

# Efectividad de la siembra de nubes

Cynthia Marie Rivera Sánchez

11 de marzo de 2021

## Resumen

Aunque poca gente esté consciente de esto, la siembra de nubes con yoduro de plata para incrementar los niveles de lluvia es algo muy común. Es por esto, que el propósito de este estudio fue averiguar si efectivamente las nubes sembradas aumentan la cantidad de precipitación producida regularmente. La hipótesis establecía, que la cantidad de lluvia de las nubes sembradas no era mayor a la cantidad de lluvia de las nubes no sembradas. Para probar esta hipótesis se realizaron diferentes tipos de gráficos y una prueba de intervalo de confianza. Lo primero que se encontró fue que los datos utilizados no eran normales por lo que hubo que hacerles una modificación utilizando su logaritmo natural. Luego de esto, se encontró que la diferencia entre la media de los datos era positiva y que sus varianzas eran diferentes. Finalmente, se procedió a calcular un intervalo de confianza del 99.5 % donde se encontró que tal como se predijo en la hipótesis no hay diferencia entre la cantidad de precipitaciones. Fue posible llegar a esta conclusión y aceptar la hipótesis propuesta, ya que el cero se encontraba dentro del intervalo de confianza, lo que no proveía la cantidad de evidencia suficiente para afirmar lo contrario.

## 1. Introducción

La siembra de nubes puede resultar algo insólito, pero la realidad es que una práctica muy común utilizada hoy día . La misma consiste en manipular el clima para intentar modificar la cantidad de precipitación que se produce en un área en específica [1]. Para lograr esto se puede utilizar hielo seco, propano líquido, polvo feldepató y el más común de todos, yoduro de plata [2]. Sin embargo, a pesar de que muchos investigadores dicen que esta práctica suele ser eficaz, la misma depende de varios factores para tener éxito. Para empezar, es fundamental que la nube contenga agua líquida bajo  $0^{\circ}\text{C}$  [1]. También, se necesita "humedad, enfriamiento y un núcleo de condensación" para lograr que se produzca lluvia [3]. Pero el factor más determinante de todos, lo es la naturaleza misma, pues a pesar de que se siembren nubes, no necesariamente se van a obtener resultados; ya que todo depende de las condiciones de la nube al momento de la siembra.

El propósito de este análisis estadístico era determinar si efectivamente la siembra de nubes con yoduro de plata tenía un efecto en la incrementación de lluvia. De acuerdo a la información buscada, la hipótesis planteada establecía que las nubes sembradas con yoduro de plata no producían más precipitación que las nubes que no fueron sembradas. Para probar esta hipótesis, se utilizarán datos de la Biblioteca de Datos e Historia (DASL por sus siglas en inglés). Con estos, se estarán realizando diferentes pruebas con las cuales se espera que al final podamos aceptar o rechazar la hipótesis propuesta.

## 2. Metodología

Para determinar si las nubes sembradas con yoduro de plata incrementan la cantidad de precipitación que se produce comparado con la cantidad de precipitación que se produce cuando las nubes no son sembradas con yoduro de plata, se emplearon diferentes técnicas estadísticas utilizando el programa *RStudio*. Lo primero que se hizo fue evaluar la normalidad de los datos utilizando un diagrama de caja y bigotes y un gráfico normal de cuantil-cuantil. Debido a que los datos no presentaban normalidad, se decidió transformar los mismos utilizando su logaritmo natural. Luego de esto, se volvió a verificar su normalidad utilizando nuevamente un diagrama de caja y bigotes y un gráfico normal de cuantil-cuantil. Y ahora, como los datos no presentaron una desviación muy grande, se asumió su normalidad, por lo que pudimos calcular que sí hay una diferencia entre la cantidad de lluvia que produce una nube sembrada con yoduro de plata y una que no. Para esto, calculamos la media y la varianza de los datos y utilizamos intervalos de confianza. El intervalo de confianza se calculó asumiendo que las varianzas de los datos eran diferentes. En resumen, en este análisis estadístico se pueden encontrar dos diagramas de caja y bigotes, dos gráficos normales de cuantiles-cuantiles, un intervalo de confianza y dos tablas con el resumen de los datos.

### 3. Resultados y análisis descriptivo

#### 3.1. Tablas

Resumen de datos de las poblaciones	
Media de las nubes sembradas	5.13
Media de las nubes no sembradas	3.99
Diferencia entre las medias	1.14
Varianza de las nubes sembradas	2.56
Varianza de las nubes no sembradas	2.70

Cuadro 1: Tabla que provee un resumen de los datos una vez ya fueron transformados utilizando su logaritmo natural

Resumen de cálculos del intervalo de confianza	
Grados de libertad	49
Nivel de confianza	99.5 %
Intervalo de confianza	[-0.06094903, 2.34851133]

Cuadro 2: Tabla que provee un resumen de los datos utilizados y los resultados luego de haber realizado una prueba de intervalo de confianza con varianza desconocida

#### 3.2. Gráficas

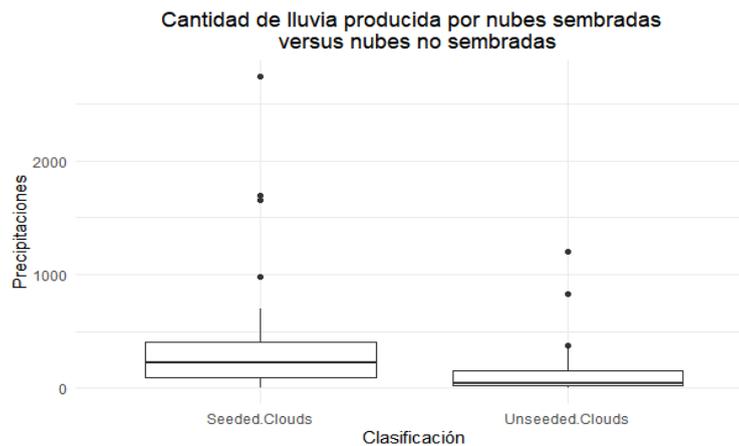


Figura 1: Diagrama de caja y bigotes con el cual se estudió el comportamiento de los datos. Se asumió que los mismos no tienen normalidad ya que además de no tener simetría, hay demasiados valores atípicos. Por otro lado, se puede inferir que la diferencia de medias entre estos dos conjuntos de datos será positiva.

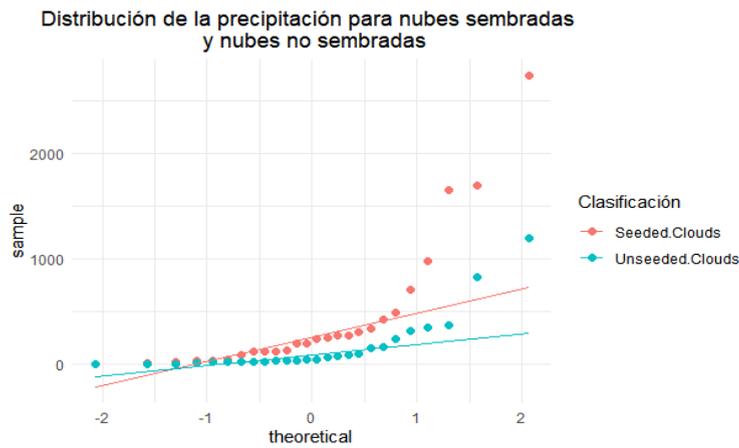


Figura 2: Gráfico normal de cuantil-cuantil utilizado para comprobar que la asunción de que no había normalidad hecha con el diagrama de la Figura 1 fuese cierta. Al haber una desviación sistemática de línea, se comprobó que estos datos no eran normales.

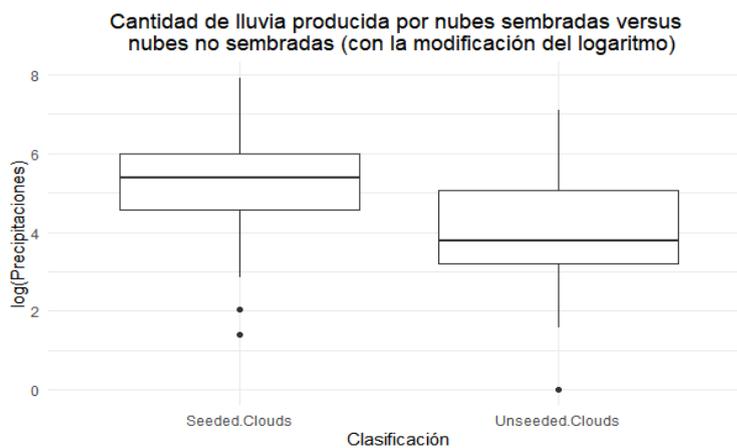


Figura 3: Diagrama de caja y bigotes con los datos transformados utilizando el logaritmo natural de los mismos. Todavía siguen habiendo valores atípicos; sin embargo, estos diagramas muestran más simetría que los presentados en la Figura 1 por lo que se asume su normalidad. Por otra parte, al igual que en la Figura 1 podemos seguir diciendo que la diferencia entre las medias de estos datos será positiva.

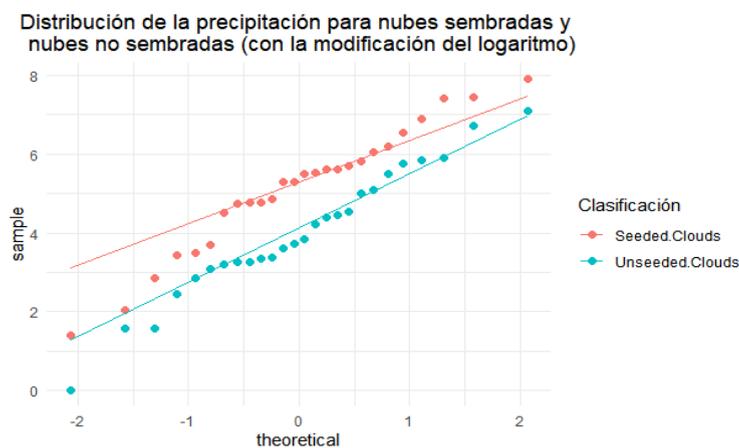


Figura 4: Este gráfico normal de cuantil-cuantil fue utilizado para corroborar que la asunción de normalidad hecha en el diagrama presentado en la Figura 3 fuese correcta. Dado a que no se ve una desviación sistemática de la línea, no hay evidencia suficiente para decir que no son normales, por lo que se asume su normalidad

## 4. Discusión e implicaciones

Dado que el problema presentado nos pedía encontrar si existía una diferencia entre la cantidad de precipitación producida por nubes sembradas con yoduro de plata, y nubes no sembradas con yoduro de plata, lo primero que se hizo fue evaluar la normalidad de los datos. Para esto se utilizaron dos gráficos los cuales están presentados en las Figuras 1 y 2. El diagrama de la Figura 1 nos sirvió para explorar los datos; y a raíz de este, se hizo la primera asunción. La cual fue que los datos utilizados no eran normales, ya que tenían demasiados valores atípicos y no presentaban simetría alguna. Esto fue confirmado utilizando el gráfico de la 2, donde se puede observar que los datos tienen una desviación sistemática de línea, lo que no sucedería si los datos fueran normales.

Debido a que originalmente no se encontró normalidad, se decidió hacerle una transformación a los datos para tratar de hallar la misma. Esta transformación se hizo utilizando su logaritmo natural y una vez ya estuvo hecha se procedió a explorarlos nuevamente (Figuras 3 y 4). Utilizando la Figura 3 se observó que con la nueva transformación los datos eran bastantes simétricos y a pesar de que tenían uno que otro valor atípico, se decidió asumir que eran normales. Esta asunción se verificó utilizando el gráfico presentado en la Figura 4 donde se pudo observar que no existe ninguna desviación sistemática de la línea que permita decir que la asunción hecha es falsa.

Una vez se obtuvo la normalidad de los datos se procedió a contestar el problema planteado. Para esto se decidió buscar un intervalo de confianza donde se asumía que las varianzas eran diferentes; ya que al mirar el gráfico de la Figura 4 se observó que las rectas no eran paralelas. Se calculó la media, diferencia entre medias (la cual efectivamente fue positiva como se había predicho anteriormente) y varianza de ambos conjuntos de datos (Ver Cuadro 1). Luego utilizando las varianzas, se calcularon los grados de libertad que tendría este intervalo de confianza (ver Cuadro 2). Finalmente, se procedió a calcular el intervalo de confianza con un nivel de confianza del 99.5%. Para calcularlo se utilizó la diferencia de las medias, las varianzas y los grados de libertad, y se obtuvo un intervalo desde -0.06094903 hasta 2.34851133. Entonces como el 0 se encuentra dentro del intervalo no hay evidencia suficiente que permita decir que estos dos conjuntos de datos son diferentes, por lo que se produce la misma cantidad de precipitación estén o no sembradas las nubes con yoduro de plata.

## 5. Conclusión y recomendaciones

Luego de estudiar los resultados obtenidos por este análisis estadístico, la hipótesis puede ser aceptada. Según los hallazgos de este estudio, no se encontró evidencia suficiente como para decir que hay una diferencia entre la cantidad de precipitación producida por las nubes sembradas con yoduro de plata y aquellas que no son sembradas. Esto es debido a que el cero se encontraba dentro del intervalo de confianza creado. Por esta razón, no se puede concluir que las nubes sembradas producen más lluvia, ya que según los datos utilizados esto no fue validado.

Pero, ¿por qué los investigadores dicen que esta técnica es eficiente y los resultados de este análisis fueron completamente diferentes? Esto puede ser debido a diferentes razones. Durante este estudio se pudo haber tenido varias fuentes de error, la primera siendo que los datos tuvieron que ser modificados para poder obtener un intervalo de confianza, ya que originalmente no presentaban normalidad. Por otro lado, este método es utilizado principalmente en lugares con mucha sequía y existe la posibilidad de que los datos utilizados no fueran de un sitio como este. Es por estas razones que se sugiere que en un futuro se haga esta prueba nuevamente. Sin embargo, esta vez se estaría utilizando un lugar con sequía y uno que no, para poder comparar los resultados entre sí. De esta manera se podría dar certeza sobre si las nubes sembradas producen mayores niveles de precipitación, que las nubes no sembradas.

## Referencias

- [1] Espacio Ciencia. 2017. "¿Es posible una siembra de nubes para modificar el clima? Recuperado 4 de marzo de 2021. (<https://espaciociencia.com/siembra-de-nubes-que-es/>).
- [2] Info Agro. 2020. "Siembra de nubes: ¿Qué es? ¿Cómo funciona? Recuperado 4 de marzo de 2021. (<https://infoagro.com.ar/siembra-de-nubes-que-es-como-funciona/>)
- [3] T13. 2019. Siembra de nubes" para combatir la sequía Recuperado 4 de marzo de 2021. (<https://www.youtube.com/watch?v=aZfYz5rt2XI>)

# Appendices

## A. Código utilizado

```
#MATE5002: Proyecto 1
CloudSeeding = read.delim(file.choose())
class(CloudSeeding)
dim(CloudSeeding)
colnames(CloudSeeding)

#Uniremos los datos para que todos los valores queden en una misma columna
library(tidyr)
library(dplyr)
CloudSeeding1 <- gather(CloudSeeding, key = "Clasificación", value = "Precipitaciones", 1:2)
CloudSeeding1
attach(CloudSeeding1)

#Empezaremos explorando los datos
ggplot(CloudSeeding1, aes(x = Clasificación, y = Precipitaciones)) + geom_boxplot() + theme_minimal()
+ ggtitle("Cantidad de lluvia producida por nubes sembradas versus nubes no sembradas") +
theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))

#Dado este boxplot podemos esperar que la diferencia entre sus medias sea positiva; sin embargo,
#no podemos asumir normalidad ya que los datos no muestran simetría y hay valores atípicos

#Debido a esto, evaluaremos su normalidad
ggplot(CloudSeeding1, aes(sample = Precipitaciones, color = Clasificación)) + geom_qq(size = 2) +
geom_qq_line() + theme_minimal() + ggtitle("Distribución de la precipitación para nubes sembradas
y nubes no sembradas") + theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))

#Pero con este gráfico, confirmamos lo que supusimos con el gráfico anterior, estos datos no tienen
#normalidad. Es por esto que ahora repetiremos los dos gráficos utilizando el logaritmo de los datos.
#1) Boxplot
ggplot(CloudSeeding1, aes(x = Clasificación, y = log(Precipitaciones))) + geom_boxplot() +
theme_minimal() ggtitle("Cantidad de lluvia producida por nubes sembradas versus nubes no
sembradas (con la modificación del logaritmo)") + theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))

#A pesar de que ahora tienen valores atípicos, lucen bastante simétricas por lo que vamos a asumir
#que son normales, pero como quiera vamos a evaluar su normalidad con el segundo gráfico.
#2) Gráfico normal de cuantiles-cuantiles
ggplot(CloudSeeding1, aes(sample = log(Precipitaciones), color = Clasificación)) + geom_qq(size = 2)
+ geom_qq_line() + theme_minimal() + ggtitle("Distribución de la precipitación para nubes sembradas
y nubes no sembradas (con la modificación del logaritmo)") +
theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))

#Debido a que los datos no muestran una desviación sistemática de la línea, podemos acoger la
#asunción de normalidad. Ahora volviendo al boxplot podemos esperar que la diferencia de las
#medias sea positiva y como las mismas se superponen no podemos decir con certeza que hay
#diferencia entre los datos por lo que vamos a probarlo
#1) Media y varianza de nubes sembradas
Seeded <- CloudSeeding1 %>% filter(Clasificación == "Seeded.Clouds") %>% dplyr::select(Precipitaciones) %>%
unlist

mean_seeded <- mean(log(Seeded))
mean_seeded

var_seeded <- var(log(Seeded))
var_seeded

#2) Media y varianza de nubes no sembradas
Unseeded <- CloudSeeding1 %>% filter(Clasificación == "Unseeded.Clouds") %>% select(Precipitaciones) %>%
```

```
unlist
```

```
mean_unseeded <- mean(log(Unseeded))  
mean_unseeded
```

```
var_unseeded <- var(log(Unseeded))  
var_unseeded
```

```
#3) Diferencia entre las medias  
mean_diff <- mean_seeded - mean_unseeded  
mean_diff
```

```
#4) Suma de las varianzas  
var_sum <- var_seeded + var_unseeded  
var_sum
```

```
#Como era de esperarse la diferencia entre las medias es positivas, pero para confirmar si hay o no  
#diferencia entre estos conjuntos de datos calcularemos el intervalo de confianza para las diferentes  
#varianzas
```

```
#1) Grados de libertad para una distribución t aproximada  
df_ttest <- (var_seeded / 26 + var_unseeded / 26) 2 / ((var_seeded/26)2/25 + (var_unseeded/26)2/25)
```

```
df_ttest
```

```
#Vamos a utilizar df = 49 lo cual está bien cerca de 50
```

```
#2) Intervalo de confianza con un nivel de confianza del 99.5%  
conf_int_t_dv <- c(mean_diff - qt(0.995, 50) * sqrt(var_seeded / 26 + var_unseeded / 26),  
mean_diff + qt(0.995, 50) * sqrt(var_seeded / 26 + var_unseeded / 26))
```

```
conf_int_t_dv
```