

**EFFECTOS
DE LA
LLUVIA ÁCIDA
SOBRE
MINERALES
UTILIZADOS
EN
CONSTRUCCIÓN**

**A nuestro profesor orientador
jubilado de honor
Nos enseñaste a soñar
con un mundo mejor**

EFFECTOS DE LA LLUVIA ÁCIDA SOBRE MINERALES UTILIZADOS EN CONSTRUCCIÓN

SEPARATA

El objetivo de esta investigación es la comprobación de los efectos erosivos de la lluvia ácida (simulada en laboratorio con disoluciones de ácido sulfúrico) sobre minerales que se utilizan frecuentemente en construcción y si este efecto depende de la concentración del ácido en el agua de lluvia.

Los minerales sobre los que se midió el efecto erosivo de la lluvia ácida fueron granito, arenisca y yeso. Las concentraciones de ácido sulfúrico que se utilizaron fueron: nula (agua destilada), 3,92 g/l y 7,84 g/l.

Las hipótesis concretas que guiaron nuestra investigación fueron:

1. “La acción erosiva de la lluvia ácida aumenta al aumentar la concentración del ácido sulfúrico en el agua de lluvia, cualquiera que sea el mineral sobre el que actúa”.
2. “La acción erosiva de la lluvia ácida es distinta según el mineral sobre el que actúa, siendo menor en los granitos, intermedia en las areniscas y mayor en los yesos”.

Para cada una de las 9 situaciones experimentales (3 concentraciones x 3 tipos de mineral) se utilizaron buretas que dejaban caer, cada día, 50 ml de disolución ácida gota a gota sobre los 9 bloques pequeños de los minerales (aproximadamente todos con el mismo tamaño y forma) desde una altura de 4 cm.



La experiencia se repitió de lunes a jueves (4 días por semana) durante 7 semanas y se midió el peso de los bloques de mineral, con balanza electrónica, antes de comenzar y cada lunes (el mineral estaría seco) de cada una de las 7 semanas. Se comprobó así la disminución de peso de los minerales por la acción de la lluvia ácida.

Los pesos en gramos obtenidos de los 9 bloques de mineral (3 de granito, 3 de arenisca y 3 de yeso) en las 8 medidas de los lunes de cada semana fueron los siguientes:

Sema	Gran 0	Gran 3,92	Gran 7,84	Aren 0	Aren 3,92	Aren 7,84	Yeso 0	Yeso 3,92	Yeso 7,84
0	59,8	59,9	40,6	40,6	40,3	57,5	36,4	39,7	41
1	59,8	59,9	40,6	40,6	40,3	57,5	36,4	39,7	40,9
2	59,8	59,9	40,6	40,6	40,3	57,5	36,3	39,6	40,7
3	59,8	59,9	40,6	40,6	40,3	57,5	36,3	39,4	40,4
4	59,8	59,9	40,6	40,6	40,3	57,5	36,1	39,2	40,1
5	59,8	59,9	40,6	40,6	40,3	57,5	36	39	39,8
6	59,8	59,9	40,6	40,6	40,3	57,4	35,9	38,9	39,5
7	59,8	59,9	40,6	40,6	40,3	57,3	35,8	38,5	39,2

Se introdujeron los datos en Excel para realizar los cálculos necesarios y se valoraron los resultados obtenidos que, para las condiciones experimentales de nuestra investigación, se resumen a continuación:

1) RESUMEN VALORACIÓN DE HIPÓTESIS 1:

- La acción erosiva sobre el granito de la lluvia ácida para cualquiera de las concentraciones de sulfúrico es nula.
- La acción erosiva sobre la arenisca de la lluvia ácida es nula para concentraciones cero y media y casi inapreciable para la concentración más alta.
- La acción erosiva sobre el yeso de la lluvia ácida aumenta al aumentar la concentración de la disolución de ácido sulfúrico.

2) RESUMEN VALORACIÓN DE HIPÓTESIS 2:

- En el granito no se aprecia acción erosiva alguna, en la arenisca la acción erosiva es casi inapreciable y en el yeso la acción erosiva es significativa.

EFECTOS DE LA LLUVIA ÁCIDA SOBRE MINERALES UTILIZADOS EN
CONSTRUCCIÓN**ÍNDICE**

Introducción.	05
Formulación de hipótesis y definición de variables.	07
Diseño y realización del experimento.	09
Datos experimentales.	13
Cálculos y valoraciones.	14
Dedicatoria.	23

EFFECTOS DE LA LLUVIA ÁCIDA SOBRE MINERALES UTILIZADOS EN CONSTRUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En nuestro centro educativo hay un profesor que dirige trabajos de investigación siguiendo el método científico y pasó por nuestra clase proponiéndonos la participación en esa actividad. Nos dijo que confiaba en nuestra capacidad creativa y que si queríamos participar debíamos presentar un proyecto de investigación que fuera realizable y lo más original posible. Nos dio más de un mes para pensar y darle vueltas a nuestra idea investigadora y 1 o 2 veces por semana se pasaba, a la hora del recreo, por nuestra clase para discutir y concretar nuestro proyecto de investigación. Al principio nuestra propuesta era muy general pero poco a poco se fue concretando.

La idea general surge de 2 hechos que sucedieron en nuestra aula. Por un lado, en clase de Ciencias Naturales, habíamos estudiado los efectos de la lluvia ácida. Por otro lado, un día al profesor (que nos estaba enseñando sustancias ácidas, básicas y neutras y sus efectos sobre papel indicador) se le cayó del cuentagotas al suelo una gota de sustancia ácida (era ácido sulfúrico) y rápidamente cogió un papel absorbente y agua para limpiarla, porque como era un ácido podía atacar a los materiales de la baldosa y dejar marca para siempre. ¡Bravo, ya tenemos la idea! Nuestra investigación trataría de los efectos de la lluvia ácida sobre los materiales de construcción como la baldosa. Intentaríamos averiguar el efecto de la lluvia ácida sobre elementos de construcción que se utilizan frecuentemente en edificios importantes de nuestra ciudad.

La idea general se concretó en la acción erosiva de distintas concentraciones de ácido sulfúrico (simulando la lluvia ácida) sobre 3 minerales de nuestro entorno que se utilizan en construcción:

- el granito: formado por cuarzo, feldespato y mica, casi impermeable, y el ácido podría atacar especialmente al feldespato, pero que en cualquier caso es un material superresistente a la erosión,
- la arenisca de sílice: formada por granos de sílice unidos por un cemento, algo más permeables que el granito, y el ácido podría atacar al cemento que une los granos de sílice tanto en el exterior como en el interior destruyendo el mineral,

- el yeso: está formado fundamentalmente por sulfato de calcio y absorbe fácilmente el agua, por lo que el ácido sulfúrico podría disolver el mineral ya que el sulfato de calcio es bastante soluble en agua y en disolución de ácido sulfúrico.

A continuación, si queremos que nuestra investigación tenga categoría de científica, había que seguir rigurosamente los pasos del método científico que nos ha explicado el profesor y que son:

- Tener una idea: se ha expuesto en los párrafos anteriores.
- Formulación de hipótesis y definición de variables: las hipótesis son razonamientos en donde se concretan las ideas para convertirlas en realidades verificables y con variables medibles.
- Diseño y realización del experimento: el experimento son las acciones de laboratorio con las que se pretende verificar si se cumplen o no las hipótesis.
- Cálculos y valoración de los resultados: del experimento saldrán unos datos con los que haremos los cálculos adecuados y valoraremos si se cumplen o no las hipótesis.

Todos estos pasos, aplicados a nuestra investigación, los exponemos en los siguientes apartados.

FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS Y DEFINICIÓN DE VARIABLES

Las **hipótesis** que van a dirigir nuestra investigación son las siguientes:

HIPÓTESIS 1:

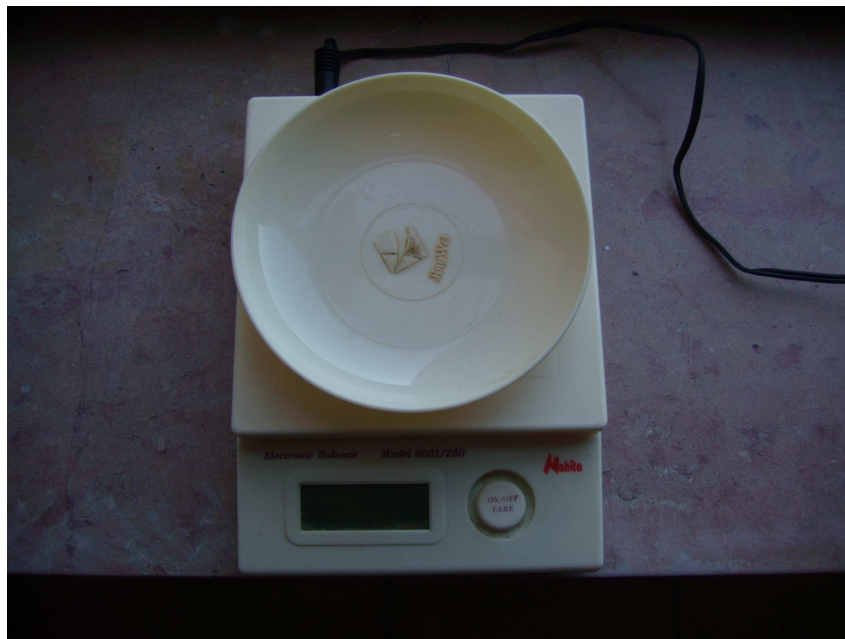
“La acción erosiva de la lluvia ácida aumenta al aumentar la concentración del ácido sulfúrico en el agua de lluvia, cualquiera que sea el mineral sobre el que actúa”.

HIPÓTESIS 2:

“La acción erosiva de la lluvia ácida es distinta según el mineral sobre el que actúa, siendo menor en los granitos, intermedia en las areniscas y mayor en los yesos”.

Las **variables** que vamos a medir para comprobar las hipótesis son las siguientes:

- **Acción erosiva de la lluvia ácida:** se medirá la disminución de peso de los minerales simulando en laboratorio la acción de la lluvia ácida. Utilizaremos para la medida una balanza electrónica con una sensibilidad de hasta décimas de gramo



- **Concentración de ácido sulfúrico en el agua de lluvia:** 3 son las concentraciones de ácido que utilizamos en la simulación de la lluvia ácida:
 1. Agua destilada (semejante al agua de lluvia natural) sin nada de sulfúrico.
 2. Preparación de 500 ml de una disolución que contenía 40 ml de ácido sulfúrico 0,5 molar, es decir, una concentración de 3,92 gramos del ácido por litro.
 3. Preparación de 500 ml de una disolución que contenía 80 ml de ácido sulfúrico 0,5 molar, es decir, una concentración de 7,84 gramos del ácido por litro.



- **Distintos tipos de minerales:** 3 tipos, granito, arenisca y yeso, recogidos en el entorno de nuestro centro escolar.

DISEÑO Y REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

En primer lugar hubo que recoger las muestras de mineral sobre las que íbamos a simular la lluvia ácida. En las orillas del río que pasa cerca de nuestro centro escolar pudimos recoger granito y arenisca porque se encuentra en abundancia en las orillas como defensa para las crecidas. En una excursión por el valle del río, pero algo alejado de la orilla, recogimos yeso cristalizado, producto de los depósitos que dejó el mar que inundaba hace mucho tiempo el valle del río. Se eligieron estos minerales porque se utilizan frecuentemente en construcciones de edificios importantes de nuestra ciudad y queríamos averiguar el efecto que la lluvia ácida podía tener sobre ellos.



Recogimos 3 grandes piezas de cada uno de los minerales que luego hubo que trocear. De cada pieza grande de cada mineral había que obtener 3 pequeños bloques. Los 3 bloques pequeños procederían de la misma pieza, por lo que nos asegurábamos el mismo tipo de composición y cristalización. También debían tener, en principio, el mismo tamaño y forma. Pensamos en llevarlos a una empresa de albañilería para que nos la trocearan pero el padre de uno de nosotros se ofreció para hacerlo. Así conseguimos los 3 bloques pequeños sobre los que haríamos la simulación de la lluvia ácida. El diseño experimental riguroso exigía que los 3 bloques pequeños de cada mineral tuvieran el mismo peso y la misma superficie exterior para que la posible acción erosiva no dependiera del tamaño y forma del mineral. No lo conseguimos con total exactitud, pero si de forma aproximada, y pensamos que el efecto de la pequeña diferencia en el tamaño y forma de los bloques no afectaría sustancialmente a los

resultados experimentales. Así obtuvimos los 9 bloques pequeños, 3 de granito, 3 de arenisca y 3 de yeso sobre los que mediríamos la acción erosiva de la lluvia ácida:



El siguiente paso fue determinar el procedimiento de simulación de la lluvia ácida. Pensamos que las concentraciones de ácido sulfúrico a utilizar eran fundamentales para poder medir adecuadamente la acción erosiva de la lluvia ácida, porque si la concentración era muy pequeña podía no apreciarse la acción erosiva del ácido suficientemente. Tampoco debía ser demasiado elevada porque entonces tampoco sería una buena simulación de la lluvia ácida natural. Por ello realizamos previamente una prueba piloto con disoluciones que contenían nada de ácido, 20 ml de sulfúrico 0,5 molar en 500 ml y 40 ml de sulfúrico 0,5 molar en 500 ml. Durante varios días comprobamos que el efecto erosivo era excesivamente pequeño con estas concentraciones por lo que decidimos aumentar la concentración del ácido al doble, es decir, nada de ácido, 40 ml y 80 ml de ácido 0,5 molar en 500 ml de disolución.

Dispuestos los 9 bloques pequeños de mineral y preparadas las 3 disoluciones de distinta concentración pasamos a montar el dispositivo experimental que consistió en lo siguiente:

- Las disoluciones caen sobre los minerales gota a gota (aproximadamente una gota por segundo) desde buretas instadas a tal efecto.

- La altura desde el estrechamiento de la probeta hasta el mineral es de 4 cm en todos los casos (es decir, el impacto sobre las 9 piezas de mineral de las gotas es el mismo en todos los casos).
- El mineral se encuentra colocado sobre un vaso de precipitados pequeño bocabajo, que a su vez está dentro de un recipiente mas grande de tal forma que cuando la disolución gotea sobre el mineral el líquido resbala sobre el mineral y sobre el vaso pequeño y se recoge en el recipiente más grande.
- Las buretas se llenan hasta enrasar, es decir, con 50 ml de disolución.
- Cada día de lunes a jueves se realiza una simulación añadiendo el contenido de una bureta completa.
- Se deja el viernes y el fin de semana para que el mineral se seque de forma natural (se pretende que la posible humedad presente en el mineral no afecte a los resultados experimentales).
- Cada lunes antes de realizar la simulación se pesan los 9 bloques pequeños de mineral seco para comprobar la posible pérdida de peso por la acción erosiva.
- Se tomó medida de pesos de los bloques de mineral antes de comenzar el experimento y durante 7 semanas de experimentación.





DATOS EXPERIMENTALES

Los datos de peso en gramos de los minerales obtenidos cada semana y para las distintas concentraciones de ácido en la “lluvia ácida” son los siguientes:

Para los granitos:

Semana	Granito 0	Granito 40	Granito 80
0	59,8	59,9	40,6
1	59,8	59,9	40,6
2	59,8	59,9	40,6
3	59,8	59,9	40,6
4	59,8	59,9	40,6
5	59,8	59,9	40,6
6	59,8	59,9	40,6
7	59,8	59,9	40,6

Para las areniscas:

Semana	Arenisca 0	Arenisca 40	Arenisca 80
0	40,6	40,3	57,5
1	40,6	40,3	57,5
2	40,6	40,3	57,5
3	40,6	40,3	57,5
4	40,6	40,3	57,5
5	40,6	40,3	57,5
6	40,6	40,3	57,4
7	40,6	40,3	57,3

Para los yesos:

Semana	Yeso 0	Yeso 40	Yeso 80
0	36,4	39,7	41
1	36,4	39,7	40,9
2	36,3	39,6	40,7
3	36,3	39,4	40,4
4	36,1	39,2	40,1
5	36	39	39,8
6	35,9	38,9	39,5
7	35,8	38,5	39,2

Con estos datos realizaremos los cálculos necesarios para comprobar si se verifican o no las hipótesis.

CÁLCULOS Y VALORACIONES

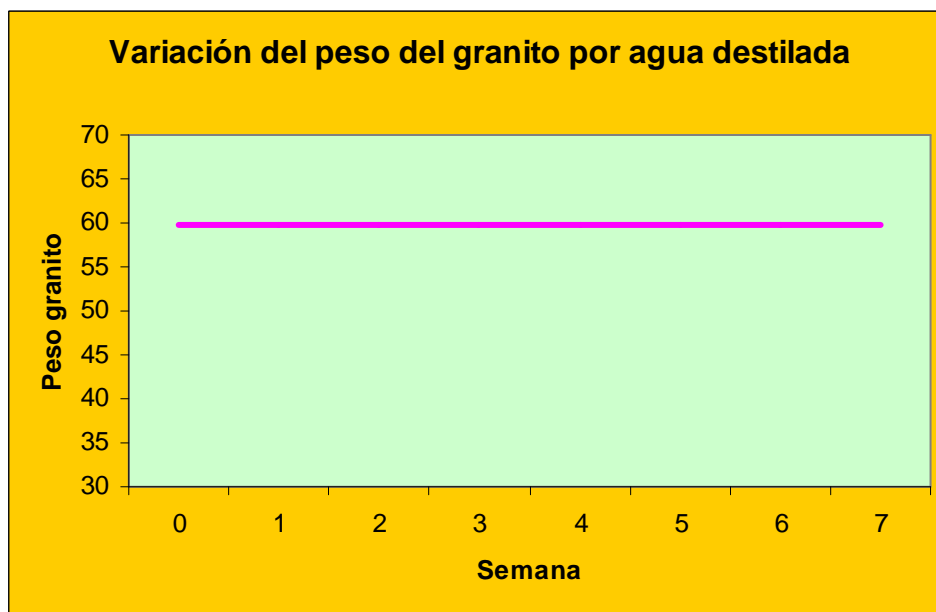
HIPÓTESIS 1:

“La acción erosiva de la lluvia ácida aumenta al aumentar la concentración del ácido sulfúrico en el agua de lluvia, cualquiera que sea el mineral sobre el que actúa”.

1) Para los granitos:

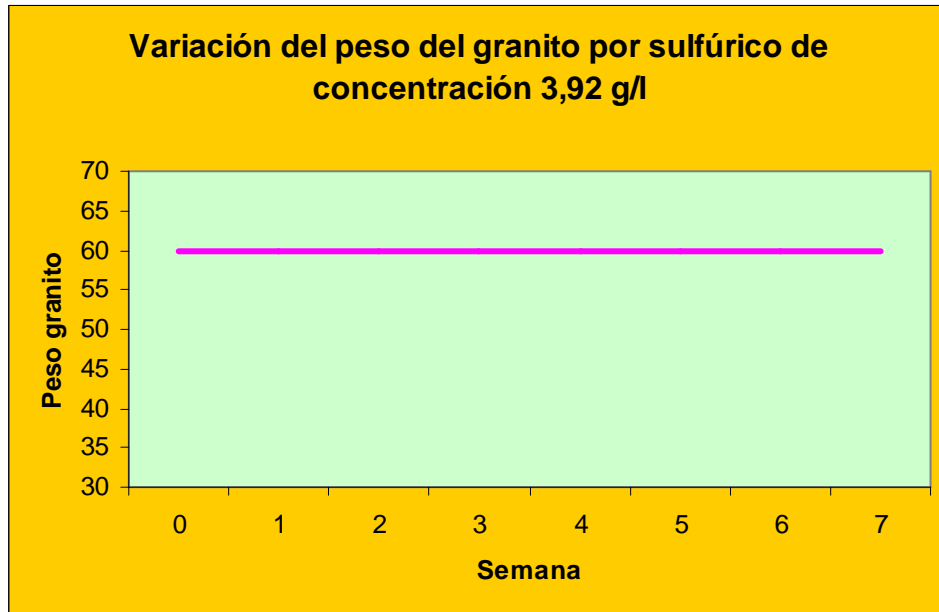
Representamos los datos de peso obtenidos cada semana

a) Lluvia ácida de concentración en sulfúrico nula:



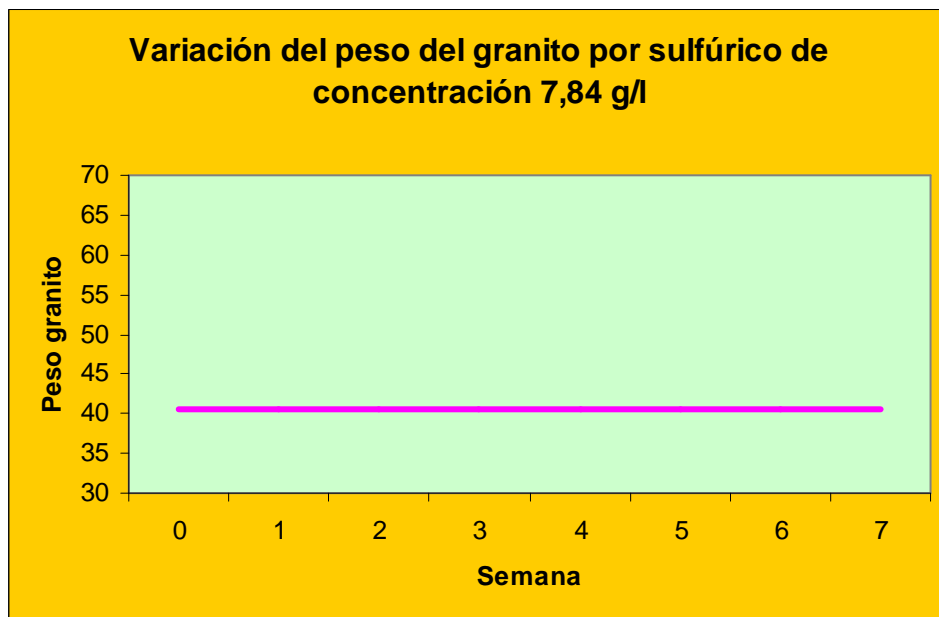
No se observa variación de peso

b) Lluvia ácida de concentración en sulfúrico 3,92 gramos de ácido por litro:



No se observa variación de peso.

c) Lluvia ácida de concentración en sulfúrico 7,84 gramos del ácido por litro:



No se observa variación de peso.

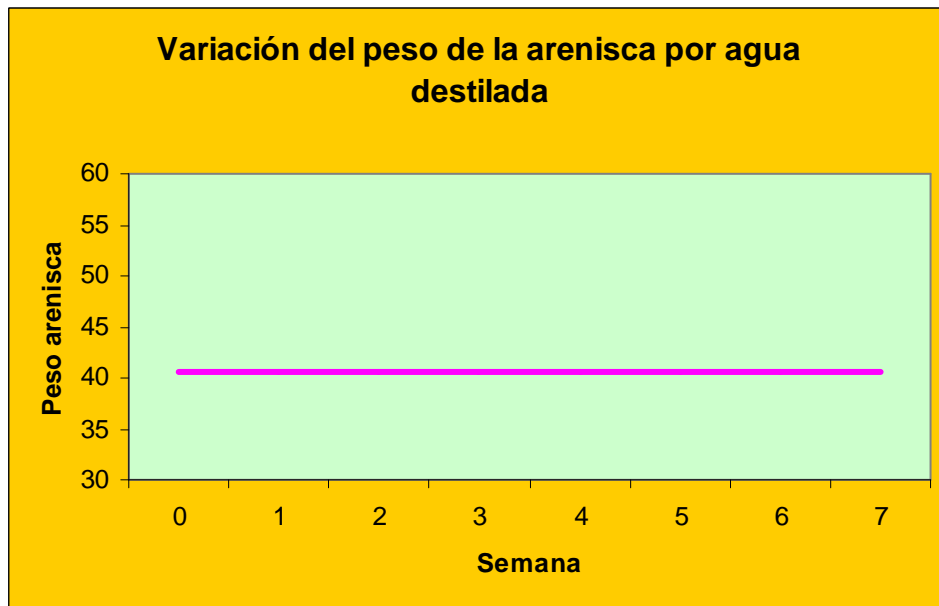
En ninguno de los 3 casos de lluvia ácida se produce variación del peso del mineral.

Conclusión: para los granitos no se cumple la hipótesis 1, **la acción erosiva sobre el granito de la lluvia ácida para cualquiera de las concentraciones de sulfúrico es nula.**

2) Para las areniscas:

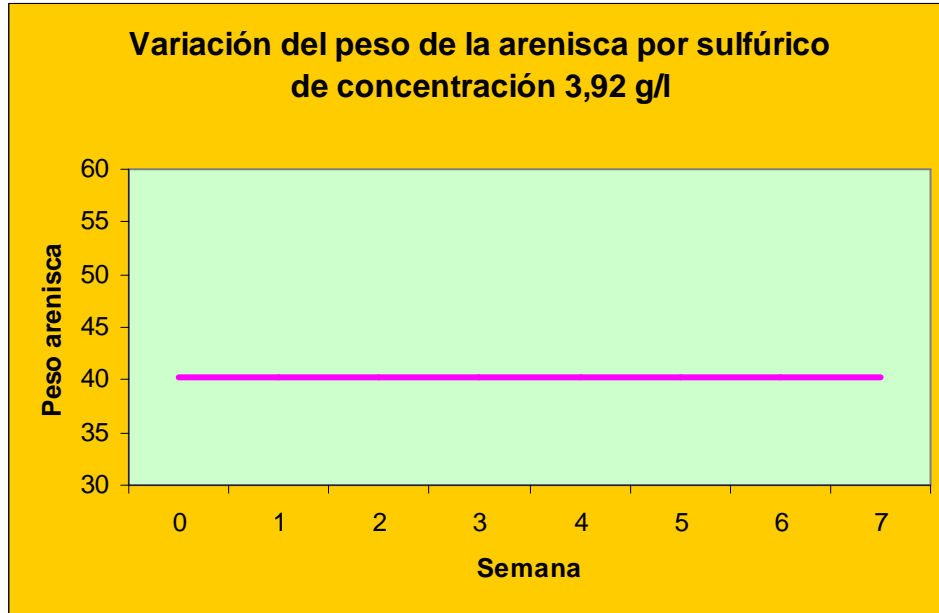
Representamos los datos de peso obtenidos cada semana

a) Lluvia ácida de concentración en sulfúrico nula:



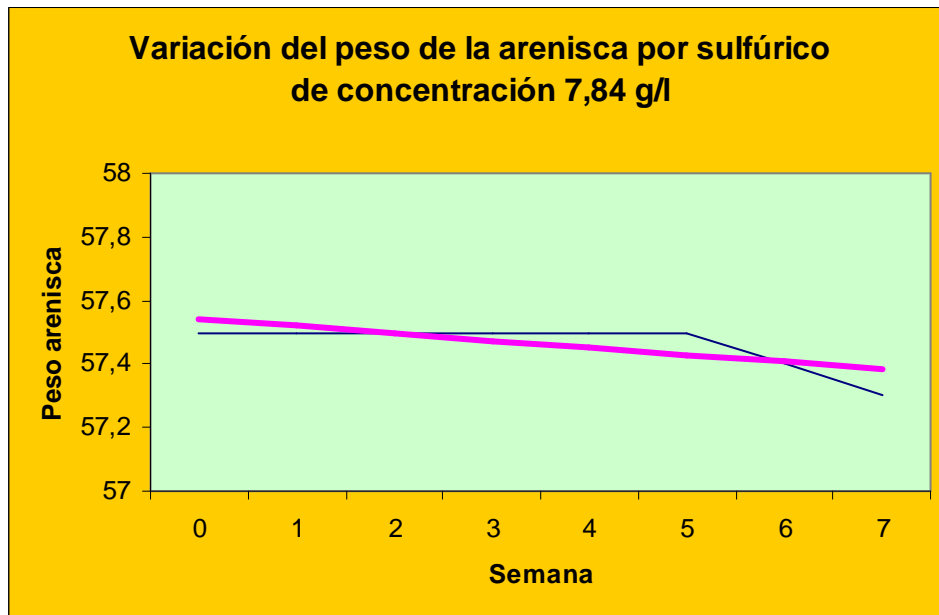
No se observa variación de peso

b) Lluvia ácida de concentración en sulfúrico 3,92 gramos de ácido por litro:



No se observa variación de peso

c) Lluvia ácida de concentración en sulfúrico 7,84 gramos del ácido por litro:



Sólo existe una mínima pérdida de peso en las semanas 6 y 7 obteniéndose una recta de regresión de ecuación:

$$\text{PESO ARENISCA} = -0,02261905 \cdot \text{N}^{\circ}\text{SEMANA} + 57,5416667$$

es decir, que, por término medio, cada semana, el peso desciende tan solo en 0,02262 gramos, poco mas de 2 centésimas de gramo (más bajo que la propia sensibilidad de nuestra balanza).

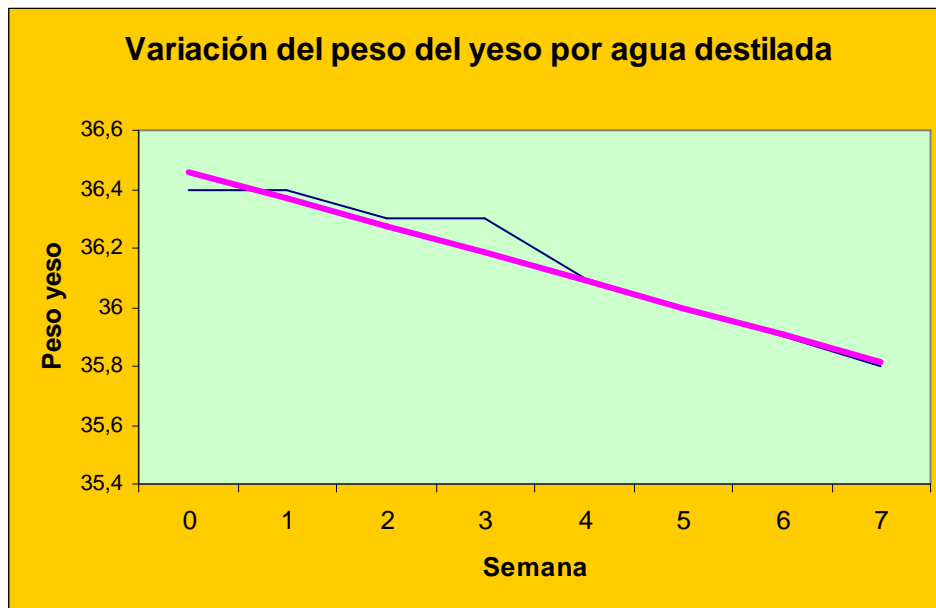
Con agua destilada y con concentración media en sulfúrico no se percibe variación de peso y tan sólo una mínima disminución con la máxima concentración pero poco significativa.

Conclusión: para las areniscas no se cumple la hipótesis 1, **la acción erosiva sobre la arenisca de la lluvia ácida es nula para concentraciones cero y media y casi inapreciable para la concentración más alta.**

3) Para los yesos:

Representamos los datos de peso obtenidos cada semana

a) Lluvia ácida de concentración en sulfúrico nula:

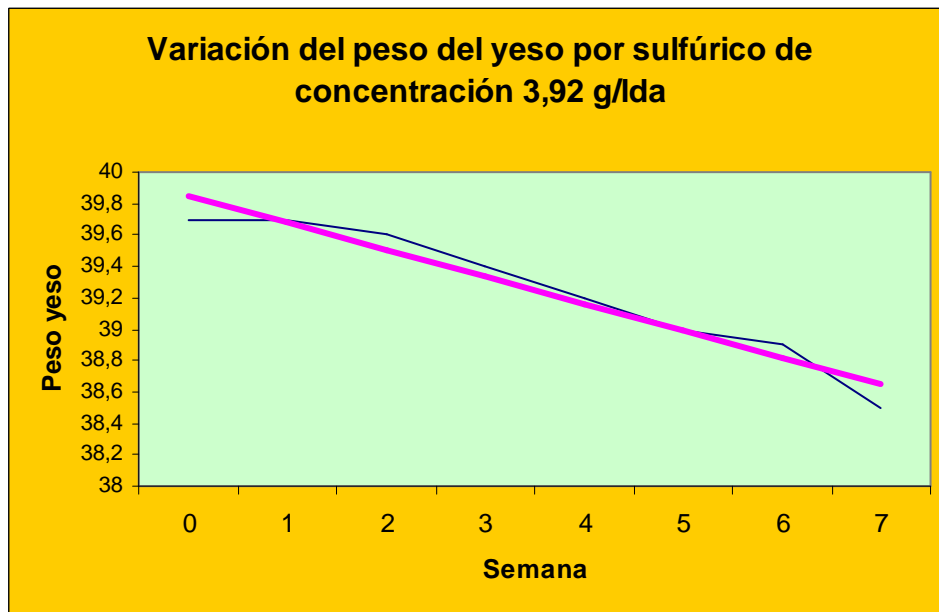


Se obtiene una recta de regresión de ecuación:

$$\text{PESO YESO} = -0,09166667 \cdot \text{N}^\circ \text{SEMANA} + 36,4583333$$

es decir, que, por término medio, cada semana, el peso desciende en 0,091667 gramos, casi una décima de gramo (cercano a la sensibilidad de nuestra balanza).

b) Lluvia ácida de concentración en sulfúrico 3,92 gramos de ácido por litro:

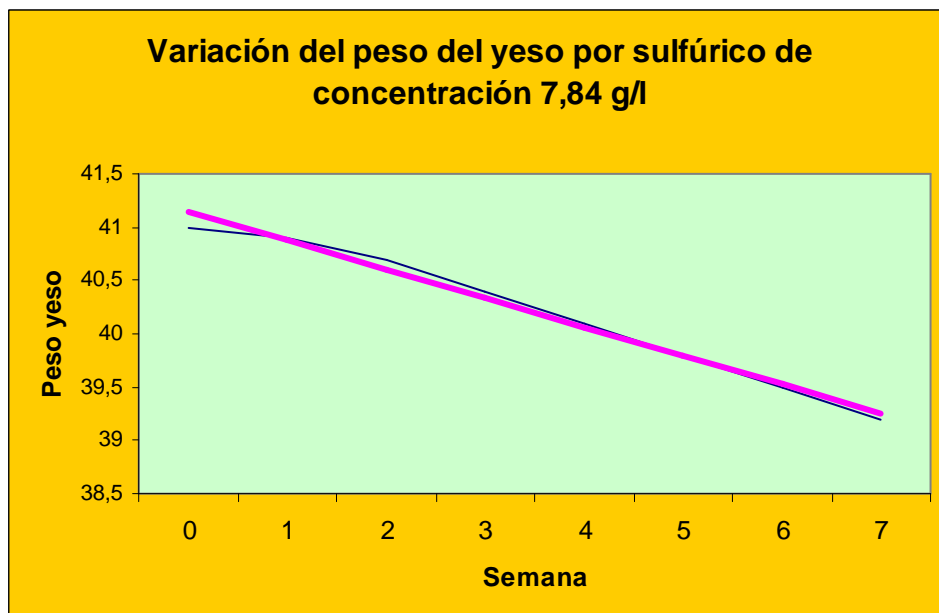


Se obtiene una recta de regresión de ecuación:

$$\text{PESO YESO} = -0,17142857 \cdot \text{N}^{\circ}\text{SEMANA} + 39,85$$

es decir, por término medio, cada semana, el peso desciende en 0,17142857 gramos, cercano a 2 décimas de gramo (superior a la sensibilidad de nuestra balanza).

c) Lluvia ácida de concentración en sulfúrico 7,84 gramos del ácido por litro:



Se obtiene una recta de regresión de ecuación:

$$\text{PESO YESO} = -0,26904762 \cdot \text{N}^{\circ}\text{SEMANA} + 41,1416667$$

es decir, por término medio, cada semana, el peso desciende en 0,26904762 gramos, superior a 2 décimas de gramo (claramente superior a la sensibilidad de nuestra balanza).

Si recogemos las disminuciones medias semanales del peso para las distintas concentraciones del ácido sulfúrico en la lluvia tenemos los siguientes datos:

Concentración en g/l	Disminución de peso/semana
0	0,09166667
3,92	0,17142857
7,84	0,26904762

y realizamos un análisis de regresión, obtenemos el siguiente resultado:

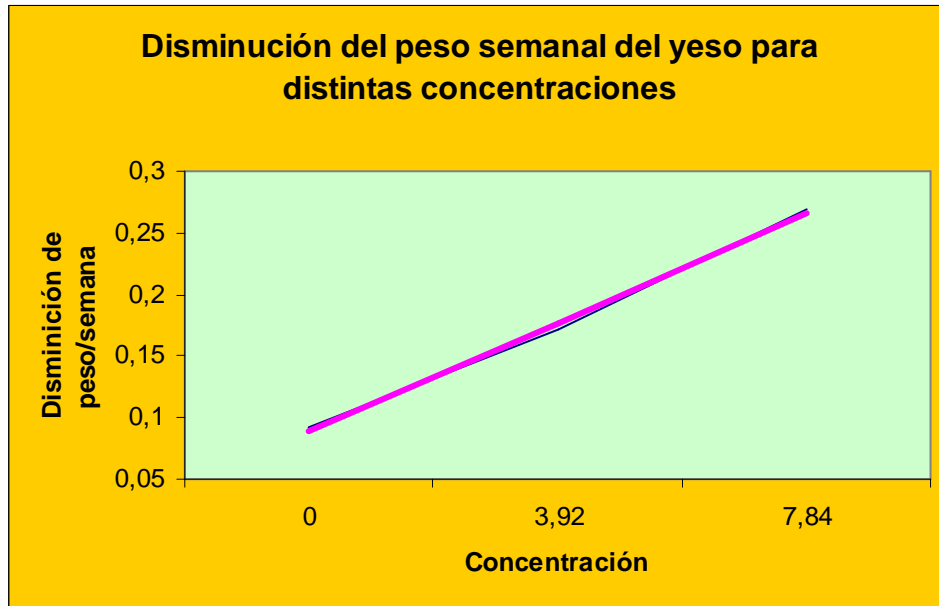
ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN: CONCENTRACIÓN-DISMINUCIÓN DE PESO						
Coefficiente de correlación múltiple	0,998315155					
Coefficiente de determinación R ²	0,996633148					
R ² ajustado	0,993266296					
Error típico	0,007290148					
Observaciones	3					
ANÁLISIS DE VARIANZA						
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	
Regresión	1	0,015732001	0,015732001	296,0133333	0,036960357	
Residuos	1	5,31463E-05	5,31463E-05			
Total	2	0,015785147				
REGRESIÓN						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,088690476	0,006654964	13,32696515	0,047679947	0,004131501	0,173249452
Concentración	0,088690476	0,005154913	17,20503802	0,036960357	0,023191375	0,154189577

Vemos que la ecuación de regresión que se obtiene es:

$$\text{DISMINUCIÓN DE PESO SEMANAL} = 0,088690476 \cdot \text{CONCENTRACION} + 0,088690476$$

lo que significa que por cada gramo/litro que aumenta la concentración del ácido la acción erosiva de la lluvia ácida hace disminuir el peso semanal del bloque de yeso en 0,088690476 gramos. Además la relación entre ambas variables es significativa ya que podemos afirmarla con un error estadístico de tan solo el 3,69%.

En la siguiente gráfica puede apreciarse la relación entre las 2 variables:



Conclusión: para los yesos se cumple la hipótesis 1, **la acción erosiva sobre el yeso de la lluvia ácida aumenta al aumentar la concentración de la disolución de ácido sulfúrico.**

RESUMIENDO VALORACIÓN DE HIPÓTESIS 1:

- **La acción erosiva sobre el granito de la lluvia ácida para cualquiera de las concentraciones de sulfúrico es nula.**
- **La acción erosiva sobre la arenisca de la lluvia ácida es nula para concentraciones cero y media y casi inapreciable para la concentración más alta.**
- **La acción erosiva sobre el yeso de la lluvia ácida aumenta al aumentar la concentración de la disolución de ácido sulfúrico.**

HIPÓTESIS 2:

“La acción erosiva de la lluvia ácida es distinta según el mineral sobre el que actúa, siendo menor en los granitos, intermedia en las areniscas y mayor en los yesos”.

Calculamos la disminución total de peso promedio en cada uno de los minerales independientemente de la concentración de la lluvia ácida. En la tabla siguiente pueden verse los promedios obtenidos:

MINERAL	CONCENTRACIÓN 0	CONCENTRACIÓN 3,92 G/L	CONCENTRACIÓN 3,92 G/L	PROMEDIO
Granito	59,8-59,8 = 0	59,9-59,9 = 0	40,6-40,6 = 0	$0/3 = 0 \text{ g}$
Arenisca	40,6-40,6 = 0	40,3-40,3 = 0	57,5-57,3 = 0,2	$0,2/3 = 0,0667 \text{ g}$
Yeso	36,4-35,8 = 0,6	39,7-38,5 = 1,2	41-39,2 = 1,8	$3,6/3 = 1,2 \text{ g}$

En la gráfica siguiente pueden verse los datos promedios de la tabla para cada mineral:



Como puede apreciarse la disminución de peso total por la acción erosiva en el granito es nula, casi inapreciable en la arenisca y significativa en el yeso.

RESUMIENDO VALORACIÓN DE HIPÓTESIS 2:

- La hipótesis 2 sólo se confirma en parte, **en el granito no se aprecia acción erosiva alguna, en la arenisca la acción erosiva es casi inapreciable y en el yeso la acción erosiva es significativa.**

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de investigación a nuestro profesor orientador que ya se jubila y no va a darnos más clases. Una pena porque sus clases eran amenas y divertidas. Pero sobre todo lo recordaremos porque sus enseñanzas han ido más allá de los conceptos propios de su asignatura.

Entre otras cosas nos decía que no bastaba que estudiáramos para adquirir una cultura personal y conseguir un trabajo con el que ganarnos la vida, debíamos estudiar también para obtener conocimientos que nos sirvieran de base para, a partir de ellos, crear nuevos conocimientos. Nos estaba diciendo que podíamos dedicarnos a la investigación para así poder mejorar el mundo y la sociedad. Él lo llamaba “aprender a soñar” con un mundo mejor. Seguramente por eso le gustaba tanto enseñarnos a investigar y nos decía, un poco en broma, que debíamos acostarnos con la investigación (pensando en ella, se entiende).

También comentaba algunas veces que en la sociedad futura que nos tocaría vivir, la investigación y el descubrimiento de nuevos conocimientos iba a ser el fundamento del desarrollo. Pero que no bastaba con descubrir esos nuevos conocimientos, había que saber distribuirlos para que se beneficiara de ellos todo el mundo y no sólo unos pocos. Nos estaba hablando de que también debíamos comprometernos con la justicia social, que también es una forma de desarrollo.

También nos decía que, aunque él era profesor de ciencias, también existía otra faceta del conocimiento y que es todo lo que tiene que ver con el arte y la belleza, como la música, la pintura o la buena literatura y que no debíamos descuidarla, porque una formación integral es lo mejor que nos podía ocurrir.

También nos impulsaba a descubrir en nosotros aquello para lo que valemos especialmente y para lo que estaríamos dispuestos a poner esfuerzo y pasión en ello, porque sólo así conseguiríamos ser felices con nuestro trabajo. Decía que todos valemos para algo, hasta los que tienen más dificultades con el aprendizaje.

Y con esta investigación también nos ha enseñado a trabajar en equipo, a ser riguroso en los planteamientos, en los cálculos y en las valoraciones, a redactar el

informe experimental con un lenguaje sencillo pero suficientemente informativo, a realizar cálculos con Excel, a discutir productivamente, a.....

**Por todo eso y por muchas cosas más.....
MUCHAS GRACIAS**