
Factores que afectan el ritmo de vaporización del agua

Exploración

Diariamente interactuamos con el agua, lo que hace que la veamos como algo tan ordinario y simple, y no nos damos cuenta que es uno de los compuestos más importantes para nuestra existencia. Sin ella la vida sería imposible, aproximadamente el 75% de la superficie del planeta tierra está cubierta por agua y también, alrededor del 60% al 75% de nuestra masa corporal está dada por el agua (Swimtonic, 2018).

Debido a su estructura molecular, tiene propiedades únicas y de vital importancia. Gracias a ellas el agua es considerada como uno de los mejores solventes, esto se debe a la polaridad de sus moléculas que le permiten disolver tanto compuestos iónicos como otras moléculas polares.

Otra propiedad de gran importancia son los enlaces hidrogenados, los cuales almacenan energía calorífica y provocan la capilaridad (las fuerzas cohesivas y adhesivas) que permiten al agua incluso moverse en contra de la fuerza de la gravedad. [Estos enlaces de hidrógeno también son los responsables de que el calor específico del agua y su calor de vaporización sean tan elevados](#) en comparación a los demás compuestos pues hacen que la interacción molecular sea fuerte y, por lo tanto, se requieren mayores cantidades de energía para romper estos enlaces y aumentar su temperatura (Azcona, 2012).



Ilustración 1: Destilación (Titov, S.f)

Me ha llamado mucho la atención que en la industria, [el alto calor de vaporización del agua es de gran importancia](#) pues permite la [destilación](#) (Ilustración 1) que es el proceso de separar los componentes o sustancias de una mezcla líquida mediante el uso de la [ebullición selectiva](#) y la [condensación](#) (Wikipedia, 2020). Esto sirve para producir perfumes, bebidas alcohólicas, agua destilada, purificar el etanol, desalinizar el agua del mar, obtener ácido acético (vinagre), etc...

El agua se evapora a 100°C bajo 1atm de presión. [Para que el agua se evapore, las moléculas deben ganar energía cinética para romper los enlaces de hidrógeno y vibrar más para así](#)

romper la tensión superficial e incorporarse a la atmósfera en estado gaseoso. Varios son los factores que pueden afectar la evaporación del agua, entre ellos: la energía solar, el calor, la humedad, la presión, las impurezas y el área superficial.

Debido a esto, me he llegado a preguntar **¿Cómo el área de la superficie del agua afecta su ritmo de vaporización?**

La hipótesis planteada es: **mientras el área de la superficie del agua sea mayor, más moléculas podrán ganar energía y se evaporarán con mayor rapidez. Por lo tanto, el ritmo de vaporización del agua será directamente proporcional al área de la superficie.**

Variables

- **Variable independiente:**
Área de la superficie del agua "A" (cm^2)
**Es el área transversal de los recipientes utilizados.
- **Variable dependiente:**
Ritmo de vaporización del agua "V" (ml/s)
**Se midió indirectamente a partir del volumen de agua evaporada "C" (ml) y el tiempo.
- **Variables controladas:**
Volumen inicial del agua.
Presión atmosférica.
Tasa de calor.
Tiempo de vaporización.

Control de Variables

- **Variable independiente**
Se utilizaron 6 recipientes con tamaños distintos. Se empleó una regla milimetrada para medir su diámetro y con ellos se encontraron las áreas de la superficie de cada recipiente. Todos son del mismo material y tienen el mismo grosor.
- **Variable dependiente**
Únicamente el vapor generado tras la ebullición de agua en 180 segundos se recolecta y se condensa. El vapor condensado (agua líquida) se deposita en una probeta con la cual se mide su volumen en ml, ese volumen se divide por el tiempo y con ello se obtiene el ritmo de vaporización.

- **Variables controladas**

El volumen inicial del agua siempre fue el mismo en todos los recipientes, este fue de 400 ml medidos con la probeta ya mencionada. Para evitar pérdida de vapor al ambiente, los recipientes, durante el tiempo de ebullición del agua, siempre estuvieron sellados con una tapadera que tenía una única salida con la cual todo el vapor fue dirigido hacia el área de condensación. Esta tapadera también ayuda a minimizar los efectos de la presión atmosférica y, adicionalmente, todas las mediciones se realizaron el mismo día para evitar que las variaciones en la presión y en la temperatura ambiental no afectaran los resultados. El calor fue suministrado a la misma tasa en todas las mediciones, la potencia se ajustó a la mínima ofrecida por la estufa. El vapor recolectado siempre fue el vapor generado durante los 180s desde que el agua alcanzara su punto de ebullición, el tiempo fue medido con el cronómetro de un celular que mide hasta centisegundos. El punto de ebullición del agua fue medido previamente con un termómetro de mercurio, este fue de 94°C. Para evitar que las impurezas afecten los resultados, el agua se extrajo de un filtro purificador.

Materiales

Seis recipientes de forma cilíndrica del mismo material resistentes al calor con distinto diámetro. Una manguera de hule de 1m de longitud y 3 cm de diámetro. Una estufa con la cual se calentó el agua. Termómetro con capacidad de medir hasta 150°C. Hielera de poliestireno. Tapa de aluminio de 9 cm de radio. Cronómetro. Hielo y agua líquida. Por seguridad, guantes aislantes.

Diseño

A la tapa de aluminio se le realizaron 2 agujeros uno de 3cm de diámetro y el otro de 0.1cm (Ilustración 2). Al agujero más grande se conectó la manguera y al más pequeño el termómetro (Ilustración 3), estos fueron pegados con silicón en las dos caras de la tapa para asegurarlos y para evitar que el vapor se escape por las orillas.

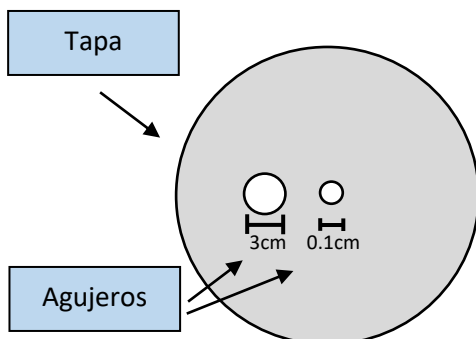


Ilustración 2: Vista de planta de la tapa. Elaborada por el autor de esta investigación.

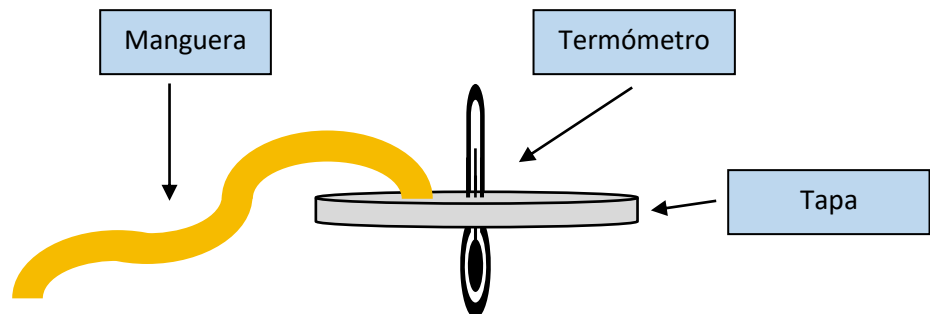


Ilustración 3. Elaborada por el autor de esta investigación.

A la hielera se le hicieron dos agujeros de 3 cm de diámetro en sus extremos y la manguera se introdujo a través de ellos, la hielera se llenó de hielo. La punta de la manguera termina adentro de la probeta (Ilustración 4). Finalmente, el recipiente se colocó en la estufa y se unió al sistema (Ilustración 5).

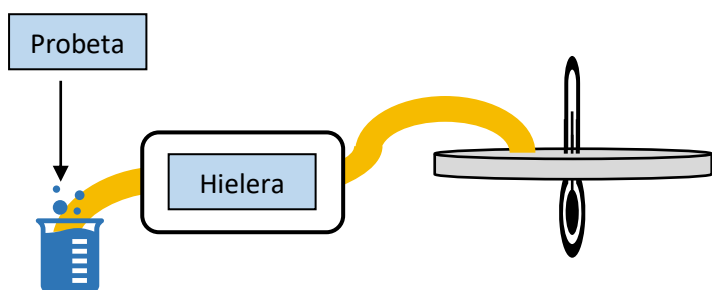


Ilustración 4. Elaborada por el autor de esta investigación.

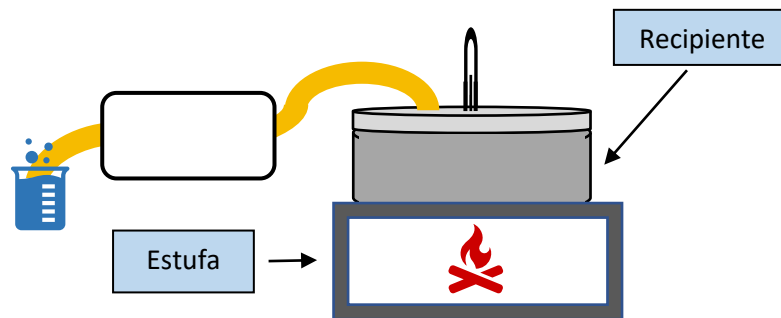


Ilustración 5. Elaborada por el autor de esta investigación.

Metodología

Se agregan 400 ml de agua purificada en el recipiente, luego se pone el recipiente encima de la estufa y se tapa parcialmente con la tapadera que ya está unida al sistema, se deja una abertura para dejar que el vapor escape. Se enciende la estufa y se ajusta a la mínima potencia permitida y cuando el agua llega a su punto de ebullición (94°C) se sella completamente el recipiente con la tapadera de la Ilustración 3 y se inicia el cronómetro. Cuando el cronómetro marca 180s se apaga la estufa y rápidamente se retira la tapa del recipiente para evitar que más vapor siga entrando al sistema.

Durante los 180s, el vapor recorre toda la manguera, la hielera con hielo sirve para que la energía del vapor sea transferida al entorno frío y así condensarlo para generar agua. Luego de condensarse, el agua cae desde la manguera hacia la probeta con la cual se medirá la cantidad de agua vaporizada en los 180s. Finalmente se dividió el volumen del agua recolectada durante el tiempo establecido y se obtuvo el ritmo de vaporización del agua en ml/s. Para minimizar el error, todo el proceso se repitió 10 veces por recipiente lo que da un total de 60 mediciones.

El agua no fue desperdiciada, después del trabajo se depositó en una pileta para que pueda ser reutilizada para lavandería o riego de plantas. Por seguridad, para evitar quemaduras se utilizarán guantes aislantes de calor, y se trabajó en un ambiente libre de combustibles para evitar incendios accidentales.

Análisis de datos

En la *Tabla 1* se muestran los resultados obtenidos en *ml* para cada área de la superficie del agua en *cm²*.

Área de la superficie del agua $A/\Delta A \pm 5.6\text{cm}^2$ *	Agua evaporada $C/\Delta C \pm 1\text{ml}$ **									
75.4	27	28	27	26	27	27	26	27	26	27
91.6	33	33	32	34	33	32	33	33	33	34
116.9	40	40	39	41	41	40	42	41	40	41
158.4	59	59	61	59	61	59	59	59	60	60
206.1	77	76	75	77	77	78	77	76	77	77
248.8	92	92	91	92	93	91	92	92	92	92

Tabla 1: Resultados del experimento

*Este error fue encontrando **acarreado la incertidumbre** en la medición del área con mayor tamaño y tomando en cuenta un error de 0.1 cm en el instrumento de medición.

**Es el error especificado por la probeta utilizada.

En la *Tabla 2* se muestra el procesamiento de los datos obtenidos. El promedio de la cantidad de agua evaporada para cada área fue obtenido utilizando la ecuación del promedio:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}$$

En donde C es la cantidad de agua evaporada medida, N es el número de mediciones hechas por cada área (10 mediciones) y \bar{C} es el promedio de la cantidad de agua evaporada.

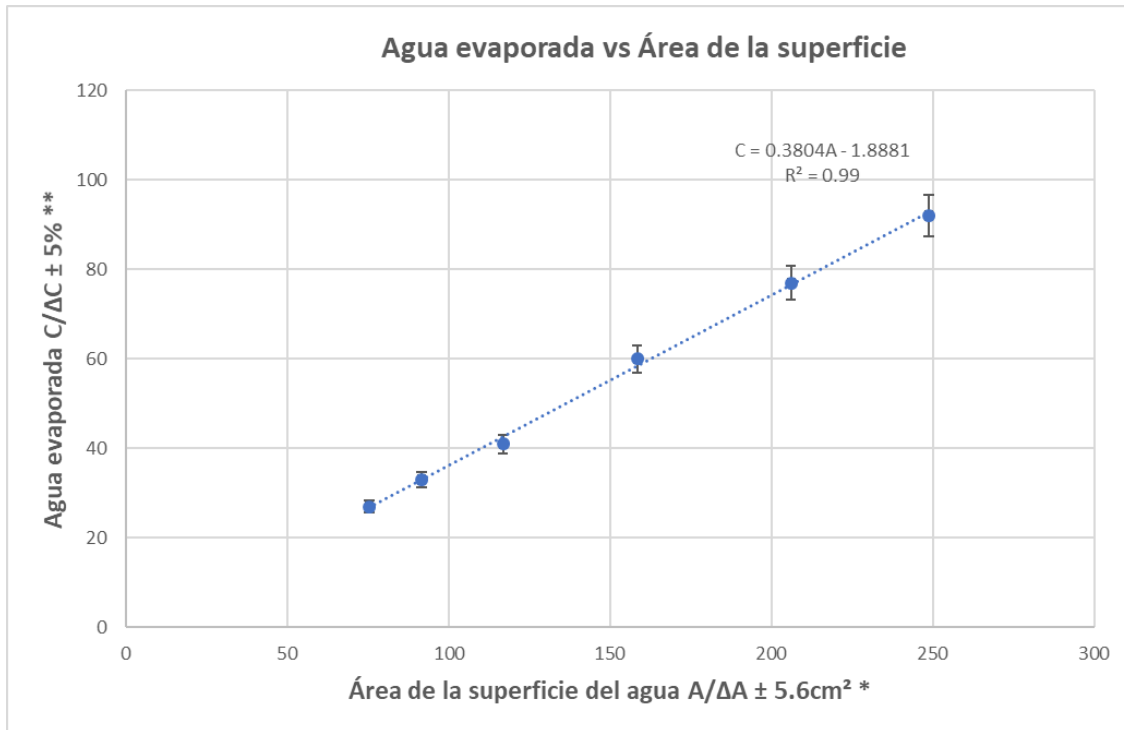
El rango de incertidumbre fue sacado restando $C_{max} - C_{min}$. Este resultado es importante porque al dividirlo por el promedio \bar{C} , se obtiene el error en las mediciones. Luego, se multiplicó el error por 100 para encontrar el error porcentual y, en base a estos resultados se obtuvo el error porcentual promedio que será útil en el análisis gráfico de los resultados.

Área de la superficie del agua $A/\Delta A \pm 5.6\text{cm}^2$ **	Promedio de agua evaporada \bar{C} (ml)	Min	Max	Rango	Error	Error % *	Error % Promedio
75.4	27	26	28	2	0.07	7.46	5%
91.6	33	32	34	2	0.06	6.06	
116.9	41	39	42	3	0.07	7.41	
158.4	60	59	61	2	0.03	3.36	
206.1	77	75	78	3	0.04	3.91	
248.8	92	91	93	2	0.02	2.18	

Tabla 2: Procesamiento de Resultados

*Se trabajó el error porcentual con 3 cifras significativas para poder obtener un error porcentual promedio más exacto.

**Este error se especifica en la *Tabla 1*.



Gráfica 1: Agua evaporada vs Área de la superficie

*Este error es explicado en la *Tabla 1*.

**Este es el error porcentual promedio calculado en la *Tabla 2*.

La *Gráfica 1* muestra los resultados del experimento especificados en la *Tabla 1*. Desde ya se observa una correlación muy fuerte entre el área de la superficie del agua y la cantidad de agua evaporada. También se notan errores sistemáticos pues la gráfica no intercepta en el origen, esto se debe a que la capilaridad del agua puede provocar errores visuales a la hora de ver el menisco en la medición del volumen con la probeta, y a que pequeñas cantidades de agua se hayan quedado en la manguera. Por otro lado, los errores aleatorios son menores y se evidencia en que la línea de mejor ajuste intercepta todas las barras de error sin excepción, tener una muestra amplia ayudó a minimizar este tipo de error.

Al analizar la pendiente de esta gráfica obtenemos una constante de $0.3804 \frac{\text{ml}}{\text{cm}^2}$. Esta constante nos indica cuánta agua se evapora por unidad de área y, por lo tanto, no depende del tamaño del área de la superficie del agua. Como el objetivo de este trabajo es determinar el efecto en el ritmo de vaporización del agua, este dato no es relevante, pero al dividirlo entre el tiempo en que se recolectó la cantidad de agua en la *Tabla 1*, encontramos una nueva constante k que servirá para encontrar una ecuación con la cual se podrá evaluar la hipótesis establecida.

$$k = \frac{0.3804 \frac{ml}{cm^2}}{180s}$$

$$k = 0.0021 \frac{ml}{cm^2 s} *$$

*La constante k relaciona el ritmo de vaporización del agua con el área de la superficie y es un valor aproximado de la pendiente de la *Gráfica 2*. Es importante aclarar que no se tomaron en cuenta las incertidumbres de la pendiente de la *Gráfica 1*, del tiempo y de k porque únicamente se quería demostrar la relación existente entre las pendientes de la *Gráfica 1* y la *Gráfica 2*. Más adelante el error de k y del tiempo sí serán tomados en cuenta.

Como se mencionó anteriormente **la variable dependiente se midió indirectamente**. Para poder encontrar el ritmo de vaporización promedio V del agua, se dividió el promedio del agua evaporada \bar{C} de la *Tabla 2* dentro del tiempo en que el vapor del agua fue recolectado (180s), los resultados se muestran en la *Tabla 3*.

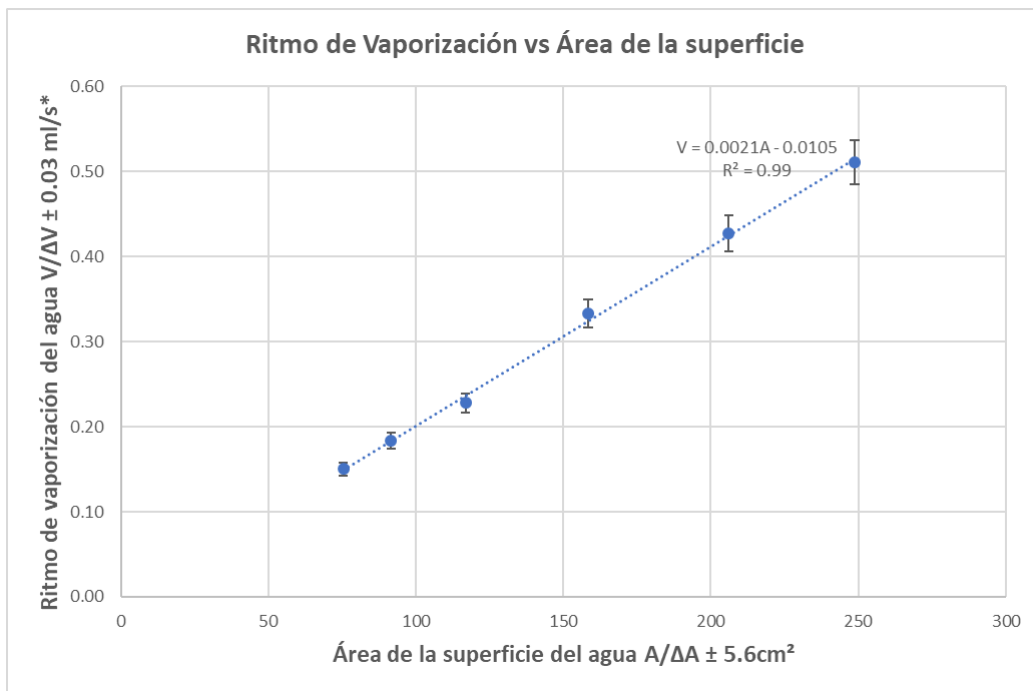
$$V = \frac{\bar{C} ml}{180 s}$$

Área de la superficie del agua $A/\Delta A \pm 5.6cm^2$	Ritmo de vaporización del agua $V/\Delta V \pm 0.03 ml/s^*$
75.4	0.15
91.6	0.18
116.9	0.23
158.4	0.33
206.1	0.43
248.8	0.51

Tabla 3: Ritmo de vaporización del agua

* Este error se halló **acarreado la incertidumbre** al medir V con la \bar{C} más pequeña, tomando en cuenta el error de $\bar{C} \pm 5\%$ encontrado en la *Tabla 2* y un error de $\pm 0.1s$ por un error visual en la medición del tiempo. Se utilizó el error de la \bar{C} más pequeña porque esta es la medición que mayor error presentó, esto permite poder encontrar un rango más exacto dentro del cual se encuentra el resultado real y no alterar las conclusiones.

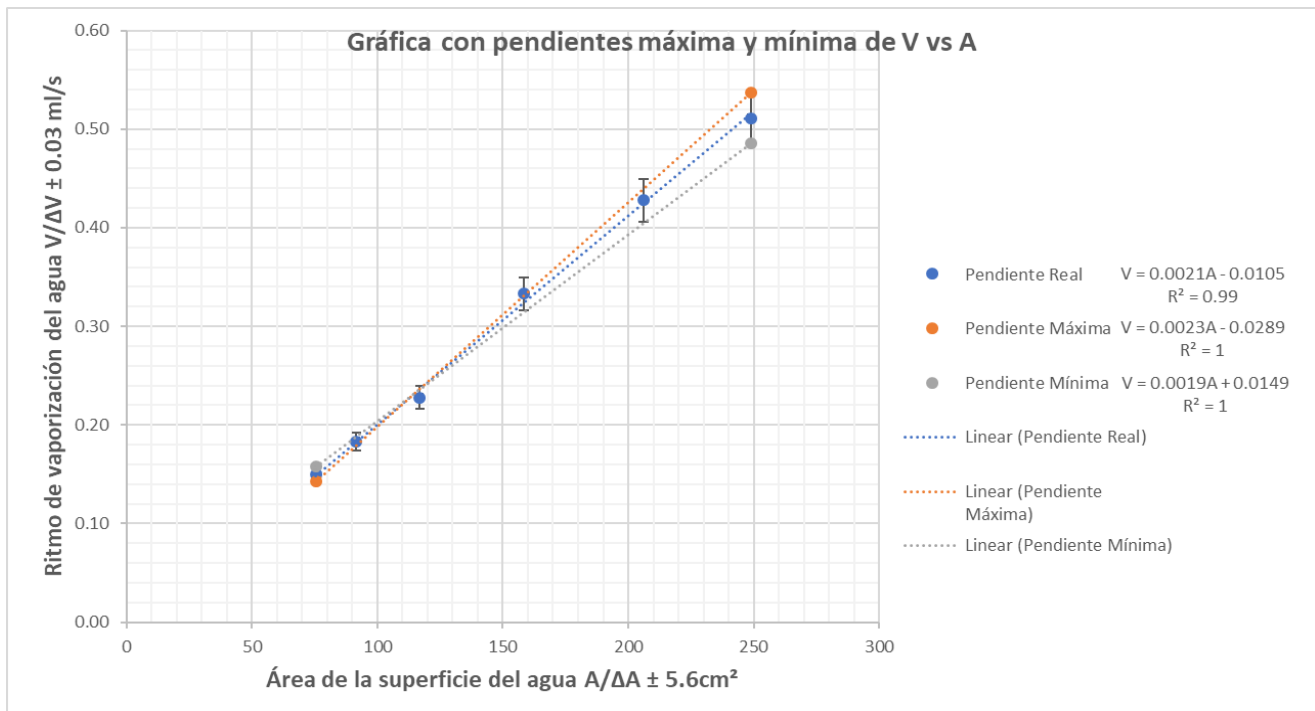
La *Gráfica 2* muestra la relación de los datos de la *Tabla 3*.



Gráfica 2: Ritmo de Vaporización vs Área de la superficie

*Este es el error especificado en la *Tabla 3*, no se utiliza el error porcentual promedio de la *Tabla 2* pues ese corresponde al error de la cantidad de agua evaporada \bar{C} y ahora se está graficando el ritmo de vaporización del agua V , que fue medido indirectamente.

La correlación de los datos es muy fuerte. Esta vez el error sistemático es mucho menor debido a que el error en la medición del tiempo no es tan grande. Los errores aleatorios son mínimos pues la línea de mejor ajuste intercepta todas las barras de error. La pendiente dada por la ecuación de la gráfica confirma el valor aproximado de k que se había demostrado anteriormente. Para poder obtener una ecuación que relacione V y A con mayor precisión, se graficaron las pendientes máxima y mínima en la *Gráfica 3*.



Gráfica 3: Pendientes máxima y mínima

El área encerrada entre la pendiente máxima y mínima representa el error de la pendiente real, este se puede encontrar usando la fórmula tomada de (Guzmán, 2009):

$$Error = \frac{m_{Max} - m_{Min}}{m_{Real}}$$

Por lo tanto:

$$Error = \frac{0.0023 - 0.0019}{0.0021}$$

$$Error = 0.19$$

Esto indica que el valor real de la pendiente está ubicado dentro de $0.0021 \frac{ml}{cm^2s} \pm 19\%$. El 19% de 0.0021 es ≈ 0.00039 . Por lo tanto, al ajustar el valor de la incertidumbre al mismo número de decimales que la pendiente, se obtiene un valor de $0.0021 \pm 0.0004 \frac{ml}{cm^2s}$. En cuanto el error del intercepto de la recta en el eje y , es el especificado en la *Tabla 3*, por lo tanto, el valor es de $-0.01 \pm 0.03 \frac{ml}{s}$, el intercepto se da muy cercano a 0 lo cual es muy coherente pues un recipiente con área de 0 cm^2 no puede contener agua y, por lo tanto, el ritmo de vaporización sería $0 \frac{ml}{s}$.

Evaluación

Este es un trabajo en el que se midió de manera indirecta la relación existente entre el ritmo de vaporización del agua y el área ocupada por la superficie de la misma. Después del correspondiente procesamiento y análisis de los datos obtenidos en el experimento, se encontró que esta relación está dada por la ecuación:

$$V = (0.0021 \pm 0.0004 \frac{ml}{cm^2s})A - (0.01 \pm 0.03 \frac{ml}{s})$$

En donde A representa el área de la superficie del agua en cm^2 y V representa el ritmo de vaporización del agua en $\frac{ml}{s}$. Como se puede ver, esta ecuación corresponde a una ecuación lineal de forma $y = mx + b$ y el coeficiente de correlación lineal de la *Gráfica 3* es positivo y muy fuerte, con lo que se puede afirmar que el ritmo de vaporización del agua (V) es

directamente proporcional al área ocupada por la superficie del agua (A). Lo anterior logra dar respuesta a la pregunta que se ha venido tratando y confirma que **la hipótesis planteada es correcta**:

“Mientras el área de la superficie sea mayor, más moléculas podrán ganar energía y se evaporarán con mayor rapidez. Por lo tanto, el ritmo de vaporización del agua será directamente proporcional al área de la superficie”

La pendiente de la ecuación $0.0021 \frac{ml}{cm^2s}$ es una constante provocada por las condiciones específicas de este experimento que indica cuánta agua se evaporará por unidad de área por unidad de tiempo sin depender del área ocupada por la superficie del agua o el tiempo que esta esté en ebullición. Esta constante es la que permite que exista una relación linear directamente proporcional entre las variables evaluadas.

La explicación de los resultados obtenidos es que mientras más grande sea el área de la superficie, más agua estará expuesta a la atmósfera y habrán más moléculas que, con la energía cinética ganada, podrán vencer las fuerzas intermoleculares y la presión atmosférica, y podrán pasar al estado gaseoso. Mientras que, si el área de la superficie es más reducida, menos moléculas de agua podrán escapar.

Es importante aclarar que **la ecuación planteada es válida únicamente para las condiciones en que este experimento se desarrolló y los parámetros utilizados**, sin embargo, la hipótesis comprobada es válida en cualquier caso.

En la física, **no existe una definición acordada o establecida para el concepto de ritmo de vaporización del agua**, tampoco existen estudios con gran detalle sobre el asunto. Sin embargo, los estudios que más se asemejan son los dedicados a la investigación de la evaporación del agua de lagos o piscinas debido a la energía solar (Lenters, Anderton, Blanken, Spence, & Suyker, 2011).

Este estudio llegó a la conclusión que mientras más agua está expuesta en la superficie, más son las moléculas que podrán absorber la energía del aire y la energía solar y mayor cantidad de agua podrá pasar a estado gaseoso, por lo tanto, la cantidad de agua evaporada y el ritmo de vaporización son directamente proporcionales al área de la superficie de esta. **Esto concuerda con los resultados del presente trabajo.**

Puntos Fuertes

Uno de los puntos fuertes de esta investigación es que los errores son mínimos, esto se debe a un buen diseño de la metodología, que permitió tener un buen control de las variables y calcular adecuadamente los datos. De la misma manera, el correcto cálculo de los errores acarreado las incertidumbres cuando correspondía permitió obtener una ecuación con

datos más reales. Esto se evidencia en que la línea de mejor ajuste intercepta todas las barras de error sin excepción. Otra fortaleza es que los resultados coinciden con los resultados de estudios semejantes como el citado anteriormente. El tamaño de la muestra es muy adecuado, lo que permitió que el error aleatorio fuera mínimo.

Limitaciones

Es evidente la existencia de errores sistemáticos pues la línea de mejor ajuste no intercepta el origen, sin embargo, éste sí se encuentra dentro del rango de error de la línea. Considero que estos errores se deben a un error al calcular el radio de los recipientes, a no medir adecuadamente el volumen del agua con la probeta por los efectos que tiene la capilaridad del agua, a pequeñas fugas de vapor y a que una parte del vapor no entraba en la manguera del sistema. También, en cada repetición, el calor del vapor derretía el hielo por lo que cada vez absorbía menos energía del vapor que la vez anterior, lo que pudo causar que después de muchas repeticiones no todo el vapor lograra condensarse, aumentando el error en la cantidad de agua recolectada.

Puntos de mejora

Para mejorar estos errores la medición del volumen del agua debería hacerse hasta donde llegue menisco, en lugar de usar la misma tapadera para todos los recipientes, debería usarse una adecuada a la medida de cada uno para que en las orillas quede más cerrado y así evitar fugas de vapor. El orificio para la manguera debería ser 1cm de diámetro más ancho y en el centro de la tapadera para que así todo el vapor pueda entrar en el sistema y evitar que una parte se quede en el recipiente o se fugue. El hielo debería cambiarse constantemente para que en todas las repeticiones pueda absorber la misma cantidad de energía del vapor. Finalmente, para reducir más el error aleatorio, se deberían realizar 5 repeticiones más por cada muestra.

Bibliografía

- Azcona, Á. C. (2012). *Propiedades y funciones biológicas del agua*. (F. d. Departamento de Nutrición, Ed.) Madrid: CSIC. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>
- Guzmán, A. M. (03 de 11 de 2009). Análisis gráfico. Parte II. Cálculo de incertidumbres. Recuperado el 28 de 08 de 2020, de http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n76ne/analisis_grafico2.pdf
- Lenters, J., Anderton, J., Blanken, P., Spence, C., & Suyker, A. (2011). Assessing the Impacts of Climate Variability and Change on Great Lakes Evaporation. (G. L. Center, Ed.) Michigan, Estados Unidos. Recuperado el 12 de 09 de 2020, de http://glisa.umich.edu/media/files/projectreports/GLISA_ProjRep_Lake_Evaporation.pdf
- S. T. (22 de 03 de 2018). *La Importancia del Agua para la Vida*. Recuperado el 17 de 07 de 2020, de Swimtonic: <https://www.swimtonictech.com/es/2018/03/22/la-importancia-del-agua-la-vida/>
- Titov, N. (S.f). *Foto de archivo - Pantalla Laboratorio de destilación, Química, Diseño plana, ilustración vectorial.JPG*. Recuperado el 17 de 07 de 2020, de 123RF: https://es.123rf.com/photo_47180120_pantalla-laboratorio-de-destilaci%C3%B3n-qu%C3%ADmica-dise%C3%B1o-plana-ilustraci%C3%B3n-vectorial.html
- Wikipedia, C. d. (01 de 08 de 2020). *Destilación*. Recuperado el 23 de 08 de 2020, de Wikipedia.org: <https://es.wikipedia.org/wiki/Destilaci%C3%B3n>