



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA



Doctorado en Ingeniería y Ciencias Ambientales - DICA

Curso: Diseño y Análisis de Experimentos en Ingeniería y Ciencias Ambientales

Tema: *Práctica 5: Pruebas estadísticas, arreglo factorial*

Docente:

-PhD. Christian René Encina Zelada

Estudiantes:

- Agatha Prado Gárate
- Gustavo De la Cruz Montalvo
- Jhonsy O. Silva López
- José Zevallos Ruiz



30 setiembre de 2024, LIMA - PERÚ





1. Artículo

The Influence of Climate, Soil Properties and Vegetation on Soil Nitrogen in Sloping Farmland

by Shanshan Liu ¹ ✉, Tianling Qin ^{1,*} ✉, Biqiong Dong ¹ ✉, Xuan Shi ² ✉, Zhenyu Lv ¹ ✉ and Guangjun Zhang ³ ✉

¹ State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China

² College of Engineering, San Jose State University, San Jose, CA 95192, USA

³ College of Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China

* Author to whom correspondence should be addressed.

Sustainability **2021**, *13*(3), 1480; <https://doi.org/10.3390/su13031480>

Submission received: 18 December 2020 / Revised: 18 January 2021 / Accepted: 22 January 2021 / Published: 1 February 2021

Download ▾

Browse Figures

Versions Notes

Abstract

Soil nitrogen in farmland ecosystems is affected by climate, soil physical and chemical properties and planting activities. To clarify the effects of these factors on soil nitrogen in sloping farmland quantitatively, the distribution of soil total nitrogen (TN) content, nitrate nitrogen (NO₃-N) content and ammonium nitrogen (NH₄-N) content at depth of 0–100 cm on 11 profiles of the Luanhe River Basin were analyzed. Meanwhile, soil physical and chemical properties, climatic factors and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) were used to construct a structural equation which reflected the influence mechanism of environmental factors on soil nitrogen concentration. The results showed that TN and NO₃-N content decreased with the increase of soil depth in the Luanhe River Basin, while the variation of NH₄-N content with soil depth was not obvious. Soil organic carbon (SOC) content, soil pH, soil area average particle size (SMD) and NDVI6 (NDVI of June) explained variation of TN content by 77.4%. SOC was the most important environmental factor contributing to the variation of TN content. NDVI5 (NDVI of May), annual average precipitation (MAP), soil pH and SOC explained 49.1% variation of NO₃-N content. Among all environmental factors, only NDVI8 (NDVI of August) had significant correlation with soil NH₄-N content, which explained the change of NH₄-N content by 24.2%. The results showed that soil nitrogen content in the sloping farmland ecosystem was mainly affected by natural factors such as soil parent material and climate.

Keywords: sloping farmland; soil nitrogen; structure equation; soil physicochemical properties; climate; NDVI

Liu et al. (2021)

<https://doi.org/10.3390/su13031480>



sustainability



ELSEVIER
Scopus

2. Objetivos

Objetivo general

- ✓ Evaluar el impacto de la **profundidad del suelo** y el **tipo de suelo** sobre los niveles de **pH**, **contenido de carbono orgánico del suelo (SOC)**, **nitrógeno total (TN)**, **nitrógeno de nitrato (NO_3^-)** y **nitrógeno de amonio (NH_4^+)** en diferentes capas de suelo, con el fin de entender cómo las características edáficas influyen en la **distribución del nitrógeno** en suelos inclinados.

Objetivos específicos

- ✓ Determinar cómo varía el contenido de **pH**, **contenido de carbono orgánico del suelo (SOC)**, **nitrógeno total (TN)**, **nitrógeno de nitrato (NO_3^-)** y **nitrógeno de amonio (NH_4^+)** en función de la **profundidad del suelo** en cinco niveles (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm y 80-100 cm).
- ✓ Analizar la influencia de los **tipos de suelo** (marrón, canela y aluvial) sobre los niveles de **pH**, **contenido de carbono orgánico del suelo (SOC)**, **nitrógeno total (TN)**, **nitrógeno de nitrato (NO_3^-)** y **nitrógeno de amonio (NH_4^+)**, y cómo interactúan con la **profundidad del suelo** para afectar la **dinámica del nitrógeno**.

3. Marco Teórico

55 muestras en China

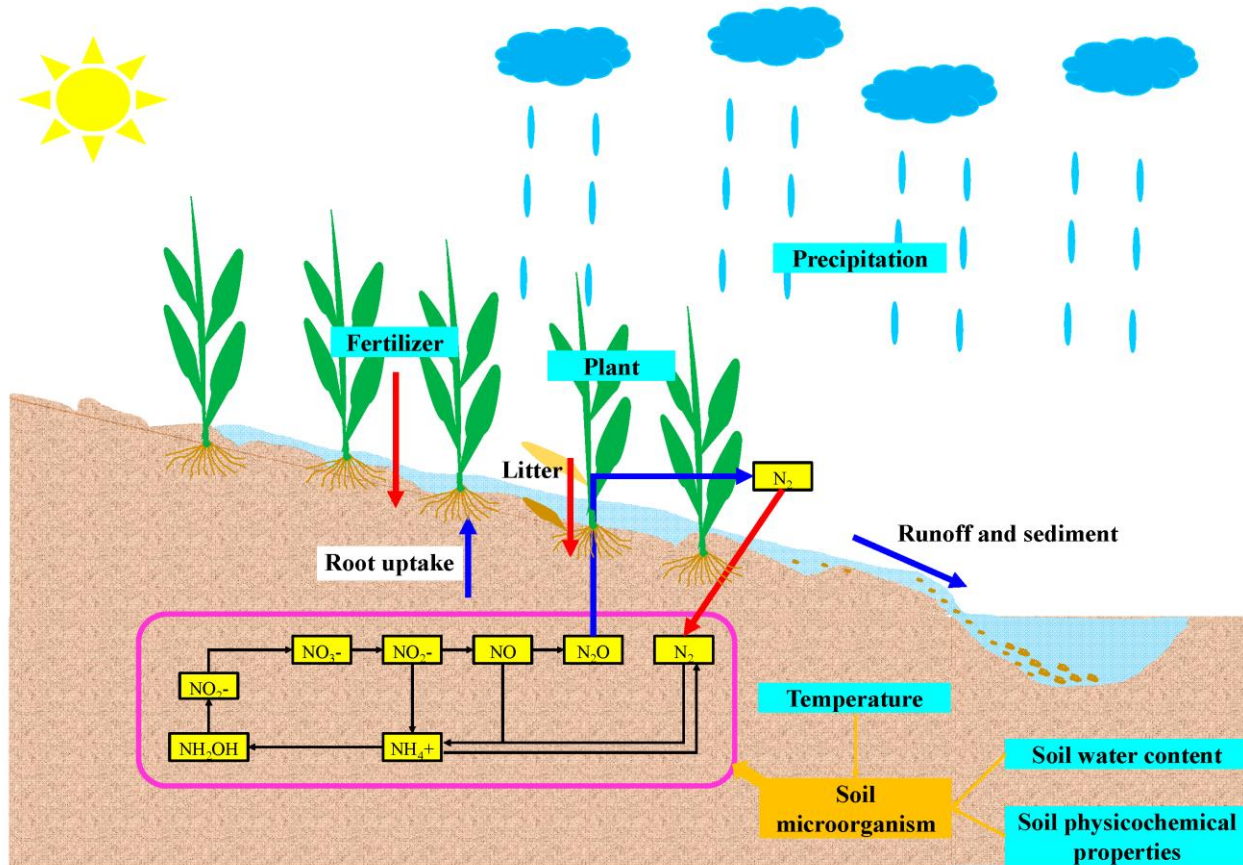


Figura. Ciclo del nitrógeno del suelo en tierras agrícolas en pendiente

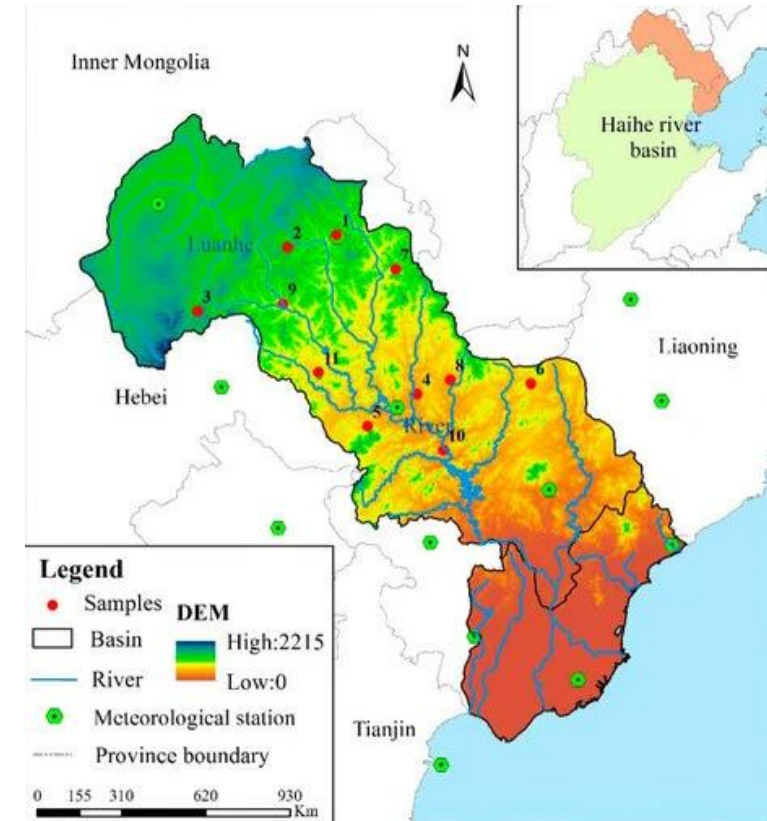


Figura. Área de estudio

pH

Profundidad del suelo

Tipo de suelo

Climatología

3. Marco Teórico

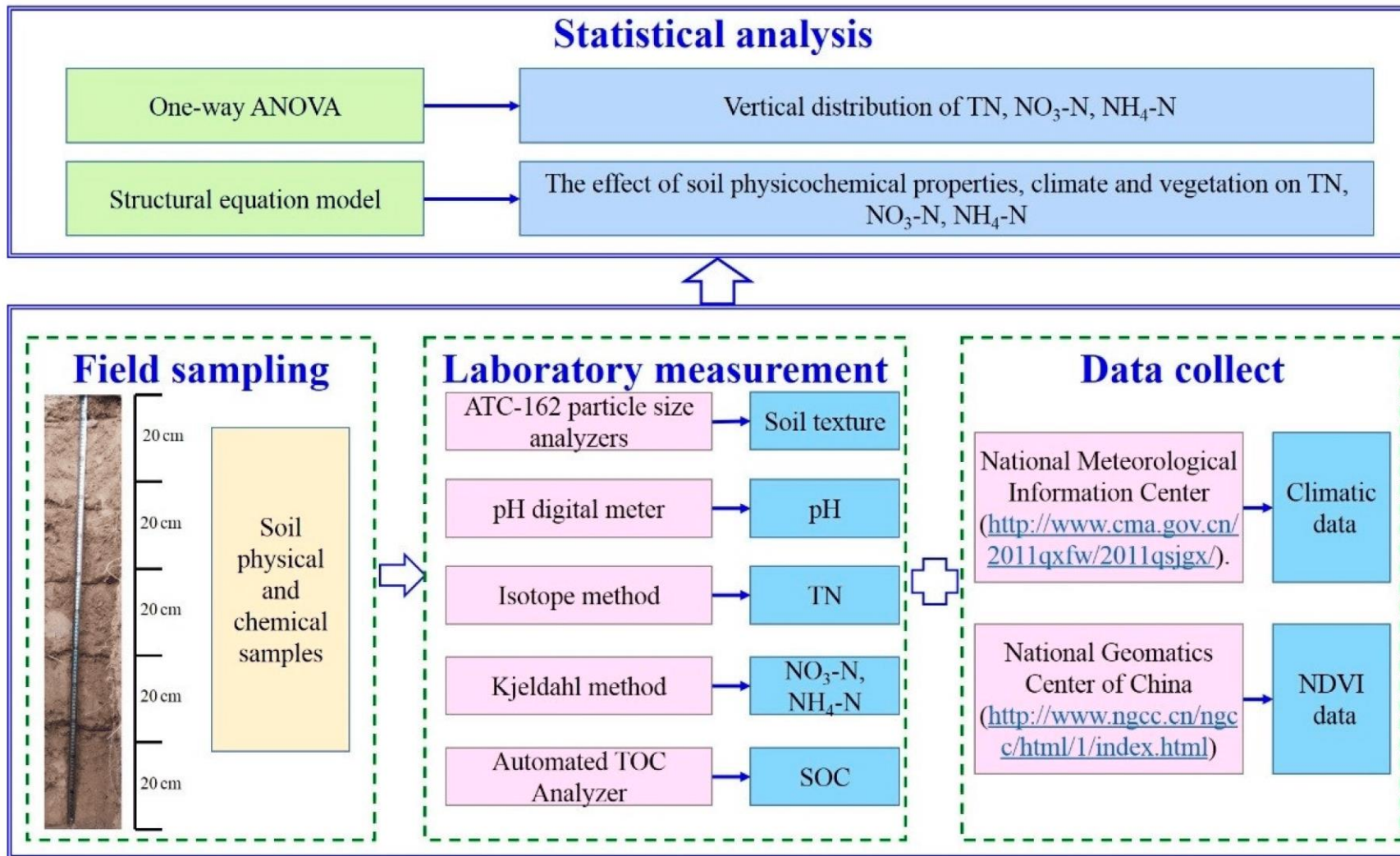


Figura. Flujo de trabajo de investigación.

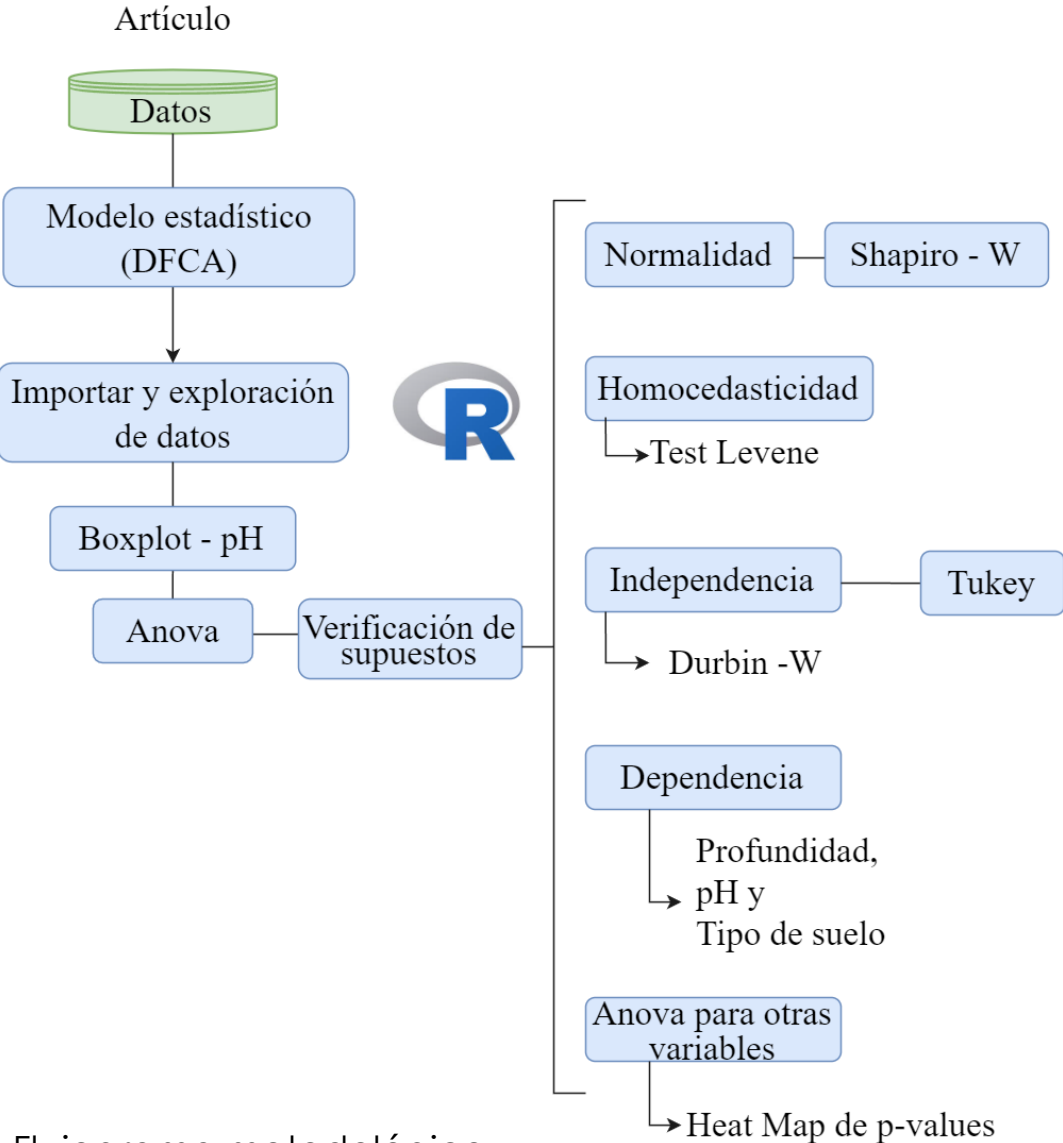


Tabla Identificación de factores y variables respuesta	
Ai: Factor 1	Niveles de profundidad del suelo:
	-0 a 20 cm
	-20 a 40 cm
	-40 a 60 cm
	-60 a 80 cm
	-80 a 100 cm
Bj: Factor 2	Tipo de suelo:
	-Marron
	-Canela
	-Aluvial
Variable respuesta	pH , contenido de carbono orgánico del suelo (SOC), Nitrógeno total (TN), Nitrógeno de Nitrato (NO ₃ ⁻) y Nitrógeno de Amonio (NH ₄ ⁺).

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} : Observación de la variable respuesta (**pH**, contenido de carbono orgánico del suelo (SOC), Nitrógeno total (TN), Nitrógeno de Nitrato (NO₃⁻) o Nitrógeno de Amonio (NH₄⁺)) en el **i-ésimo nivel de Profundidad del suelo** y el **j-ésimo nivel del Tipo de suelo** en la **k-ésima repetición**.

A_i: Efecto del **i-ésimo nivel de la profundidad del suelo**

B_j: Efecto del **j-ésimo nivel del tipo de suelo**

AB_{ij}: Efecto de la **interacción** entre los niveles de **profundidad del suelo** y el **tipo de suelo** sobre las variables de nitrógeno.

ϵ_{ijk} : Error experimental asociado a la variabilidad no explicada.

Figura. Flujograma metodológico



4. Metodología



Material Suplementario .pdf

Table S1 Table with raw data might be useful to appreciate real differences between soils.

Sampling points	Soil depth	TN (g/kg)	NO3-N (mg/kg)	NH4-N (mg/kg)	SOC (g/kg)	pH	SMD (µm)	Soil type
1	0-20cm	0.68	22.8	2.42	6.73	6.5	66.53	brown soil
2	0-20cm	0.45	11.7	2.44	8.06	6.2	62.7	brown soil
3	0-20cm	0.96	10.4	2.42	8.35	8.2	67.9	brown soil

		B. Tipo de suelo		
		Marrón	Canela	Aluvial
A. Profundidad	0-20	6.5	8.2	7.5
		6.2	5.1	7.9
		8.2	6.4	7.7
		8.2	5.3	7.7
		7.3	5.3	7.7
	20-40	7.5	8.2	7.5
		7	7	8.1
		8.3	7.3	7.8
		8	7.5	7.8
		7.7	8.1	7.8
	40-60	8.1	8.2	8.2
		7.8	7.8	8.2
		8.3	7.2	8.2
		8.2	7.4	8.2
		8.2	8.3	8.2
	60-80	8.1	8.1	8.3
		7.6	7.9	8.2
		8.2	7.6	8.3
		8.2	7.1	8.3
		8.2	8.3	8.3
80-100	8.1	8.1	8.3	
	7.6	7.5	8.2	
	8.4	7.6	8.3	
	7.9	6.6	8.3	
	8	8.2	8.3	



Licencias.txt		Datos_informe5.csv	
File	Edit	View	
Puntos de muestra;Profundidad del suelo;Tipo de suelo;NT (g/kg);NO3-N (mg/kg);NH4-N (mg/kg);SOC (g/kg);pH;SMD (um)			
1;0-20;Marron;0.68;22.8;2.42;6.73;6.5;66.53			
2;0-20;Marron;0.45;11.7;2.44;8.06;6.2;62.7			
3;0-20;Marron;0.96;10.4;2.42;8.35;8.2;67.9			
4;0-20;Canela;1.04;8.96;2.41;8.53;8.2;151.59			
5;0-20;Canela;0.81;16.1;3.21;7.95;5.1;105.36			
6;0-20;Canela;0.98;21.6;3.25;9.51;6.4;120.85			
7;0-20;Canela;1.05;95.2;3.28;10.61;5.3;75.02			
8;0-20;Canela;0.66;35.9;3.11;6.84;5.3;178.56			
9;0-20;Aluvial;0.69;15.8;2.7;6.96;7.5;101.91			
10;0-20;Aluvial;1.03;16.4;2.36;8.7;7.9;70.89			
11;0-20;Marron;0.82;26.6;2.42;7.83;8.2;77.1			
1;20-40;Marron;0.86;10.6;2.42;8.29;7.5;73.97			
2;20-40;Marron;0.4;15.7;2.88;4.49;7;70.53			
3;20-40;Marron;1.01;4.21;2.94;8.41;8.3;74.84			
4;20-40;Canela;0.99;27.8;2.44;7.08;8.2;140.84			
5;20-40;Canela;0.53;13.8;2.44;5.39;7;74.24			
6;20-40;Canela;0.53;16.1;2.75;5.49;7.3;79.85			
7;20-40;Canela;1.01;91;2.67;10.21;7.5;61.07			
8;20-40;Canela;0.75;14.4;2.91;3.4;8.1;74.41			
9;20-40;Aluvial;0.31;10.8;2.6;3.58;7.5;107.58			
10;20-40;Aluvial;1.05;22.9;2.39;7.66;8.1;45.46			
11;20-40;Marron;0.89;32.2;2.38;8.47;8;120.36			
1;40-60;Marron;0.78;7.88;2.53;7.31;8.1;77.2			
2;40-60;Marron;0.36;12.9;2.94;3.8;7.8;72.42			
3;40-60;Marron;1.26;7.59;2.89;10.5;8.3;68.32			
4;40-60;Canela;0.63;46.1;2.13;4.21;8.2;121.02			
5;40-60;Canela;0.63;10.3;2.28;6.15;7.8;45.63			
6;40-60;Canela;0.49;25.8;2.67;5.39;7.2;113.97			
7;40-60;Canela;0.47;25.3;2.27;4.88;7.4;78.01			
8;40-60;Canela;1.13;14.8;2.92;4.23;8.3;33.24			
9;40-60;Aluvial;0.23;8.66;2.5;3.23;8.2;78.24			
10;40-60;Aluvial;0.66;10.5;2.69;6.38;8.2;52.57			
11;40-60;Marron;0.49;33.1;2.27;4.79;8.2;122.39			
1;60-80;Marron;0.54;9.95;2.72;5.31;8.1;73.56			
2;60-80;Marron;0.31;6.82;2.88;3.38;7.6;66.57			



4. Metodología

4.1. Desarrollo de Script

```
1 library(lmtest)
2 library(colormap)
3 library(car)
4 library(agricolae)
5 library(ggplot2)
6 library(reshape2)
7
8 rm(list=ls())
9 setwd('C:/Users/ASUS/Documents/Doctorado/Ciclo2/DiseñosExperimentales/practica5')
10
11 # -----
12 # ----- IMPORTAR DATOS Y ESTABLECER FACTORES -----
13 # -----
14
15 datos = read.csv("C:/Users/GUSTAVO/Documents/Doctorado/Ciclo2/DiseñosExperimentales/practica5/Datos_informe5.csv",
16                 sep = ';', header=T, dec=".")
17 colnames(datos)
18 datos$Profundidad.del.suelo = as.factor(datos$Profundidad.del.suelo)
19 datos$Tipo.de.suelo = as.factor(datos$Tipo.de.suelo)
20
21
22 #-----
23 #----- Pruebas estadísticas -----
24 #-----
25
26 #-----
27 #----- ANOVA -----
28 #-----
29 res.aov <- aov(pH ~ Profundidad.del.suelo +Tipo.de.suelo+ Profundidad.del.suelo *Tipo.de.suelo , data = datos)
30 summary(res.aov)
31
32 #-----
33 #----- Verificación supuestos ANOVA -----
```




4. Metodología

4.2. Análisis exploratorio

Pruebas estadísticas

```
library(lmtest)  
library(colormap)  
library(car)  
library(agricolae)  
library(ggplot2)  
library(reshape2)
```

ANOVA (Análisis de Varianza): Técnica para comparar las medias de tres o más grupos para verificar si al menos una es significativamente diferente (Montgomery, 2017).

Tukey: Prueba post hoc que identifica qué grupos tienen diferencias significativas tras un ANOVA (Tukey, 1977).

Shapiro-Wilk: Prueba de normalidad que evalúa si los datos siguen una distribución normal (Shapiro & Wilk, 1965).

Bartlett: Prueba que verifica la homogeneidad de varianzas entre varios grupos (Bartlett, 1937).

Levene: Prueba estadística inferencial utilizada para evaluar la igualdad de las varianzas

5. Resultados

5.1. *Importación* y exploración de datos

```
1 library(lmtest)
2 library(colormap)
3 library(car)
4 library(agricolae)
5 library(ggplot2)
6 library(reshape2)
7
8 rm(list=ls())
9 setwd('C:/Users/GUSTAVO/Documents/Doctorado/Ciclo2/DiseñosExperimentales/practica5')
10
11 # -----
12 # ---- IMPORTAR DATOS Y ESTABLECER FACTORES ----
13 # -----
14
15 datos = read.csv("C:/Users/GUSTAVO/Documents/Doctorado/Ciclo2/DiseñosExperimentales/practica5/Datos_informe5.csv",
16                 sep = ';', header=T, dec=".")
17 colnames(datos)
18 datos$Profundidad.del.suelo = as.factor(datos$Profundidad.del.suelo)
19 datos$Tipo.de.suelo = as.factor(datos$Tipo.de.suelo)
```



"Datos_informe5.csv"

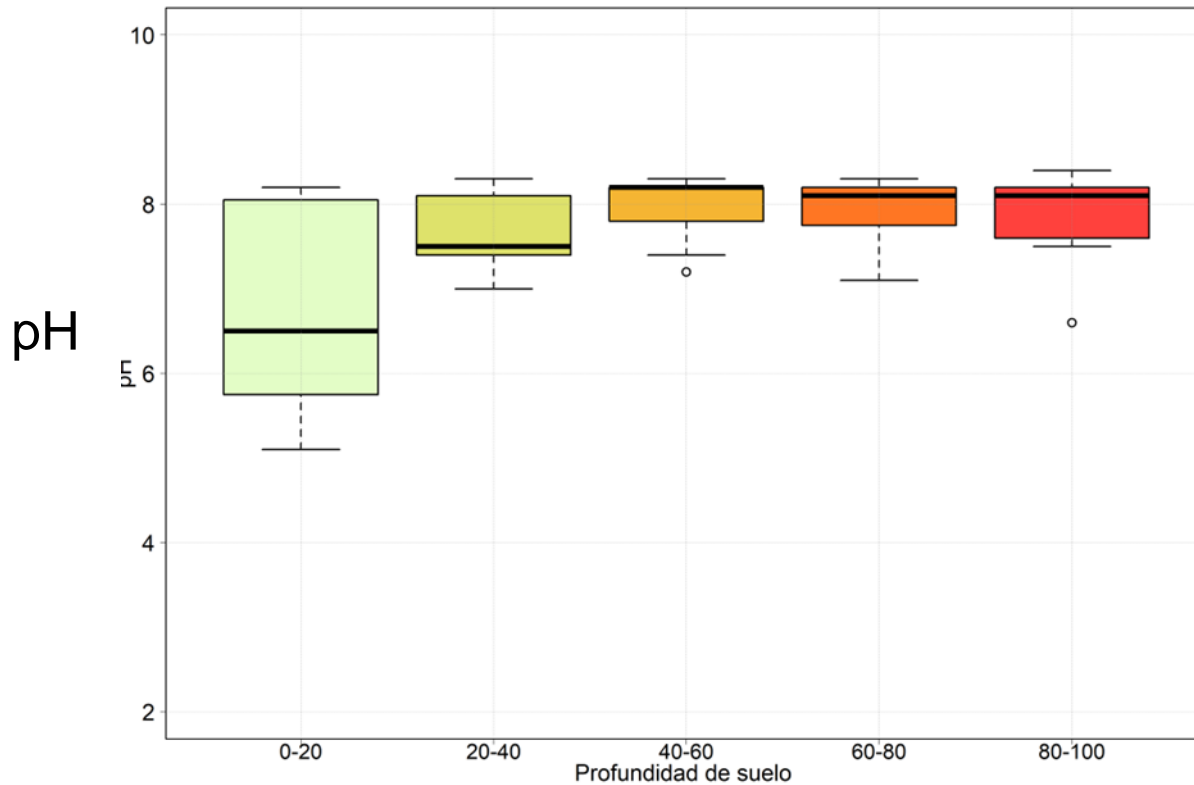
Importación de datos en *.csv

Establecer factores:

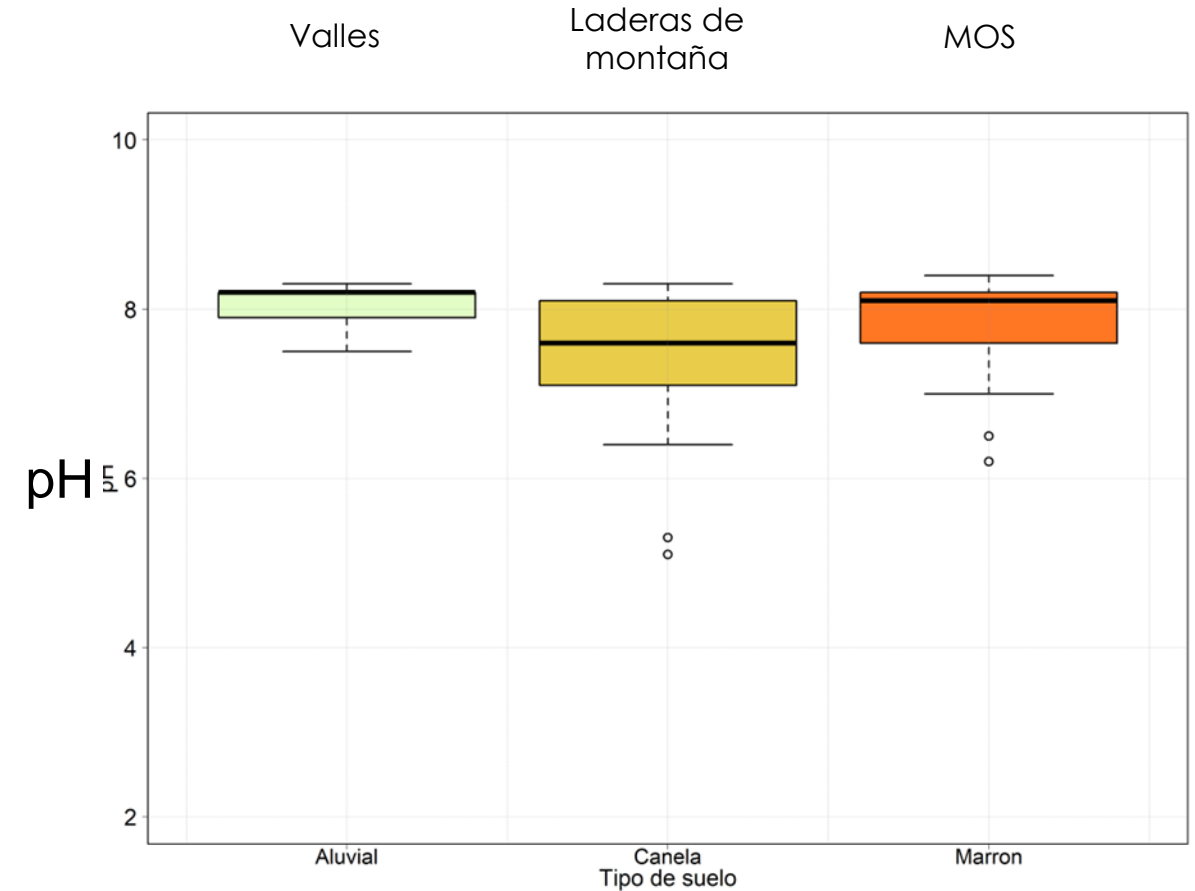
- Tipo de suelo
- Profundidad del suelo

5. Resultados

5.1. Importación y exploración de datos



Serie temporal de valores de **pH** de acuerdo a la profundidad del suelo (cm)

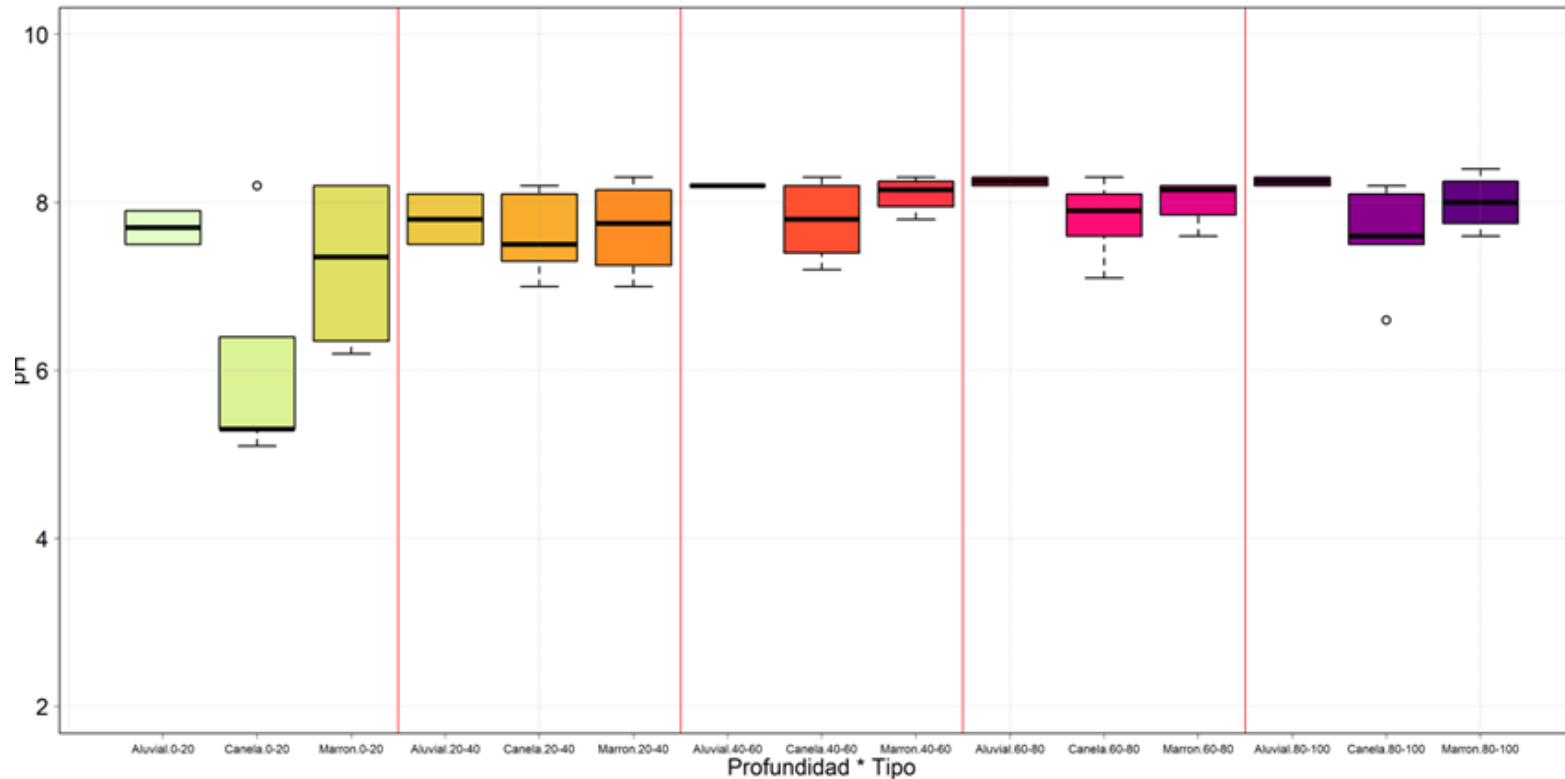


Boxplots de valores de **pH** de acuerdo al tipo de suelo

5. Resultados

5.1. Importación y exploración de datos

pH



Menores pH para
suelos de **0-20cm**
con tipo **Canela** y
Marrón

Boxplots de valores de **pH** de acuerdo a las combinaciones de **profundidad** del suelo y **tipo de suelo**

5. Resultados

Pruebas estadísticas

5.3. Prueba ANOVA

```
> #-----ANOVA -----
> #-----
> #-----
> res.aov <- aov(pH ~ Profundidad.del.suelo +Tipo.de.suelo+ Profundidad.del.suelo *Tipo.de.suelo , data = datos)
> summary(res.aov)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Profundidad.del.suelo	4	10.686	2.6715	6.394	0.000448 ***
Tipo.de.suelo	2	4.029	2.0144	4.821	0.013308 *
Profundidad.del.suelo:Tipo.de.suelo	8	2.667	0.3334	0.798	0.607784
Residuals	40	16.713	0.4178		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

ANOVA de efectos en Profundidad del suelo y Tipo de suelo y Malla sobre el pH

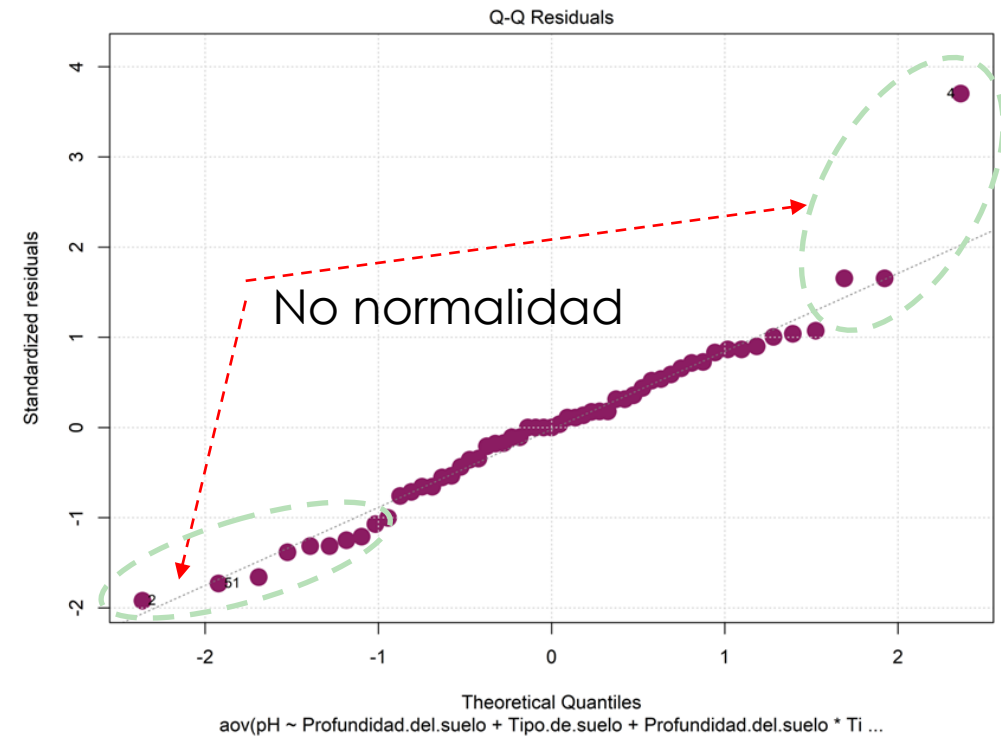
5.4. Verificación de supuesto de ANOVA

a) Verificación de normalidad

```
> #----- Verificación supuestos ANOVA -----
> #-----
> #----- Normalidad -----
> aov_residuales <- residuals(object = res.aov )
> shapiro.test(x = aov_residuales )
```

Shapiro-wilk normality test

data: aov_residuales
W = 0.94388, p-value = 0.01245



QQ-Plot de los residuos

Pruebas estadísticas

5.4. Verificación de supuesto de ANOVA

b) Verificación de homocedasticidad

```
> #----- Verificar homogeneidad de varianzas -----  
> #---- Con Levene  
> #---- Null Hypothesis: All population variances are equal  
> #---- Alternative Hypothesis: At least two of them differ  
> leveneTest(pH ~ Profundidad.del.suelo, data=datos)  
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)  
      Df F value    Pr(>F)      
group  4  6.9624 0.000155 ***  
      50  
---  
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
> leveneTest(pH ~ Tipo.de.suelo, data=datos)  
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)  
      Df F value    Pr(>F)      
group  2  2.9823 0.05941 .  
      52  
---  
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Diferencias significativas en las varianzas

No se rechaza hipótesis nula de igualdad de varianzas

test de Levene para 2 factores independientes.

5.5. Independencia de residuos

```
> #----- Durbin-Watson  
> result<-dwtest(res.aov)  
> print(result)  
  
Durbin-Watson test  
data:  res.aov  
DW = 2.1043, p-value = 0.1121  
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

Los residuos del modelo no presentan autocorrelación significativa

Prueba de **Durbin-Watson**

5.6. Prueba de Post hoc

```
> TurkeyMetodo1<-HSD.test(res.aov,"Tipo.de.suelo",alpha=0.05,group = T)
> TurkeyMetodo1
$statistics
  MSerror Df      Mean      CV
0.417825 40 7.656364 8.44257

$parameters
  test      name.t ntr StudentizedRange alpha
Tukey Tipo.de.suelo  3      3.442082  0.05

$means
      pH      std  r      se Min Max  Q25 Q50 Q75
Aluvial 8.040 0.3062316 10 0.2044077 7.5 8.3 7.95 8.2 8.2
Canela  7.372 0.9615612 25 0.1292788 5.1 8.3 7.10 7.6 8.1
Marron  7.820 0.6083628 20 0.1445381 6.2 8.4 7.60 8.1 8.2

$comparison
NULL

$groups
      pH groups
Aluvial 8.040    a
Marron  7.820   ab
Canela  7.372    b

attr(,"class")
[1] "group"
```

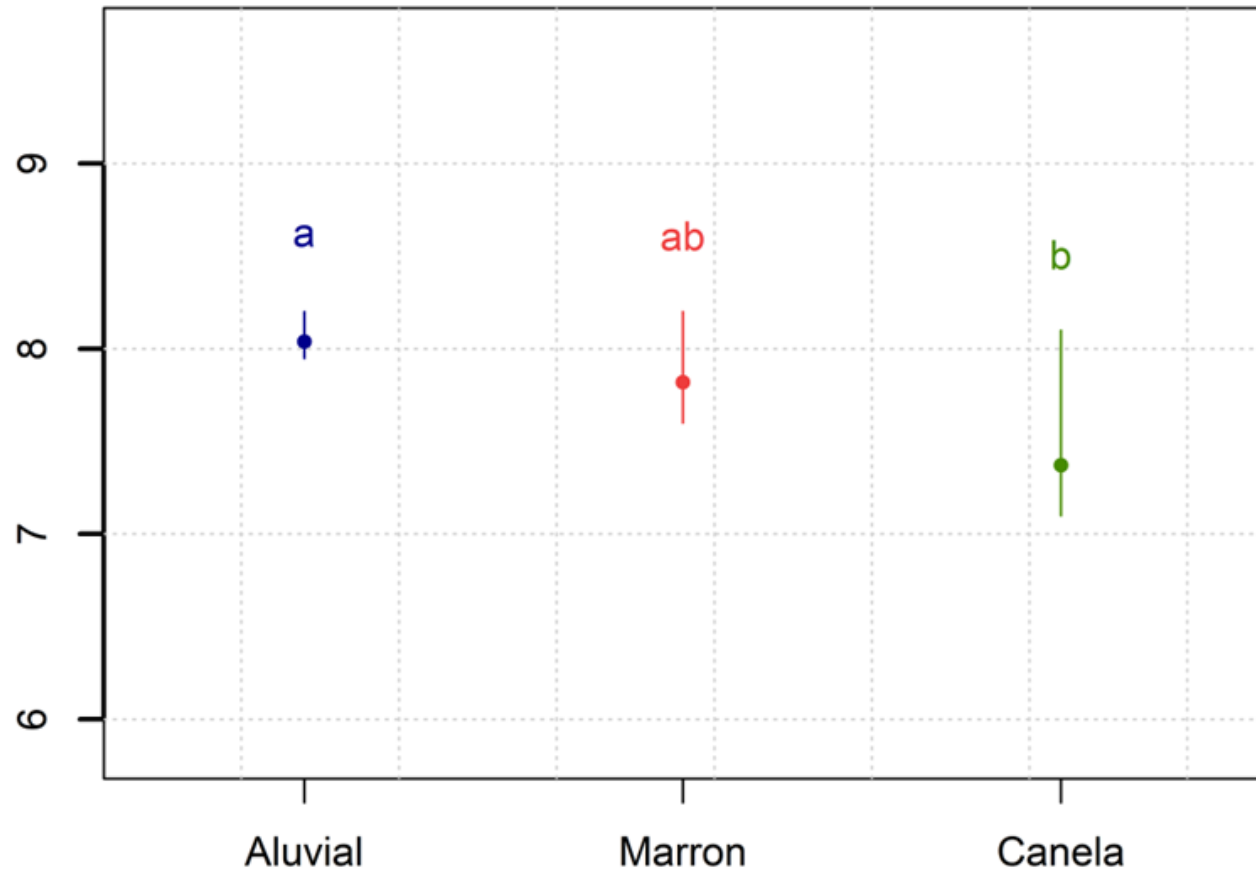
El **suelo Aluvial** tiene el pH más alto (media = 8.040), seguido por el **suelo Marrón** (media = 7.820), y el suelo Canela tiene el pH más bajo (media = 7.372). Según el agrupamiento de letras ("a" y "b"), los suelos **Aluvial** y **Canela** son significativamente **diferentes** en términos de pH, mientras que el suelo **Marrón** es **similar al suelo Aluvial** (comparten la letra "a") pero también tiene **cierta similitud con el suelo Canela** (comparte "b")

5.6. Prueba de Post hoc

Varianza y promedio del peso para diferentes tipos de suelo

El suelo **Marrón** tiene un pH intermedio que **no difiere** de forma significativa con respecto **a los otros dos tipos** de suelos.

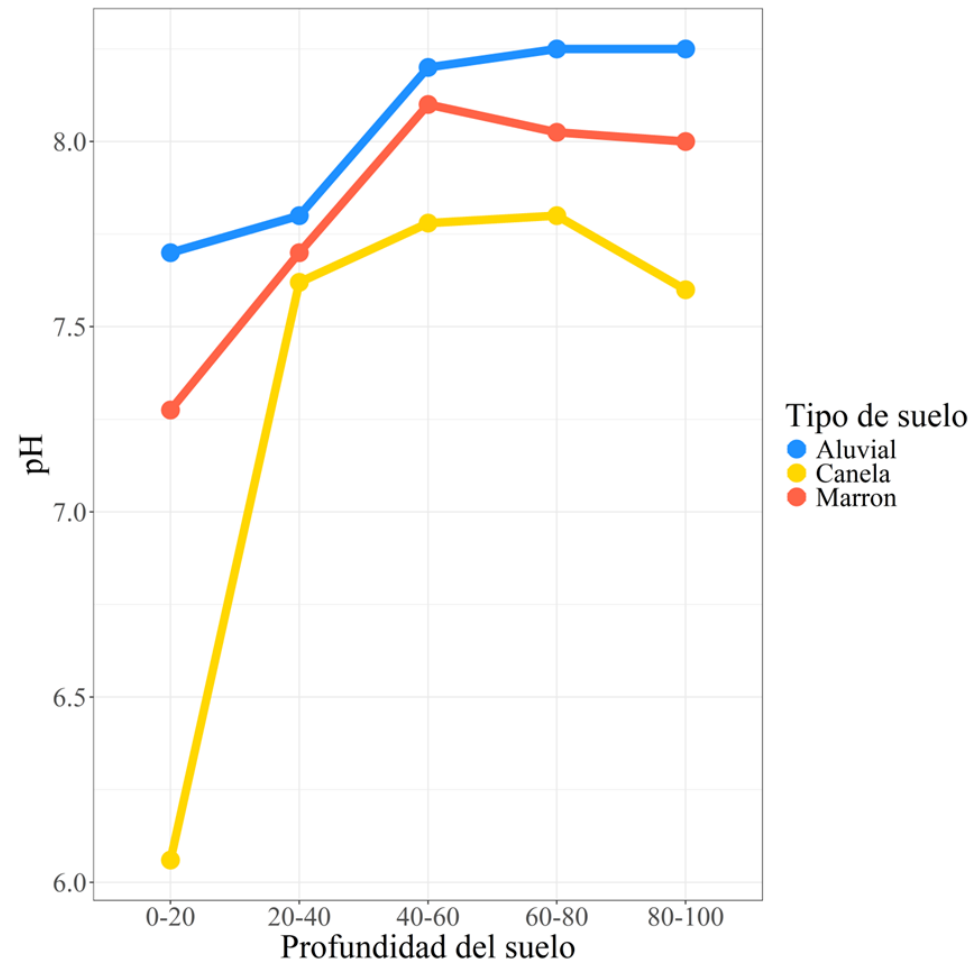
Groups and Interquartile range



5. Resultados

Pruebas estadísticas

5.7. Análisis de dependencia



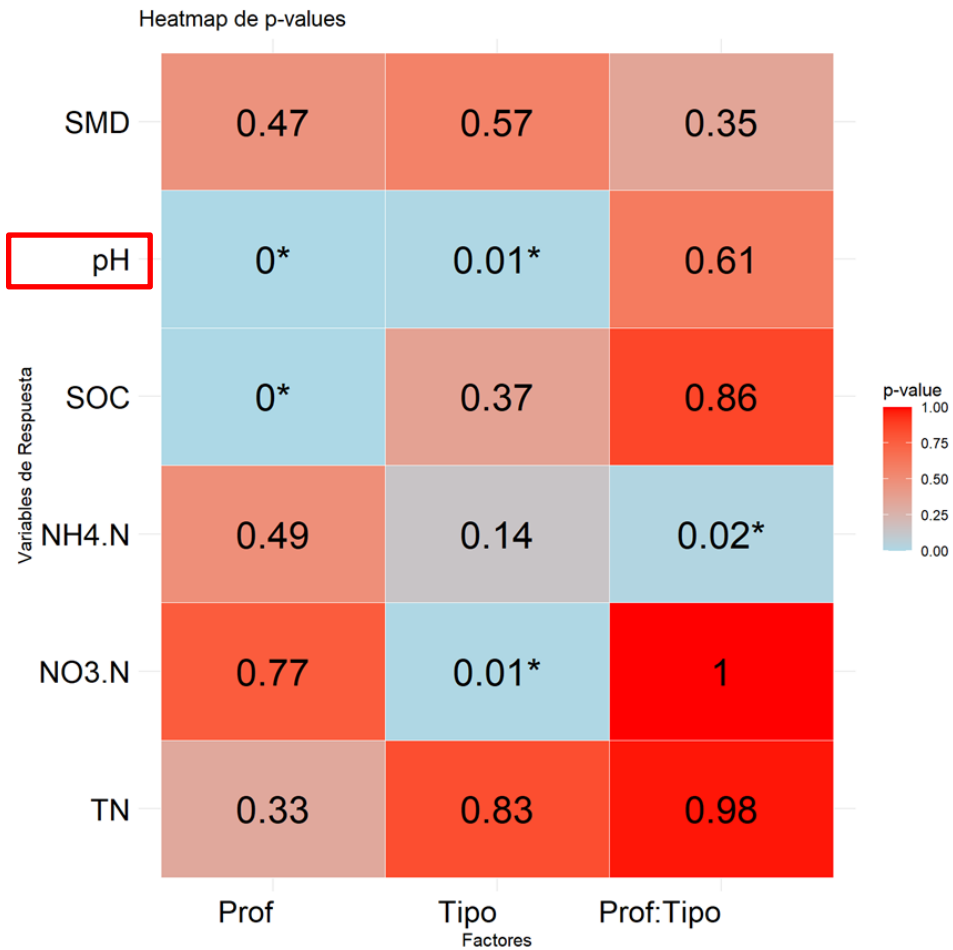
Dependencia de los factores tipo de suelo y profundidad de acuerdo al pH.

5. Resultados

Pruebas estadísticas

5.8. Análisis de ANOVA para otras variables respuesta

Variables
respuestas



Heat Map de **p-values** de prueba ANOVA considerando diferentes variables respuestas.

La humedad del suelo (**SMD**) y el contenido total de nitrógeno (**TN**) **no muestran una influencia significativa** de ninguno de los factores



6. Conclusión

Los resultados del ANOVA indicaron que tanto la profundidad como el tipo de suelo tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el pH del suelo, pero **no se encontró interacción significativa entre estos dos factores**. La prueba de Shapiro-Wilk mostró que **no se cumplió** completamente el supuesto de **normalidad** de los residuos. La prueba de Levene confirmó **homocedasticidad solo para el factor “tipo de suelo”**. Esto sugiere que los resultados del ANOVA deben interpretarse con cautela debido a la posible violación de estos supuestos.

Los análisis **post hoc**, como la prueba de Tukey, identificaron diferencias significativas en el pH entre los distintos tipos de suelo. Estas diferencias indican una variación considerable del pH en función del tipo de suelo a diferentes profundidades. Sin embargo, la **combinación de profundidad y tipo de suelo no mostró un efecto** significativo sobre el **pH**.

En cuanto a otras variables de respuesta, el contenido de compuestos orgánicos (SOC) y el amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$) presentaron variaciones significativas relacionadas con la profundidad y la interacción entre los factores. Otras variables, como el contenido de humedad del suelo (**SMD**) y el nitrógeno total (**TN**), **no mostraron cambios significativos** frente a la variación de estos factores.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA



Doctorado en Ingeniería y Ciencias Ambientales - DICA

Curso: Diseño y Análisis de Experimentos en Ingeniería y Ciencias Ambientales

Tema: *Práctica 5: Pruebas estadísticas, arreglo factorial*

Docente:

-**PhD.** Christian René Encina Zelada

Estudiantes:

- Agatha Prado Gárate
- Gustavo De la Cruz Montalvo
- Jhonsy O. Silva López
- José Zevallos Ruiz



30 setiembre de 2024, LIMA - PERÚ

