incendio ocurrido hace un par de años en las quebradas de Valparaíso, una de las laderas contigua a un estero con valor turístico quedó desprovista de vegetación. Esto ha provocado un aumento en la descarga de sedimentos al estero. Es por esto que le piden evaluar medidas para reducir la producción de sedimento en la ladera. La ladera tiene 85 m de largo (proyección horizontal), 50 m de ancho y pendiente de 20% (ver figura). El suelo es de estructura fina granular con 30% de arcilla, 40% de limo y 16,2% de arena fina, 1,6% de materia orgánica y 1,2 g/cm<sup>3</sup> de densidad aparente. La precipitación media en el sector es de 623 mm/año y actualmente no existen prácticas de manejo. En base a lo anterior, responda lo siguiente:

- Calcule la tasa de erosión que ocurre en la ladera luego del incendio.
- Si se quiere cubrir con vegetación la ladera de modo que la erosión no exceda las 50 t/(ha·año), ¿Cuál debería ser el factor de vegetación? ¿Qué tipo de vegetación recomendaría usar?
- Si decidiese sembrar cereales y además construir una canaleta colectora al final de la ladera del largo de esta y de 50 m<sup>3</sup> de volumen, ¿Cada cuánto tiempo habría que vaciar los sedimentos atrapados en la canaleta?

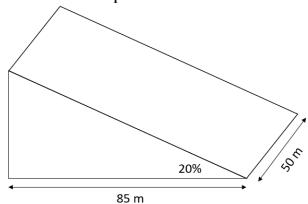


Figura 1. Dimensiones de la ladera en la quebrada.

**Solución**

- a) Calcule la tasa de erosión que ocurre en la ladera luego del incendio. (5 puntos)

$$R = 0,048 \cdot 623^{1,617} = 1584,63 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{ha} \cdot \text{año}) \quad (1 \text{ punto})$$

$$M = (40 + 16,2) (100 - 30) = 3934$$

La textura corresponde a franco arcilloso ( $p = 4$ ) y la estructura a fino granular ( $s = 2$ ). (0,5 puntos)

$$K = (2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 3943^{1,14} \cdot (12-1,6) + 3,25 \cdot (2-2) + 2,5 * (4-3)) / 759$$

$$K = 0,039 \text{ t} \cdot \text{h} / (\text{MJ} \cdot \text{mm}) \quad (1 \text{ punto})$$

Para determinar el factor topográfico (LS), pendiente es 20% y largo es 85 m = 279 pies, encontrar valor interpolando entre 250 y 300 pies.

$$x - 250 = \frac{300 - 250}{8,23 - 7,16} (y - 7,16)$$

Si  $x = 279$ , entonces  $y = LS = 7,78$ . (1 punto)

Por enunciado,  $C = P = 1$ . (0,5 puntos)

Con esto,  $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P = 480,8 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{año})$  (1 punto)

- b) Si se quiere replantar la ladera, de modo que la erosión no exceda las 50 [t/(ha·año)], ¿Cuál debería ser el factor de vegetación? ¿Qué tipo de vegetación recomendaría plantar? (2 puntos)

$$C = A / (R \cdot K \cdot LS \cdot P), \text{ entonces para } A = 50 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{año}), C = 0,104. \quad (1 \text{ punto})$$

Esto quiere decir que, si se quiere que la erosión sea menor o igual a 50 t/(ha·año), entonces el factor C debe ser menor o igual a  $C = 0,104$ , por lo tanto, se recomienda plantar árboles frutales. (1 punto)

- c) Si finalmente se decidió plantar cereales y, además, se quiere construir una canaleta colectora al final de la ladera del largo de esta y de 50 m<sup>3</sup> de volumen, ¿Cada cuánto habría que vaciar esta canaleta? (3 puntos)

Como se plantaron cereales, entonces  $C = 0,35$  y  $A = 168,3 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{año})$ . (1 punto)

El largo de la ladera es de 86,68 m y tiene un área de 0,43 ha, por lo tanto, al año erosionan 71,52 t. (0,5 puntos)

$$72,37 \frac{\text{t}}{\text{año}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1200 \text{ kg}} = 60,3 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \sim 5 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \quad (0,5 \text{ puntos})$$

Por lo tanto, habría que vaciar la canaleta cada 10 meses aproximadamente. (1 punto)

2. (10 puntos) Suponga que se necesita evaluar la calidad del agua de un acuífero ubicado justo abajo de un relleno sanitario. Se sabe que la presión del agua en el acuífero es de 1,5 atm y su temperatura igual a 15°C. Sobre este acuífero, en el relleno, hay gas con la siguiente composición: 50% CO<sub>2</sub>, 25% CH<sub>4</sub>, y 25% de N<sub>2</sub>.

a) Si el gas del relleno y el agua del acuífero están en contacto directo, determine las concentraciones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en el agua del acuífero.

b) Si el análisis químico del agua del acuífero muestra las siguientes concentraciones: Ca<sup>2+</sup> = 80 mg/L, Mg<sup>2+</sup> = 106 mg/L y Na<sup>+</sup> = 49 mg/L, ¿Cuál es la dureza del agua? Exprese sus resultados como mg CaCO<sub>3</sub>/L.

**Solución**

- a) La presión de vapor de agua a 15°C es igual a 1.7051 kPa

Si lo pasamos a mm Hg queda  $1.7051 * 760 = 12.95 \text{ mm Hg}$

La presión parcial para el CH<sub>4</sub>:

$$p_{\text{CH}_4} = \frac{0,25 * ((1,5 * 760) - 12,95)}{760} \text{ atm} = 0,25 * \frac{1127}{760} = 0,37 \text{ atm}$$

1 punto

La fracción molar de CH<sub>4</sub> en el agua subterránea

$$= \frac{p_{\text{CH}_4}}{K_{\text{H}}} = \frac{0,37 \text{ atm}}{3,00 * 10^4 \text{ atm mol}^{-1}} = 0,123 * 10^{-4} \text{ mol}$$

0.5 puntos  
Ahora si definimos  $N_{CH_4}$  los moles presentes en un 1 L de solución. Un litro de solución contiene 1000 g de agua:

$$= \frac{1000}{18} \text{ moles H}_2\text{O} = 55.56 \text{ moles de agua}$$

1 punto

Por lo tanto:

$$0.123 * 10^{-4} = \frac{N_{CH_4}}{N_{CH_4} + 55.56}$$

1 punto

$$(0.123 * 10^{-4}) * N_{CH_4} + (0.123 * 10^{-4}) * 55.56 = N_{CH_4}$$

Luego,

$$N_{CH_4} = \frac{55.56 * 0.123 * 10^{-4}}{1 - 0.123 * 10^{-4}} = 6.85 * 10^{-4} \text{ moles}$$

0.5 punto

$$\text{La concentración de CH}_4 = (6.85 * 10^{-4}) * (16) = 0.0109 \text{ g/L}$$

0.5 punto

Ahora, utilizando el mismo procedimiento para el cálculo del CO<sub>2</sub>. Presión de vapor a 15°C = 12.95 mm Hg

$$p_{CO_2} = \frac{(0.25 * ((1.5 * 760) - 12.95))}{760} = 0.37 \text{ atm}$$

1 punto

$$\text{fracción molar de CO}_2 \text{ en el agua subterránea} = \frac{p_{CO_2}}{K_H}$$

$$= \frac{0.37}{1.05 * \frac{10^4 \text{ atm}}{\text{mol}}} = 3 * 10^{-5} \text{ atm/mol}$$

0.5 puntos

Denominar  $N_{CO_2}$  a los moles de CO<sub>2</sub> presentes en 1 L de solución. El agua presente en la solución equivale a 55.56 moles

$$= 3.52 * 10^{-5} = \frac{N_{CO_2}}{N_{CO_2} + 55.56}$$

$$N_{CO_2} = 1.95 * 10^{-4} \text{ moles}$$

0.5 puntos

$$\text{Luego, la concentración de CO}_2: 1.95 * 10^{-4} \text{ moles} * 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 8.58 * 10^{-3} \text{ g/L}$$

0.5 puntos

### b) Equivalencias

$$\text{Peso equivalente Ca}^{2+} = 20.03$$

$$\frac{\text{meq}}{\text{L}} \text{Ca}^{2+} = \frac{80}{20.03} = 3.99$$

$$\text{Peso equivalente de Mg}^{2+} = 12.15$$

$$\frac{\text{meq}}{\text{L}} \text{Mg}^{2+} = \frac{160}{12.15} = 13.16$$

Na<sup>+</sup> no contribuye a la dureza

$$\text{Dureza} = 3.00 + 13.16 = 17.15 \frac{\text{meq}}{\text{L}} \rightarrow 857.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de CaCO}_3$$

3 puntos (1 punto unidades correcta, 2 puntos ecuación y cálculos)

3. (10 puntos) En su calidad de Ingeniero Ambiental le han pedido evaluar la factibilidad técnica/ambiental de un nuevo módulo termoeléctrico. En particular se le pide que calcule la mínima altura física de la chimenea del módulo para cumplir con los siguientes criterios de diseño.

- Flujo máscico de gases (NO<sub>2</sub>) = 0,5 kg/s
- Velocidad del viento = 2,2 m/s
- La concentración del NO<sub>2</sub> no debe superar los 11,8 µg/m<sup>3</sup> en un poblado ubicado 500 m viento abajo de la chimenea
- Diámetro de la chimenea en su parte superior = 1,6 m
- Velocidad de salida del gas desde la chimenea = 44 m/s
- Temperatura de salida del gas desde la chimenea = 140°C
- Temperatura ambiente a la salida de la chimenea = 17°C
- Presión atmosférica = 1013 mb (1 atm)
- Estabilidad atmosférica = C

### Solución

El modelo gaussiano es el siguiente:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[ \exp \left\{ -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2} \right\} + \exp \left\{ -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2} \right\} \right]$$

La concentración máxima ocurre a nivel del suelo, por lo tanto:

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[ \exp \left\{ -\frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right\} \right]$$

(2 punto)

Las desviaciones estándar con estabilidad atmosférica C se pueden ver en el gráfico (a 500 m = 0,5 km):  $\sigma_y = 50 \text{ m}$ ,  $\sigma_z = 30 \text{ m}$

(2 puntos)

Reemplazando, con los datos del enunciado:

$$11.8 \frac{\text{ug}}{\text{m}^3} = 11.8 * 10^{-9} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{0.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{3.14 * 2.2 * 50 * 30} \left[ \exp \left\{ -\frac{H^2}{2 * 30^2} \right\} \right]$$

$$H = 122.3 \text{ m}$$

(2 puntos)

Lo anterior corresponde al cálculo de la altura efectiva de la chimenea. Para poder calcular la altura física de la chimenea, debemos calcular la altura del penacho:

$$\Delta h = \frac{V_s \cdot d}{u} \left[ 1.5 + 0.00268P \cdot \frac{\Delta T \cdot d}{T_s} \right]$$

Reemplazando:

$$\Delta h = \frac{44 \cdot 1.6}{2.2} \left[ 1.5 + 0.00268 \cdot (1013) \cdot \frac{(413 - 290) \cdot 1.6}{413} \right] \quad \Delta h = 89.4 \text{ m}$$

(2 puntos)

Por lo tanto, la altura física de la chimenea es:

$$h = H - \Delta h \quad h = 122,3 \text{ m} - 89,4 \text{ m} \quad h = 32,9 \text{ m} \quad (2 \text{ puntos})$$

La chimenea debe tener una altura física de 27,7 m para cumplir con lo pedido.

4. (10 puntos) En relación a la normativa, legislación y proceso de evaluación ambiental en Chile, responda las siguientes preguntas.

- a) ¿Cuál es el propósito de los planes de prevención y descontaminación? ¿Cuándo se activa uno u otro? (2 puntos)

**Respuesta.** Plan de prevención: para evitar que los niveles de contaminación superen la norma. Se activan cuando algún parámetro sobrepasa el 80% del valor indicado en una norma de Calidad Ambiental.

Plan de descontaminación: su propósito es retornar a valores bajo el 80% de la norma. Se activan cuando algún parámetro sobrepasa el 100% del valor indicado en una norma de Calidad Ambiental

- b) ¿Cuál es la diferencia entre una norma de calidad y una de emisión? Sea específico en su respuesta (2 puntos)

**Respuesta.** Norma de calidad entrega las concentraciones de contaminantes máximas que puede haber en una componente ambiental (Aire, agua, suelo) para proteger la salud (primaria) y el medio ambiente (secundaria). La norma de emisión regula la cantidad máxima de un contaminante medida en el efluente, sin importar el nivel de contaminación en la componente ambiental.

- c) Mencione seis principios de la legislación ambiental chilena. (3 puntos)

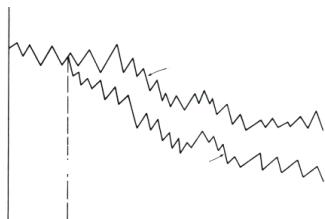
**Respuesta.** Prevención, El que contamina paga, Gradualidad, Responsabilidad, Participación, Descentralización

- d) ¿Cuál es la relevancia del Artículo 10 de la ley 19.300? (1 punto)

**Respuesta.** En este artículo se señalan los proyectos que deben someterse a Estudio de impacto ambiental.

- e) En la siguiente figura, ¿Qué se representa en el eje x y en el eje y respectivamente? (2 puntos)

**Respuesta.** Eje x: tiempo, eje y: Indicador ambiental.



### Fórmulas y constantes

Modelo Gaussiano:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y u} \left[ \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right]$$

Ascenso del penacho:

$$\Delta h = \frac{V_s d}{u} \left[ 1,5 + 0,00268 P \frac{(\Delta T)d}{T_s} \right] \quad \Delta h: \text{ascenso del penacho por sobre la chimenea, m}$$

V<sub>s</sub>: velocidad del gas a la salida de la chimenea, m/s

u: velocidad del viento, m/s

P: presión atmosférica, milibares

ΔT: temperatura del gas en la chimenea - temperatura ambiente, K

T<sub>s</sub>: temperatura del gas en la chimenea, K

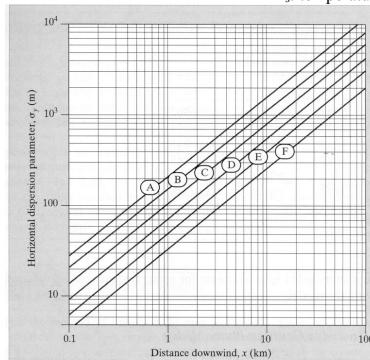


Figure 7.D.4 Horizontal dispersion parameters,  $\sigma_y$  (m), for atmospheric Gaussian plume modeling.

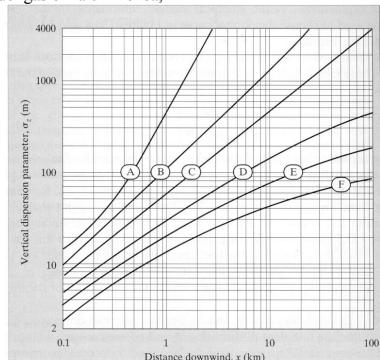


Figure 7.D.5 Vertical dispersion parameters,  $\sigma_z$  (m), for atmospheric Gaussian plume modeling.

Propiedades y constantes físico-químicas:

- Constante de Henry para CO<sub>2</sub> = 1,05 · 10<sup>3</sup> atm/mol
- Constante de Henry para CH<sub>4</sub> = 3,0 · 10<sup>4</sup> atm/mol
- Presión de vapor de agua a 15°C = 1,7051 kPa
- Pesos atómicos (g/mol): H=1, C=12, O=16, N=14, Ca=40, Mg=24,3 y Na=23
- 1 kPa = 760 mm Hg

### RUSLE

$$A \text{ [t/(ha · año)]} = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

$$\text{Erosividad de la lluvia [MJ · mm/(ha · h · año)]} = 0,048 \cdot P^{1,617}, P: \text{Precipitación}$$

$$\text{Erodabilidad [t · h/(MJ · mm)]} = \frac{2,1 \cdot 10^{-4} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - MO) + 3,25 \cdot (s - 2) + 2,5 \cdot (p - 3)}{100 \cdot 7,59}$$

$$M = (\% \text{ de limo} + \% \text{ de arena fina}) \cdot (100 - \% \text{ de arcilla})$$

$$MO = \% \text{ de materia orgánica}, s = \% \text{ de estructura}, p = \% \text{ de permeabilidad}$$

Unidades de conversión  
1 m = 3,28 pies  
1 ha = 10000 m<sup>2</sup>

Estructura	Índice de estructura
Muy fino granular	1
Fino granular	2
Medio o granular grueso	3
Bloque, laminar o masivo	4

Textura	Índice de textura
Arenoso	1
Franco arenoso	2
Areno franco	
Franco	3
Franco limoso	
Franco arcillo arenoso	4
Franco arcilloso	
Franco arcilloso limoso	5
Arcillo arenoso	
Arcillo limoso	6
Arcilloso	

Cultivo	Factor C
Grano de maíz	0,4
Ensilaje de maíz, frijoles y canola	0,5
Cereales	0,35
Cultivos hortícolas estacionales	0,5
Árboles frutales	0,1
Heno y pasto	0,02

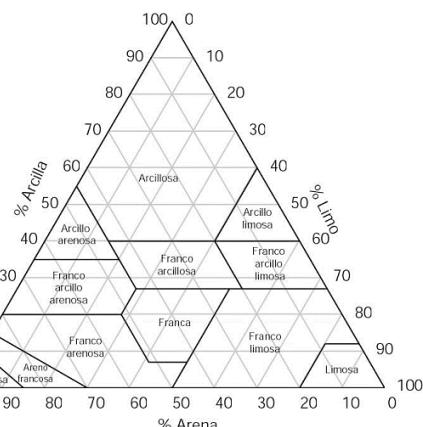


Table 4-11. LS Values for Freshly Prepared Construction and other Highly Disturbed Soil, with Little, or no Cover (Renard, et al. 1987)

Slope length in feet

Slope	<3	6	9	12	15	25	50	75	100	150	200	250	300	400	600	800	1000	
%																		
0.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
0.5	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	
1.0	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.13	0.14	0.15	0.17	0.18	0.19	0.20	0.22	0.24	0.26	0.27	
2.0	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.16	0.21	0.25	0.28	0.33	0.37	0.40	0.43	0.48	0.56	0.63	0.69	
3.0	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.21	0.30	0.36	0.41	0.50	0.57	0.64	0.69	0.80	0.96	1.10	1.23	
4.0	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.26	0.38	0.47	0.55	0.68	0.79	0.89	0.98	1.14	1.42	1.65	1.86	
5.0	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.31	0.46	0.58	0.68	0.86	1.02	1.16	1.28	1.51	1.91	2.25	2.55	
6.0	0.26	0.26	0.26	0.26	0.36	0.54	0.69	0.82	1.05	1.25	1.43	1.60	1.90	2.43	2.89	3.30		
8.0	0.32	0.32	0.32	0.32	0.45	0.70	0.91	1.10	1.43	1.72	1.99	2.24	2.70	3.52	4.24	4.91		
10.0	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40	0.57	0.91	1.20	1.46	1.92	2.34	2.72	3.09	3.75	4.95	6.03	7.02	
12.0	0.36	0.41	0.45	0.47	0.49	0.71	1.15	1.54	1.88	2.51	3.07	3.60	4.09	5.01	6.67	8.17	9.57	
14.0	0.38	0.45	0.51	0.55	0.58	0.85	1.40	1.87	2.31	3.09	3.81	4.48	5.11	6.30	8.45	10.40	12.23	
16.0	0.39	0.49	0.56	0.62	0.67	0.98	1.64	2.21	2.73	3.68	4.56	5.37	6.15	7.60	10.26	12.69	14.96	
20.0	0.41	0.56	0.67	0.76	0.84	1.24	2.10	2.86	3.57	4.85	6.04	7.16	8.23	10.24	13.94	17.35	20.57	
25.0	0.45	0.64	0.80	0.93	1.04	1.56	2.67	3.67	4.59	6.30	7.88	9.38	10.81	13.53	18.57	23.24	27.66	
30.0	0.48	0.72	0.91	1.08	1.24	1.86	3.22	4.44	5.58	7.70	9.67	11.55	13.35	16.77	23.14	29.07	34.71	
40.0	0.53	0.85	1.13	1.37	1.59	2.41	4.24	5.89	7.44	10.35	13.07	15.67	18.17	22.95	31.89	40.29	48.29	
50.0	0.58	0.97	1.31	1.62	1.91	2.91	5.16	7.20	9.13	12.75	16.16	19.42	22.57	28.60	39.95	50.63	60.84	
60.0	0.63	1.07	1.47	1.84	2.19	3.36	5.97	8.37	10.63	14.89	18.92	22.78	26.51	33.67	47.18	59.93	72.15	