

LABORATORIO-ANOVA.R

RH

2025-09-22

```
#Maya Tovar
#Semana 7
#20-09-2025

#Ejercicio:Comparación de concentraciones de estroncio en cuerpos de agua

# Datos originales
estroncio <- data.frame(
  Muestra = 1:6,
  Graysons_Pond = c(28.2, 33.2, 36.4, 34.6, 29.1, 31),
  Beaver_Lake = c(39.6, 40.8, 37.9, 37.1, 43.6, 42.4),
  Anglers_Cove = c(46.3, 42.1, 43.5, 48.8, 43.7, 40.1),
  Appletree_Lake = c(41.0, 44.1, 46.4, 40.2, 38.6, 36.3),
  Rock_River = c(56.3, 54.1, 59.4, 62.7, 60.0, 57.3)
)

#H0:Las medias de concentración de estroncio son iguales en todos los cuerpos de
#agua.
#H1: Al menos un cuerpo de agua tiene una media diferente.

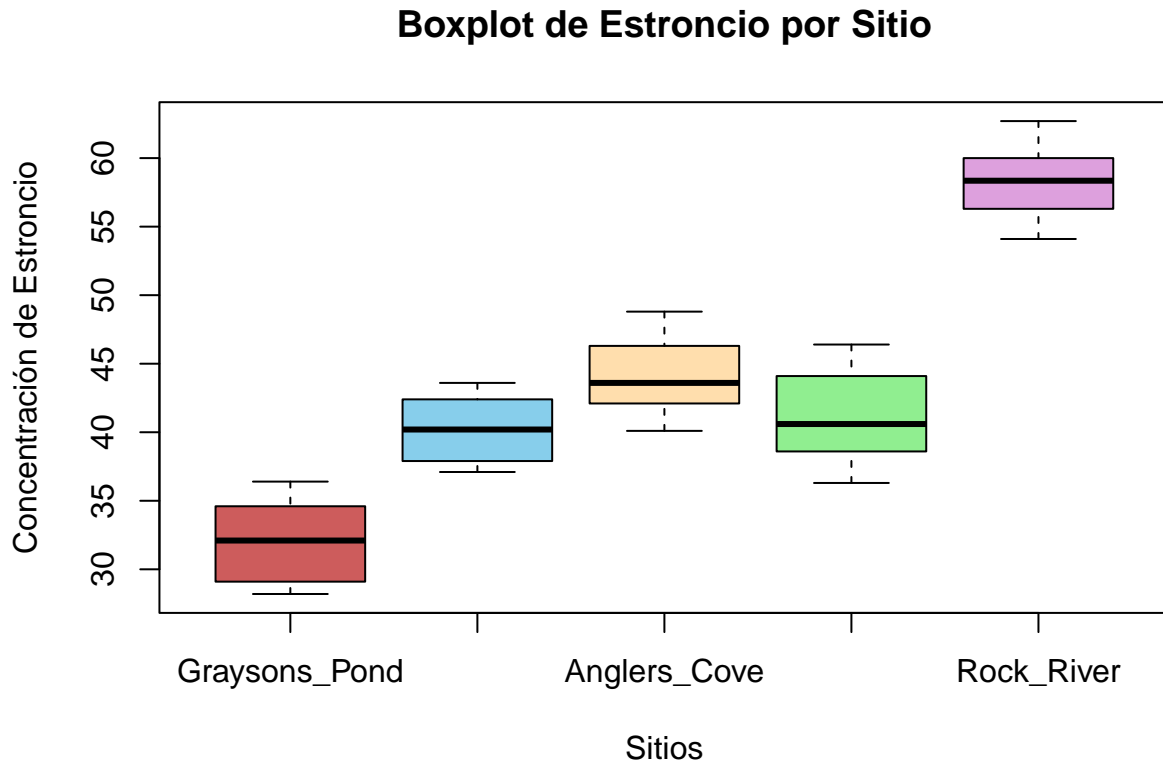
# Transformar datos
library(reshape2)
estroncio_concentracion <- melt(estroncio, id.vars = "Muestra",
                                variable.name = "Sitio", value.name = "estroncio")
estroncio_concentracion$Sitio <- as.factor(estroncio_concentracion$Sitio)

# Resumen de datos
summary(estroncio_concentracion)
```

##	Muestra	Sitio	estroncio
##	Min. :1.0	Graysons_Pond :6	Min. :28.20
##	1st Qu.:2.0	Beaver_Lake :6	1st Qu.:37.30
##	Median :3.5	Anglers_Cove :6	Median :41.55
##	Mean :3.5	Appletree_Lake:6	Mean :43.16
##	3rd Qu.:5.0	Rock_River :6	3rd Qu.:46.38
##	Max. :6.0		Max. :62.70

```
# Boxplot básico
colores <- c("indianred", "skyblue", "navajowhite", "lightgreen", "plum")
boxplot(estroncio ~ Sitio, data = estroncio_concentracion,
```

```
col = colores,
xlab = "Sitios",
ylab = "Concentración de Estroncio",
main = "Boxplot de Estroncio por Sitio")
```



```
# Promedios y varianzas por sitio
tapply(estroncio_concentracion$Estroncio, estroncio_concentracion$Sitio, mean)
```

```
## Graysons_Pond Beaver_Lake Anglers_Cove Appletree_Lake Rock_River
## 32.08333 40.23333 44.08333 41.10000 58.30000
```

```
tapply(estroncio_concentracion$Estroncio, estroncio_concentracion$Sitio, var)
```

```
## Graysons_Pond Beaver_Lake Anglers_Cove Appletree_Lake Rock_River
## 10.273667 6.402667 9.489667 13.440000 9.220000
```

```
# ANOVA
estroncio_aov <- aov(estroncio ~ Sitio, data = estroncio_concentracion)
summary(estroncio_aov)
```

```
##          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
## Sitio      4 2193.4    548.4    56.16 3.95e-12 ***
## Residuals 25  244.1      9.8
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```

#Se rechaza H0
library(agricolae)

#LSD
lsd_resultados <- LSD.test(estroncio_aov, "Sitio", p.adj = "none")
print(lsd_resultados)

## $statistics
##      MSerror Df  Mean      CV  t.value      LSD
##      9.7652 25 43.16 7.240343 2.059539 3.715779
##
## $parameters
##      test p.adjusted name.t ntr alpha
##  Fisher-LSD      none  Sitio   5  0.05
##
## $means
##      estroncio      std r      se      LCL      UCL  Min  Max   Q25
## Anglers_Cove    44.08333 3.080530 6 1.275748 41.45588 46.71079 40.1 48.8 42.450
## Appletree_Lake  41.10000 3.666061 6 1.275748 38.47255 43.72745 36.3 46.4 39.000
## Beaver_Lake     40.23333 2.530349 6 1.275748 37.60588 42.86079 37.1 43.6 38.325
## Graysons_Pond   32.08333 3.205256 6 1.275748 29.45588 34.71079 28.2 36.4 29.575
## Rock_River      58.30000 3.036445 6 1.275748 55.67255 60.92745 54.1 62.7 56.550
##      Q50      Q75
## Anglers_Cove  43.60 45.650
## Appletree_Lake 40.60 43.325
## Beaver_Lake   40.20 42.000
## Graysons_Pond 32.10 34.250
## Rock_River    58.35 59.850
##
## $comparison
## NULL
##
## $groups
##      estroncio groups
## Rock_River    58.30000      a
## Anglers_Cove  44.08333      b
## Appletree_Lake 41.10000     bc
## Beaver_Lake   40.23333      c
## Graysons_Pond 32.08333      d
##
## attr(,"class")
## [1] "group"

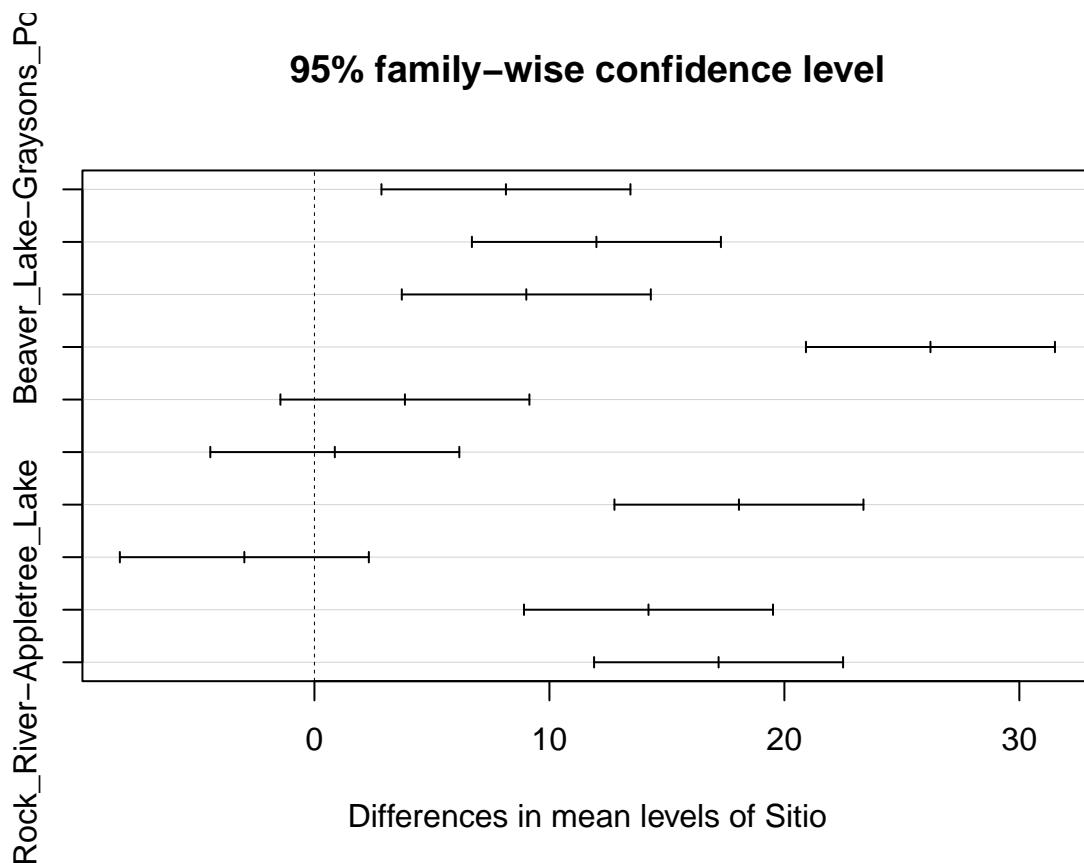
#Prueba Tukey
tukey_result <- TukeyHSD(estroncio_aov, conf.level = 0.95)
print(tukey_result)

##      Tukey multiple comparisons of means
##      95% family-wise confidence level
##
## Fit: aov(formula = estroncio ~ Sitio, data = estroncio_concentracion)
##
## $Sitio

```

	diff	lwr	upr	p adj
## Beaver_Lake-Graysons_Pond	8.1500000	2.851355	13.448645	0.0011293
## Anglers_Cove-Graysons_Pond	12.0000000	6.701355	17.298645	0.0000053
## Appletree_Lake-Graysons_Pond	9.0166667	3.718021	14.315312	0.0003339
## Rock_River-Graysons_Pond	26.2166667	20.918021	31.515312	0.0000000
## Anglers_Cove-Beaver_Lake	3.8500000	-1.448645	9.148645	0.2376217
## Appletree_Lake-Beaver_Lake	0.8666667	-4.431979	6.165312	0.9884803
## Rock_River-Beaver_Lake	18.0666667	12.768021	23.365312	0.0000000
## Appletree_Lake-Anglers_Cove	-2.9833333	-8.281979	2.315312	0.4791100
## Rock_River-Anglers_Cove	14.2166667	8.918021	19.515312	0.0000003
## Rock_River-Appletree_Lake	17.2000000	11.901355	22.498645	0.0000000

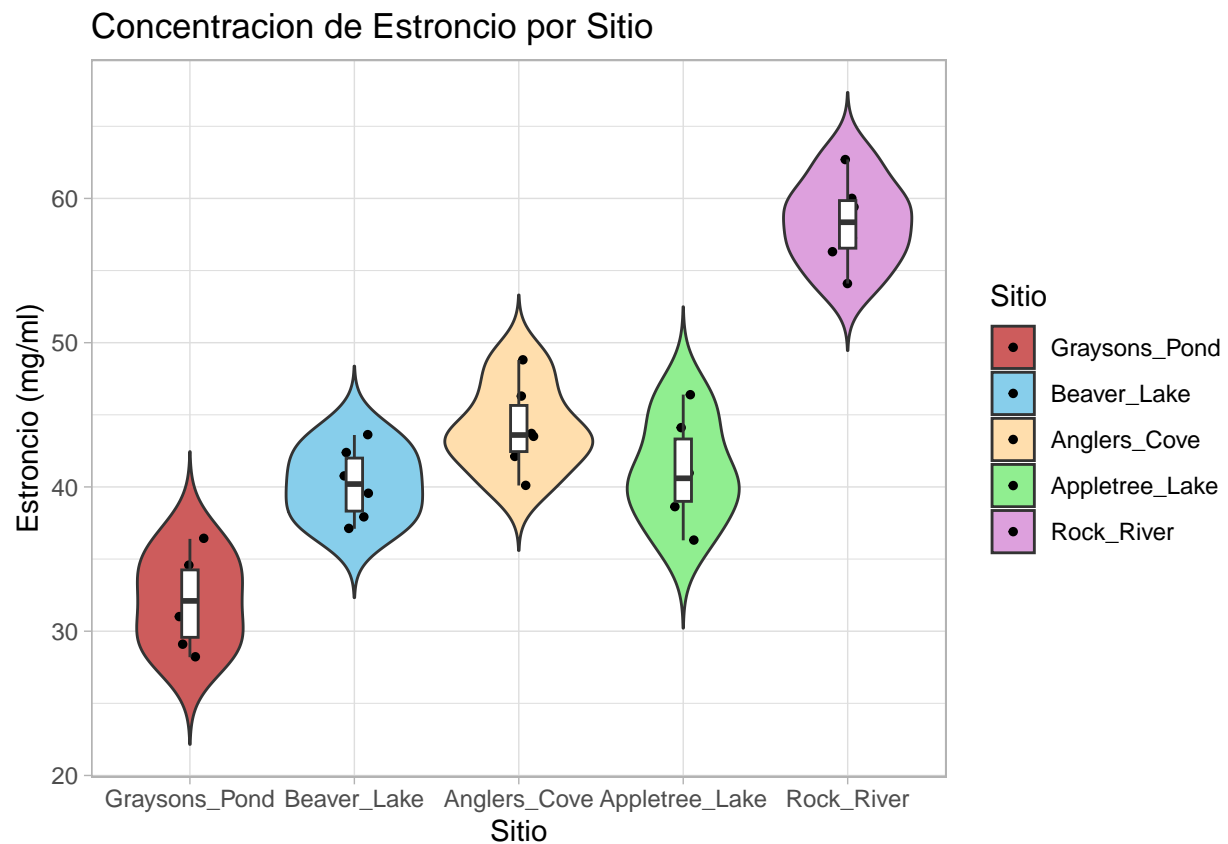
```
plot(tukey_result)
```



```
n <- 6
glerror <- estroncio_aov$df.residual
MSE <- summary(estroncio_aov)[[1]][["Mean Sq"]][2]
k <- length(levels(estroncio_concentracion$Sitio))
qcrit <- qtkey(0.95, nmeans = k, df = glerror)
MSD <- qcrit * sqrt(MSE/2 * (2/n))
MSD
```

```
## [1] 5.298645
```

```
# Gráfico con ggplot2 (violín + puntos)
library(ggplot2)
ggplot(estroncio_concentracion, aes(x = Sitio, y = estroncio, fill = Sitio)) +
  geom_violin(trim = FALSE) +
  geom_jitter(width = 0.1, size = 1, color = "black") +
  geom_boxplot(width = 0.1, fill = "white", outlier.shape = NA) +
  theme_light() +
  labs(title = "Concentracion de Estroncio por Sitio",
       x = "Sitio",
       y = "Estroncio (mg/ml)") +
  scale_fill_manual(values = colores)
```



#Discusión

#¿Qué cuerpo de agua presenta las concentraciones más altas?
#El sitio con mayores concentraciones de estroncio es Rock River, con un promedio de 58.3 mg/ml, encima de los demás cuerpos de agua.

#¿Qué sitios no difieren entre sí?
#Beaver Lake, Appletree Lake y Angler's Cove forman un grupo sin diferencias estadísticas significativas entre sí.
#Graysons Pond se mantiene como el sitio con concentraciones más bajas.
#Rock River destaca de manera aislada con valores mucho más altos.

#Desde el punto de vista ambiental, ¿qué implicaciones podrían tener estas

#diferencias en la calidad del agua?

#Rock River Si bien el estroncio estable no presenta una toxicidad elevada, esto puede ser señal de vulnerabilidad del sistema acuático a otros contaminantes. Además, su acumulación puede constituir un indicador de riesgo potencial para la potabilidad del agua y para el equilibrio ecológico de los ecosistemas acuáticos. (Malov & Laverov, 2023; Musgrove et al., 2020). En los sitios Beaver Lake, Angler's Cove y Appletree Lake presentan valores intermedios y similares, lo que sugiere una condición relativamente más estable y menos crítica. Graysons Pond, el de menor concentración, podría considerarse como referencia de un nivel menos alterado. (Musgrove et al., 2020; McPherson et al., 2014).

#Referencias bibliográficas

#Malov, A., & Laverov, N. (2023). Features of the Formation of Strontium Pollution of Drinking Groundwater and Associated Health Risks in the North-West of Russia. *Water*, 15(21), 3846. <https://doi.org/10.3390/w15213846>

#McPherson, C. A., Chapman, P. M., & McDonald, B. G. (2014). Development of a strontium chronic effects benchmark for aquatic life in freshwater. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(11), 2472-2478. <https://doi.org/10.1002/etc.2696>

#Musgrove, M. L., et al. (2020). The occurrence and distribution of strontium in U.S. groundwater. *Applied Geochemistry*, 121, 104867. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104867>