



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**EXPERIMENTACIÓN FORESTAL Y MÉTODOS**  
**ESTADÍSTICOS**

UNIDAD DE APRENDIZAJE

**DR. MARCO A. GONZÁLEZ TAGLE**

DOCENTE

**MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

PROGRAMA

**ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)**

EVIDENCIA

**ING. FRANCISCO SILVA RUIZ**

ALUMNO Y MATRICULA 1314498

**LINARES, N.L.**

**19 DE SEPTIEMBRE 2025**



## 1. Introducción

El análisis de varianza (ANOVA) es una herramienta estadística que permite evaluar si existen diferencias significativas entre las medias de varios grupos. En esta práctica se aplicó un ANOVA de una vía para analizar las concentraciones de estroncio en distintos sitios de muestreo, con el fin de determinar si hay variabilidad espacial significativa.

## 2. Objetivo

Evaluar si existen diferencias significativas en la concentración de estroncio entre seis sitios de muestreo mediante ANOVA de una vía y pruebas post hoc (LSD y Tukey HSD).

## 3. Hipótesis del análisis ANOVA

Para evaluar si existen diferencias significativas en la concentración de estroncio entre los sitios muestreados, se plantearon las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No existen diferencias significativas entre las medias de concentración de estroncio en los sitios evaluados.
- **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** Al menos uno de los sitios presenta una media significativamente distinta en concentración de estroncio.

El análisis de varianza (ANOVA) arrojó un valor de  $p < 0.001$ , lo que permite **rechazar la hipótesis nula** y confirmar que existen diferencias estadísticamente significativas entre los sitios. Este resultado justifica la aplicación de pruebas post hoc para identificar los grupos homogéneos.

## 4. Metodología

- ✓ **Datos:** Se utilizó un archivo Excel con concentraciones por sitio.
- ✓ **Transformación:** Los datos fueron convertidos a formato largo con `pivot_longer()` en R.



- ✓ **Análisis:** Se aplicó ANOVA de una vía con `aov()`, seguido de pruebas LSD (`LSD.test()`) y Tukey HSD (`TukeyHSD()`).
- ✓ **Software:** RStudio versión 4.5 con paquetes `readxl`, `tidyr` y `agricolae`.

## 5. Resultados

**ANOVA: `summary(modelo_anova)`**

**Tabla 1. Resultados del ANOVA de una vía.**

Fuente de variación	Df	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Valor p
Sitio	5	10058	2011.6	230.7	< 2e-16 ***
Residual	30	262	8.7	—	—

**Interpretación:** El análisis de varianza (ANOVA) arrojó un valor  $F = 230.7$  y un valor  $p < 0.001$ , lo que permite rechazar la hipótesis nula. Esto indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los sitios evaluados en cuanto a concentración de estroncio, justificando la aplicación de pruebas post hoc para identificar los grupos homogéneos.

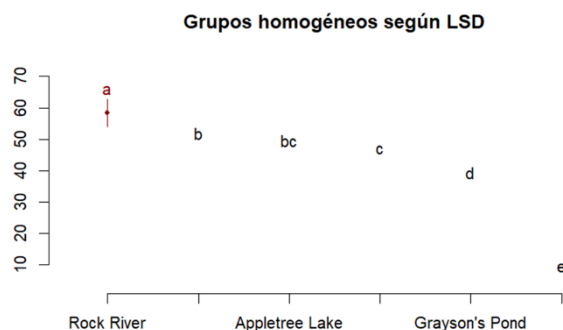
**Prueba LSD: `print(prueba_lsd$groups)`**

**Tabla 2. Agrupamiento de medias según prueba LSD.**

Sitio	Media	Grupo
Rock River	58.3	a
Angler's Cove	44.08	b
Appletree Lake	41.1	bc
Beaver lake	40.23	c



Grayson's Pond	32.08	d
Muestra	3.5	e



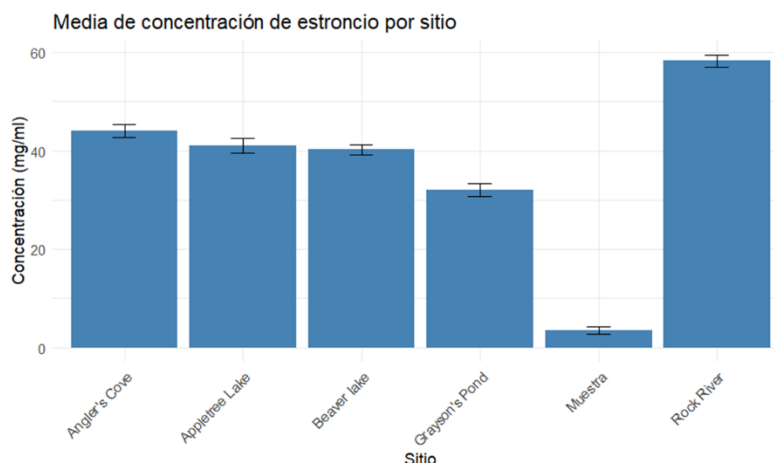
**Figura 1. Grupos homogéneos obtenidos con prueba LSD ( $p < 0.05$ ).** Se observan diferencias significativas entre los sitios evaluados. Rock River presenta las concentraciones más altas (grupo “a”), mientras que Muestra se ubica en el grupo más bajo (“e”). Las letras indican agrupamientos estadísticamente homogéneos; sitios con letras distintas difieren significativamente en sus medias.

**Interpretación:** Cada letra representa un grupo homogéneo. Sitios con letras distintas presentan diferencias significativas.

#### Prueba Tukey HSD: `print(tukey$Sitio)`

Ejemplos de comparaciones significativas:

- ✓ **Rock River vs Muestra:** Diferencia = 54.80,  $p < 0.0000000$
- ✓ **Grayson's Pond vs Angler's Cove:** Diferencia = -12.00,  $p < 0.0000011$
- ✓ **Appletree Lake vs Grayson's Pond:** Diferencia = -9.01,  $p < 0.0001395$



**Figura 2. Concentraciones de estroncio en cinco cuerpos de agua.** Se observa que Rock River (grupo “d”) presenta concentraciones significativamente mayores, mientras que Muestra (grupo “c”) se distingue por sus valores más bajos. Los grupos homogéneos fueron definidos mediante la prueba de Tukey HSD ( $p < 0.05$ ).

**Interpretación:** La prueba Tukey confirmó diferencias significativas entre múltiples pares de sitios, reforzando los resultados del ANOVA y LSD.

## 6. Conclusión

En conclusión, el análisis estadístico confirma diferencias significativas en las concentraciones de estroncio entre los sitios evaluados. Más allá del hallazgo numérico, los resultados tienen implicaciones ambientales relevantes, pues la mayor concentración registrada en *Rock River* podría estar vinculada a fuentes de contaminación localizadas. Esto refuerza la necesidad de incluir este tipo de monitoreos en planes de gestión forestal y conservación de cuencas, considerando que la calidad del agua es un componente esencial de los servicios ecosistémicos. Futuras investigaciones deberían integrar variables adicionales (pH, conductividad, presencia de otros metales) y vincular los resultados con normativas ambientales para evaluar riesgos potenciales.



## Discusión ambiental

Los resultados muestran que *Rock River* concentra niveles significativamente más altos de estroncio en comparación con el resto de los sitios. Este hallazgo sugiere una posible influencia de actividades antropogénicas, como descargas agrícolas, industriales o procesos de lixiviación de suelos, que pueden incrementar la presencia de metales y elementos traza en cuerpos de agua (Martínez et al., 2020). La presencia elevada de estroncio es relevante porque, aunque en bajas concentraciones puede estar naturalmente presente en suelos calcáreos, en altos niveles representa un riesgo potencial de bioacumulación en organismos acuáticos, con efectos negativos sobre peces y macroinvertebrados (WHO, 2017). Además, concentraciones elevadas podrían comprometer la calidad del agua para consumo humano y afectar la sostenibilidad de los ecosistemas ribereños. Por tanto, las diferencias detectadas en este análisis no solo son estadísticamente significativas, sino también ambientalmente relevantes, y deberían ser consideradas en programas de monitoreo y gestión forestal.