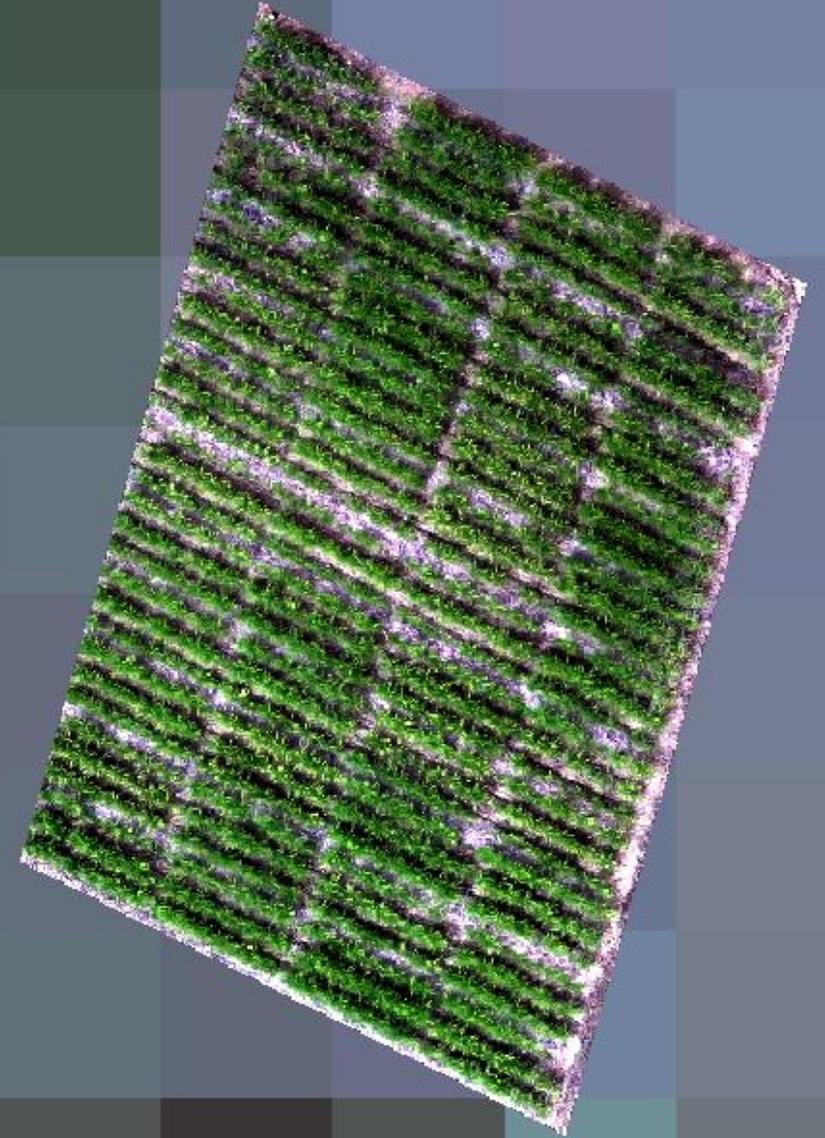
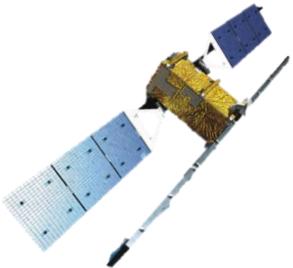


# “Determinación de la densidad aparente”

## Agricultura Digital”

Diego Fernando Angrino Chiran  
Sebastian Anderson Guerrero  
Oscar Javier Munar Vivas





# índice

1. Mapeo y evaluación digital de suelos: “Funciones de Pedotransferencia (PTFs) para determinar Densidad Aparente del suelo”

## Densidad del suelo ( $\rho_b$ )

Una propiedad física del suelo utilizada comúnmente como:

- Indicador de la compactación del suelo
- Estado de aireación del suelo (Porosidad)

Es necesaria para:

- Convertir el contenido de agua en el suelo
- Calcular los valores de los nutrientes disponibles en el suelo

Brady, Nyle & Weil, Ray. 2017. The Nature and Properties of Soils. Pearson. Global Edition.

Muestreo para determinar la densidad aparente del suelo



## Densidad del suelo ( $\rho_b$ )



Es definida como la relación entre la masa de una muestra de suelo ( $M$ ) y su volumen aparente ( $V$ )

$$\rho_b = \frac{M}{V}$$

La masa se obtiene secando la muestra hasta un peso constante a  $105^{\circ}\text{C}$ , y el volumen aparente es el de las partículas del suelo más el espacio poroso en el momento del muestreo.

Las unidades del Sistema Internacional (SI)  $\text{Mg}/\text{m}^3 = \text{g}/\text{cm}^3$

Brady, Nyle & Weil, Ray. 2017. The Nature and Properties of Soils. Pearson. Global Edition.

## Densidad del suelo ( $\rho_b$ )

La porosidad ( $\epsilon$ ) es el espacio poroso total por unidad de volumen de suelo,  $m^3 / m^3$ , y está relacionada con  $\rho_b$  de la siguiente manera:

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

Donde:  $\rho_s$  es la densidad de partículas,  $Mg/m^3$

Los cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo debido a la relación entre la densidad aparente y la porosidad total

Brady, Nyle & Weil, Ray. 2017. The Nature and Properties of Soils. Pearson. Global Edition.



## Densidad del suelo ( $\rho_b$ )

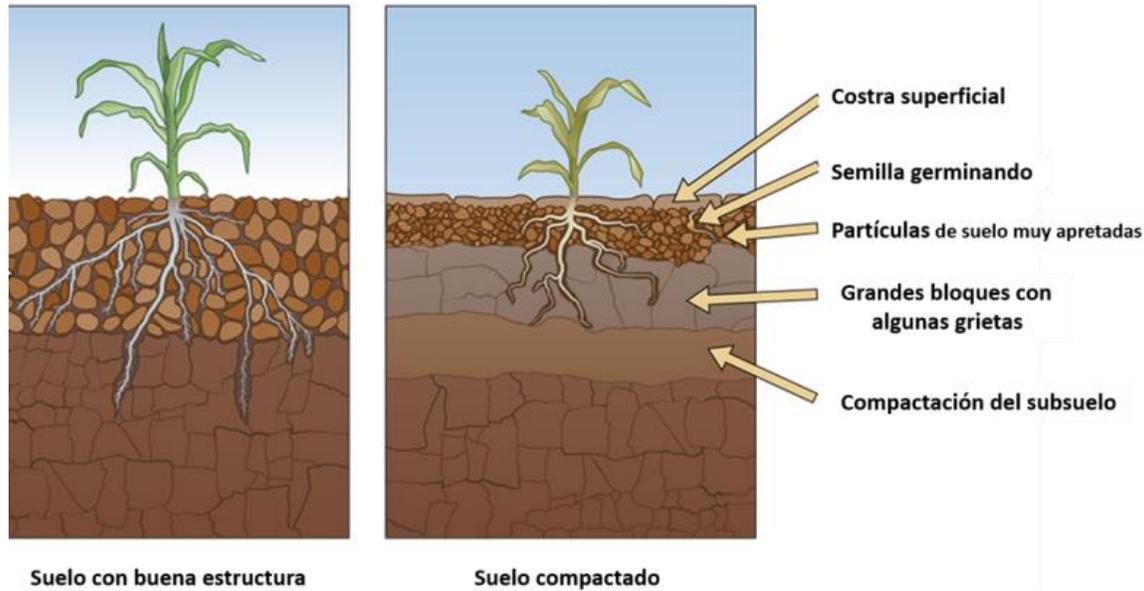


imagen: [www.sare.org](http://www.sare.org)

Afecta el crecimiento de las plantas debido a su efecto sobre la resistencia y la porosidad del suelo.

Al aumentar la densidad aparente, la resistencia tiende a aumentar y la porosidad tiende a disminuir; ambos tienden a limitar el crecimiento de las raíces en algunos valores críticos.

Brady, Nyle & Weil, Ray. 2017. The Nature and Properties of Soils. Pearson. Global Edition.

## Densidad del suelo ( $\rho_b$ )

Depende de:

1. La composición y condiciones estructurales del suelo
  1. Textura (Empaquetamiento de las partículas del suelo)
  2. Estructura del suelo
  3. Materia orgánica (MO)

La materia orgánica tiende a reducir el grado de compactación

En suelos de origen volcánico los valores de ( $\rho_b$ ) son bajos  $< 1,0 \text{ Mg/m}^3$

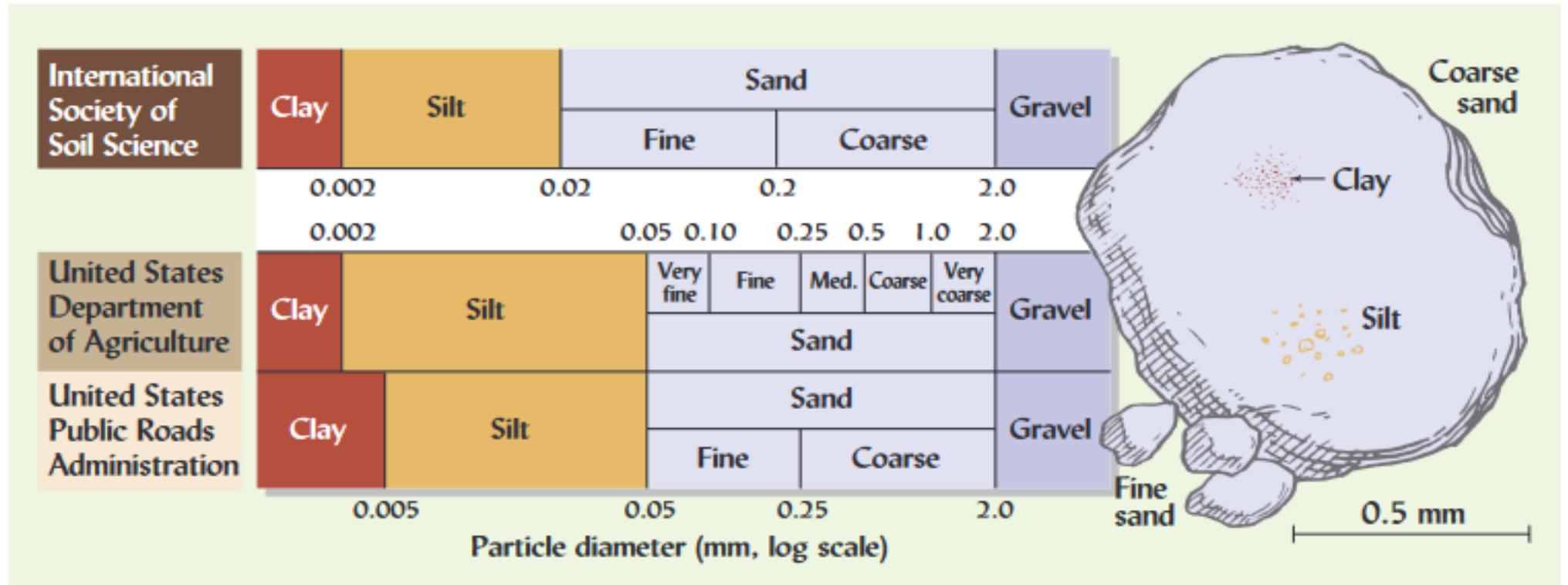
$A > \rho_b > \text{compactación}$

Sin embargo la densidad aparente en suelos con arcillas expandibles cambia con el contenido de agua del suelo, la comparación solo es válida para el mismo contenido de agua del suelo

Brady, Nyle & Weil, Ray. 2017. The Nature and Properties of Soils. Pearson. Global Edition.



# Clasificación por tamaño de partículas- Textura



# Clasificación por tamaño de partículas- Textura

**Spheroidal**  
Characteristic of surface (A) horizons. Subject to wide and rapid changes.

Granular (porous)

Crumb (very porous)




**Plate-like**  
Common in E horizons, may occur in any part of the profile. Often inherited from parent material of soil, or caused by compaction.

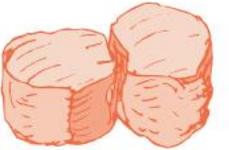



**Block-like**  
Common in B horizons, particularly in humid regions. May occur in A horizons.

Angular blocky

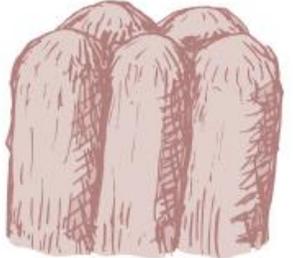



Subangular blocky




**Prism-like**  
Usually found in B horizons. Most common in soils of arid and semi-arid regions.

Columnar (rounded tops)




Prismatic (flat, angular tops)




Brady, Nyle & Weil, Ray. 2017. The Nature and Properties of Soils. Pearson. Global Edition.



## Materia Orgánica MO%

Ejerce una influencia dominante en muchas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y en las funciones ecosistémicas de los suelos.

- Proporciona gran parte de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo
- La capacidad de retención de agua
- Es en gran medida responsable de la formación y estabilización de los agregados del suelo.
- Contiene grandes cantidades de nutrientes para las plantas y actúa como un almacén de nutrientes de liberación lenta, especialmente de nitrógeno

Por todas estas razones, la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo es fundamentales para determinar la calidad del suelo.



Soil organic carbon and feeding the future : basic soil processes. 2024. / edited by Rattan Lal. CRC. DOI: 10.1201/9781003243090

# “Funciones de pedotransferencia (PTFs) para determinar Densidad Aparente del suelo”



INGENIO PICHICHI S.A.®

**PROVIDENCIA**  
Dulzura sostenible



Mapeo y  
evaluación digital de suelos

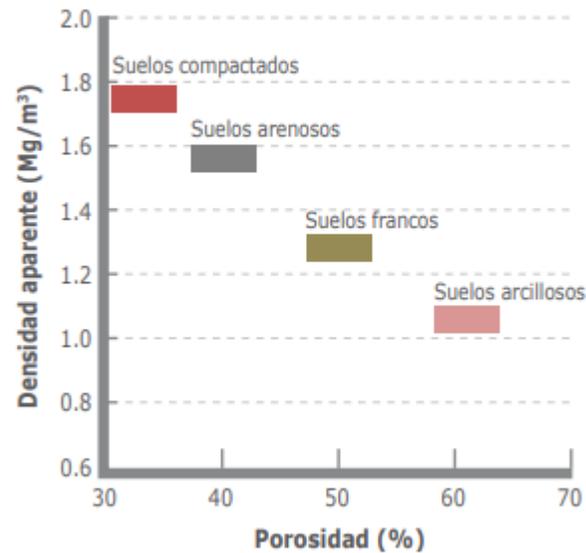
GRUPO AGROINDUSTRIAL  
**RIOPAILA**  **CASTILLA**  
COMPROMISO DESDE 1918

 **Ingenio  
Risaralda**  
Lo hacemos posible

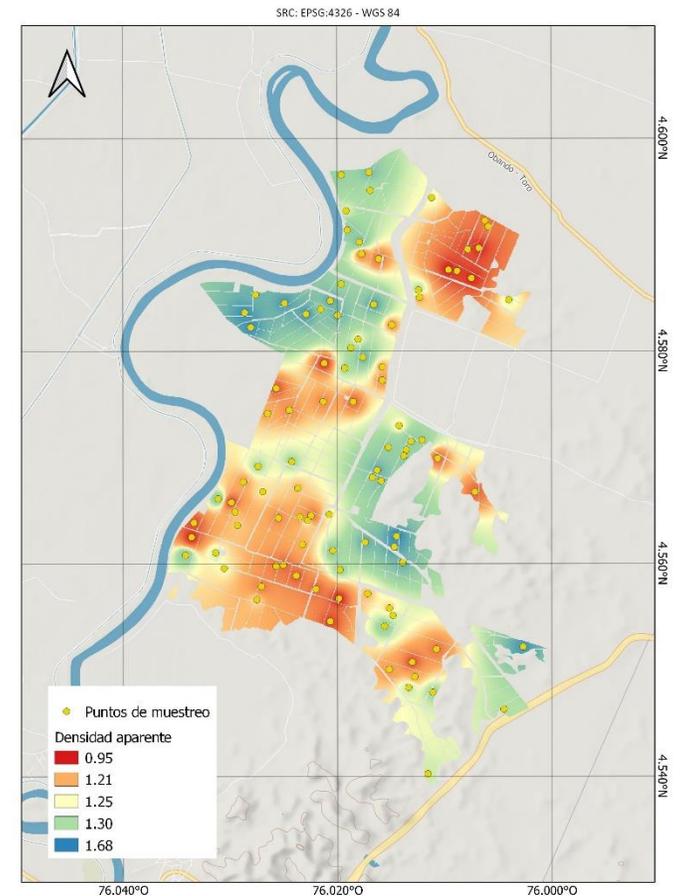
# Objetivo

Generar una función de pedotransferencia (PTF) utilizando algoritmos de aprendizaje automático frente a diferentes funciones publicadas en artículos para la estimación de densidad aparente del suelo.

Variación de la densidad aparente del suelo con la porosidad



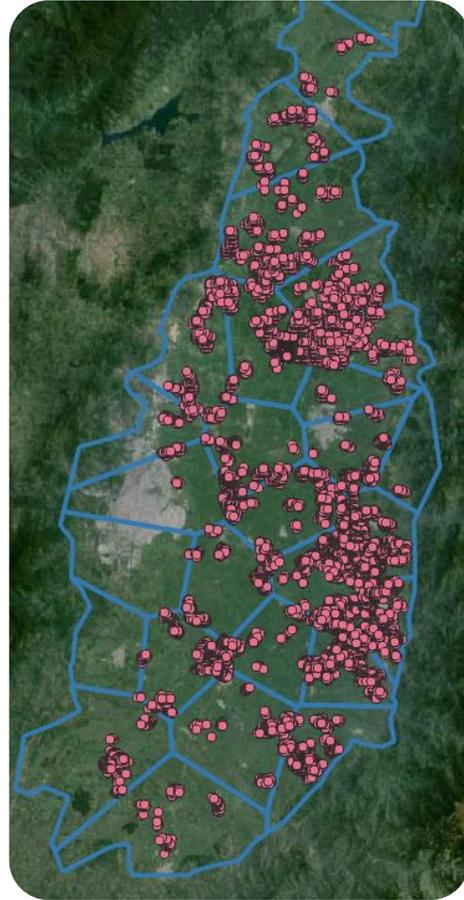
Distribución de los puntos de muestreo de densidad aparente en La Gran Colombia



# Metodología de análisis

Paso 1

Se establecen los 31.119 puntos del análisis de suelo de los ingenios.



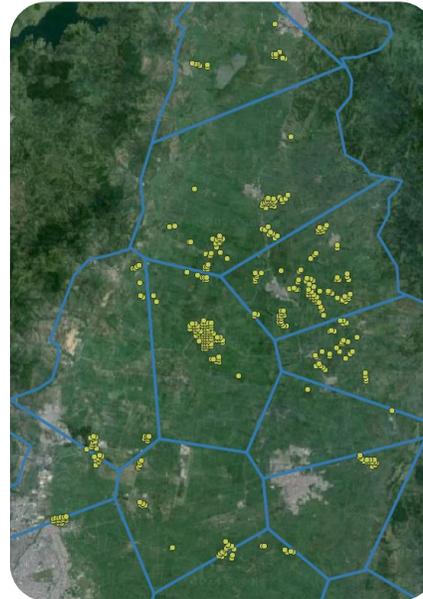
# Metodología de análisis

## Paso 2

Se realiza una medición de 212 puntos de densidad aparente del suelo de forma convencional en el Ingenio Riopaila.



El equipo de AP del Ingenio Providencia realizó una medición de 383 puntos de densidad aparente del suelo de forma convencional.

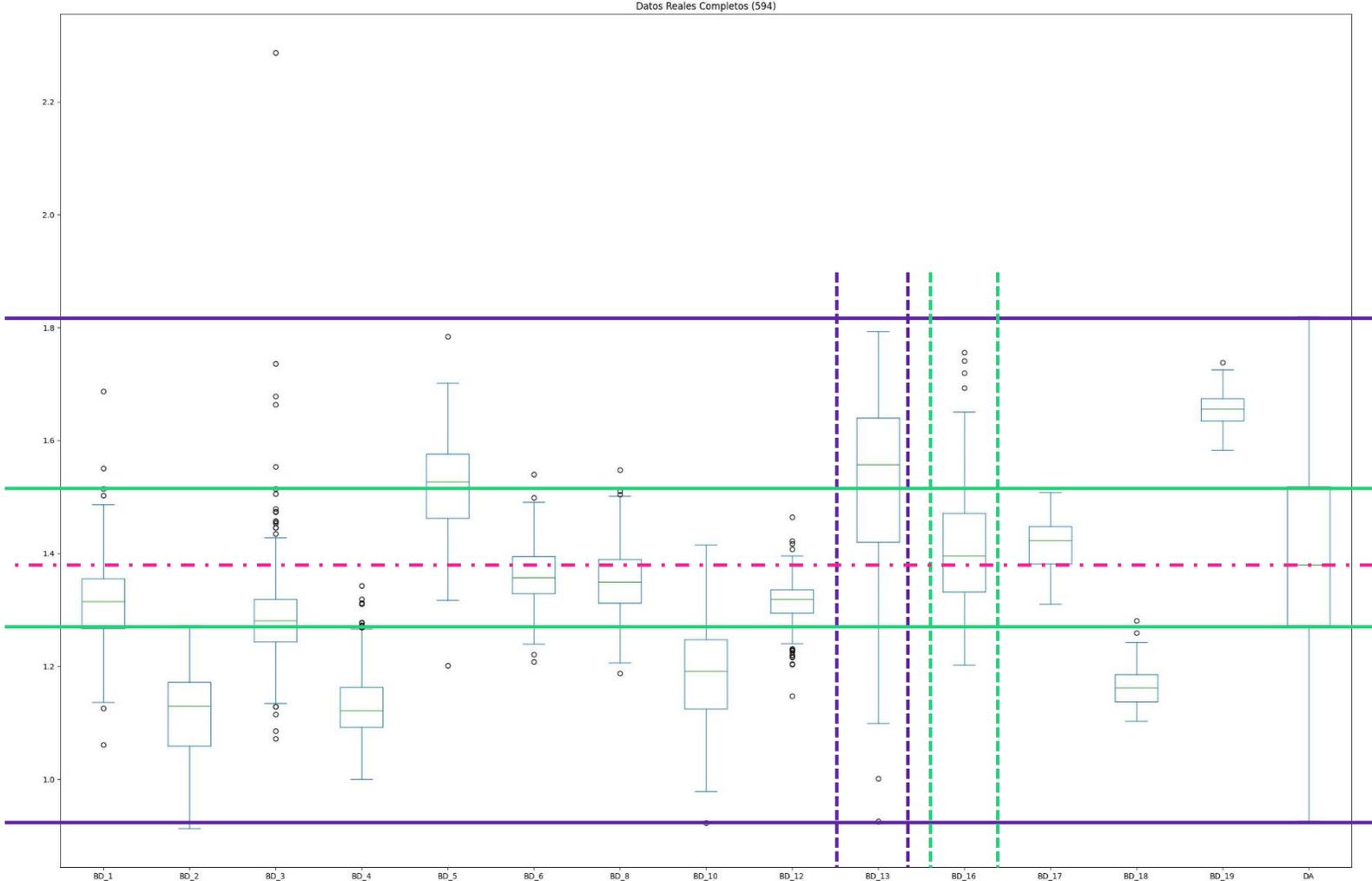


## Paso 3

Se evaluaron 20 funciones de pedotransferencia (PTFs) con la Densidad Aparente del suelo en campo.

- BD\_01: Eschner et al. (1957)
- BD\_02: Bernoux et al. (1998)
- BD\_03: Hallet et al. (1998)
- BD\_04: Tomasella and Hodnett et al. (1998)
- BD\_05: Leonaviciute (2000) in Casanova et al. (2016)
- BD\_06: Calhoun et al. (2001)
- BD\_07: Kaur et al. (2002)
- BD\_08: Dexter et al. (2004)
- BD\_09: Heuscher et al. (2005)
- BD\_10: Benites et al. (2007)
- BD\_11: tranter et al. (2007)
- BD\_12: Men et al. (2008) en Xiangsheng et al. (2016)
- BD\_13: **Keller and Håkansson et al. (2010)**
- BD\_14: Minasny and Hartemink et al. (2011)
- BD\_15: Hong et al. (2013)
- BD\_16: **Al-Qinna and Jaber et al. (2013)**
- BD\_17: Botula et al. (2015)
- BD\_18: Akpa et al. (2016)
- BD\_19: Beutler et al. (2017)
- BD\_20: Sevastas et al. (2018)
- BD\_21: Algoritmos de IA (2024)

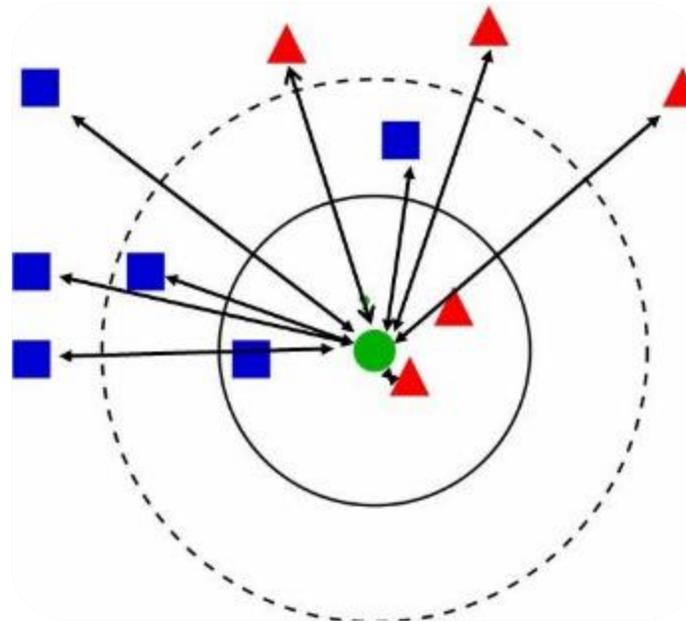
# Densidad Aparente Teórico (g/cm<sup>3</sup>) vs Densidad Aparente en Campo (g/cm<sup>3</sup>)



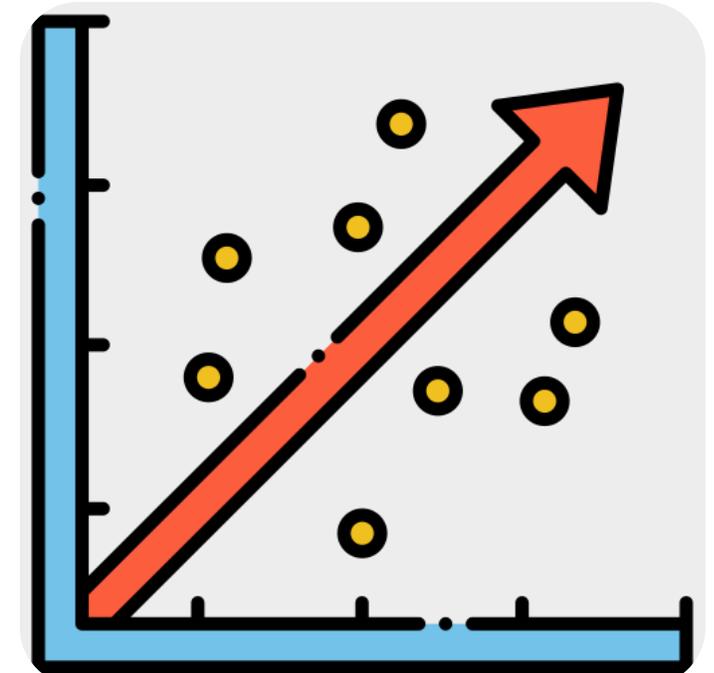
# Algoritmos de Aprendizaje Automático (Campo)



RMSE : 0.0032 g/cm<sup>3</sup>  
RMSE<sub>e</sub>: 0.0143 g/cm<sup>3</sup>  
 $r^2$ : 89.32 %       $r_e^2$ : 51.85 %

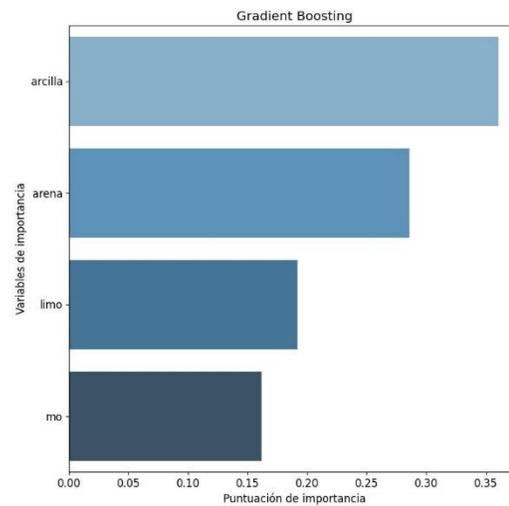
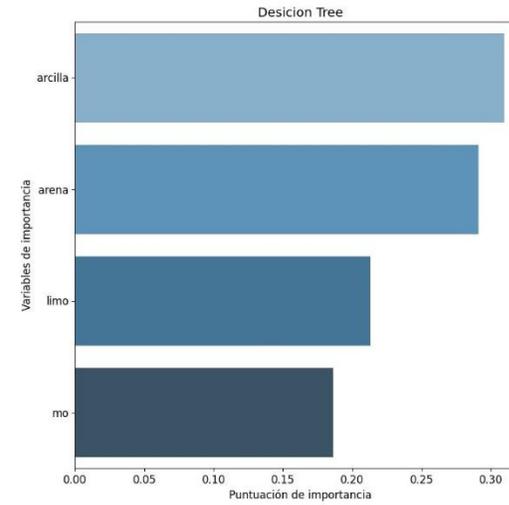
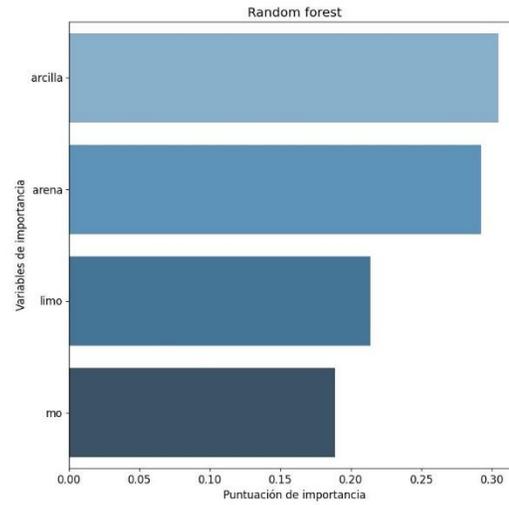


RMSE :  $3.0 \times 10^{-5}$  g/cm<sup>3</sup>  
RMSE<sub>e</sub>: 0.0081 g/cm<sup>3</sup>  
 $r^2$ : 99.89 %       $r_e^2$ : 72.71 %

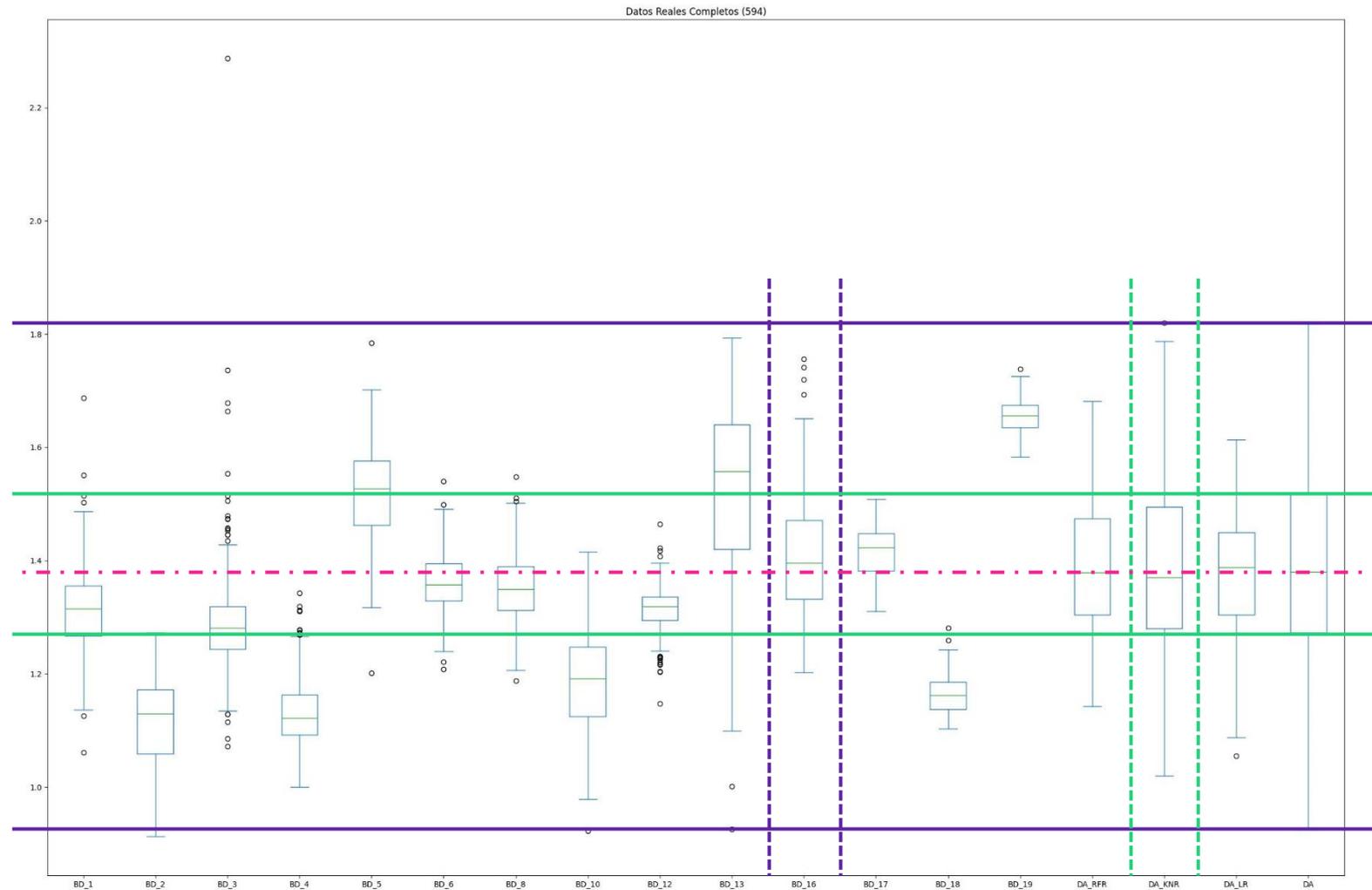


RMSE : 0.0221 g/cm<sup>3</sup>  
RMSE<sub>e</sub>: 0.0222 g/cm<sup>3</sup>  
 $r^2$ : 27.04 %       $r_e^2$ : 25.25 %

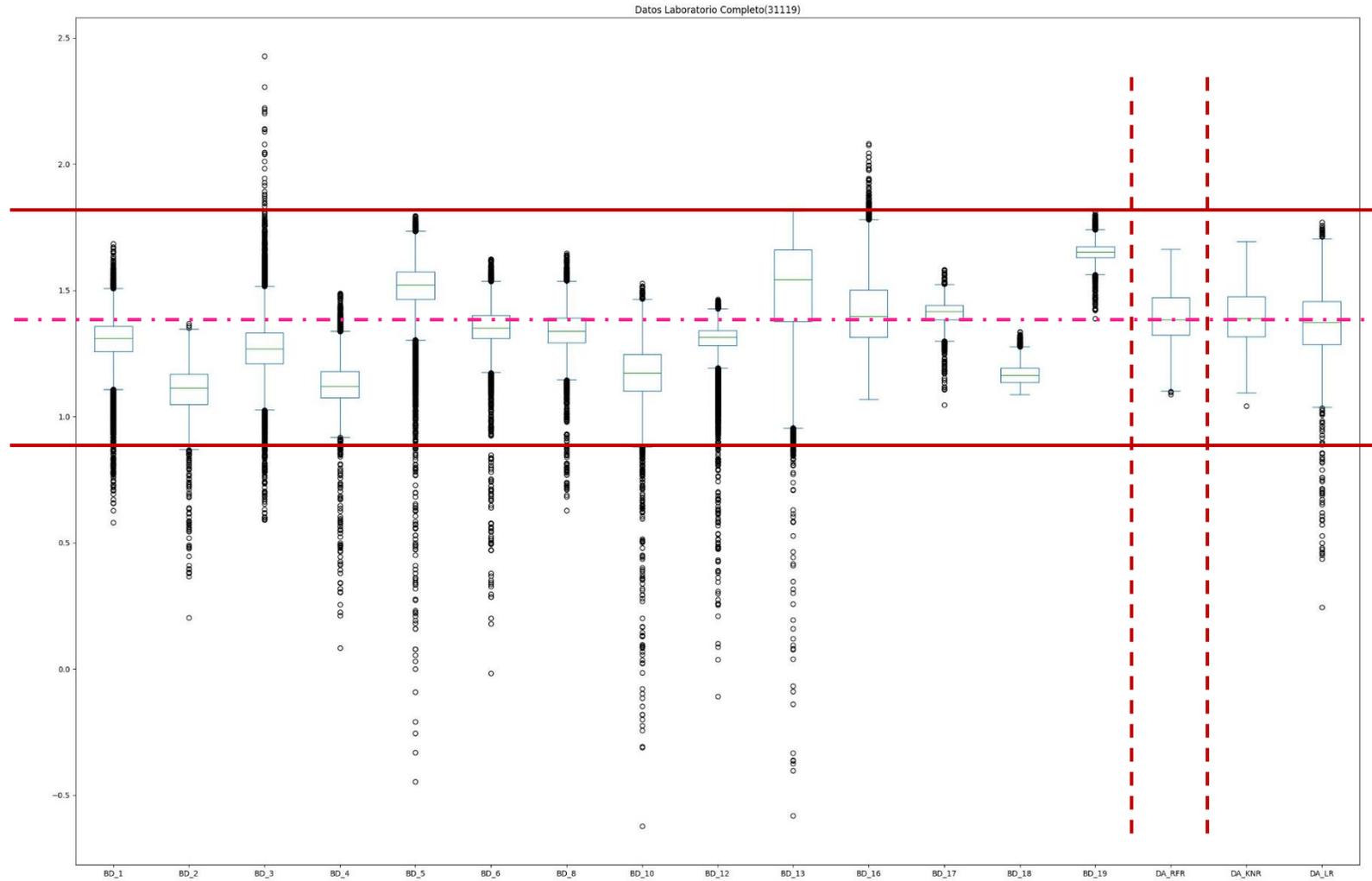
# Variables más significativas para predecir Densidad Aparente en campo



# Densidad Aparente Algoritmo (g/cm<sup>3</sup>) VS Densidad Aparente en Campo (g/cm<sup>3</sup>)



# Densidad Aparente Teórico (g/cm<sup>3</sup>) Laboratorio Química



BD\_KNR --> Algoritmo K-Neighbors Regressor (2024)  
 $\rho_t$  (g/cm<sup>3</sup>) = (Ar, A, L, MO)

# Algoritmos de Aprendizaje Automático

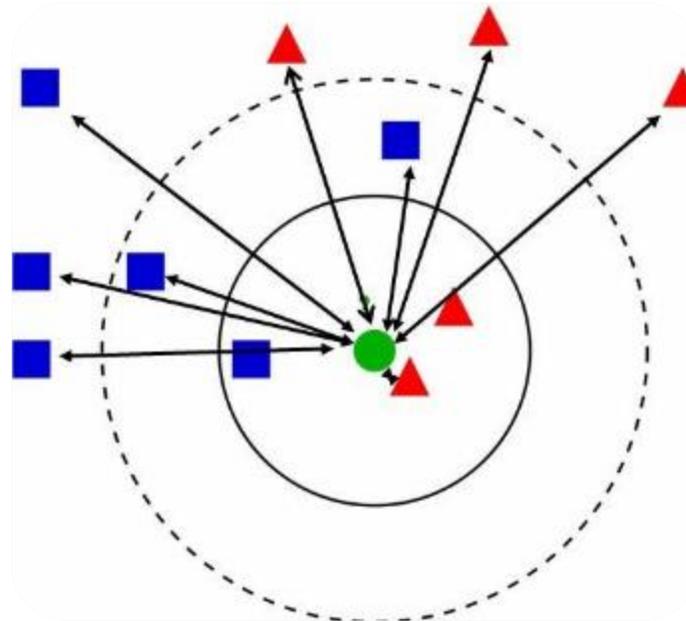


RMSE :  $6.5 \times 10^{-5}$  g/cm<sup>3</sup>

RMSE<sub>e</sub> : 0.0010 g/cm<sup>3</sup>

RMSE<sub>c</sub> : 0.0002 g/cm<sup>3</sup>

$r^2$ : 99.44 %       $r_e^2$ : 91.12 %

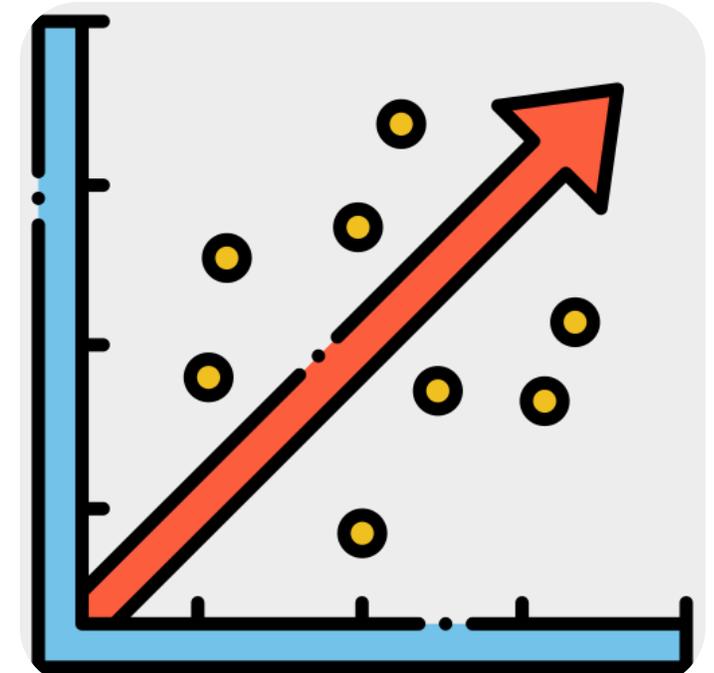


RMSE :  $6.1 \times 10^{-7}$  g/cm<sup>3</sup>

RMSE<sub>e</sub> : 0.0004 g/cm<sup>3</sup>

RMSE<sub>c</sub> : 0.0000 g/cm<sup>3</sup>

$r^2$ : 99.99 %       $r_e^2$ : 95.74 %



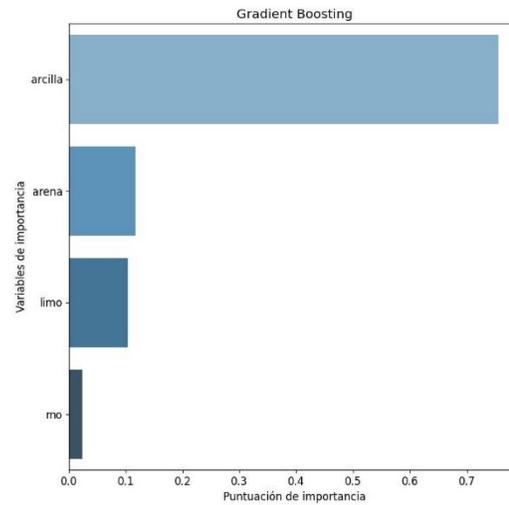
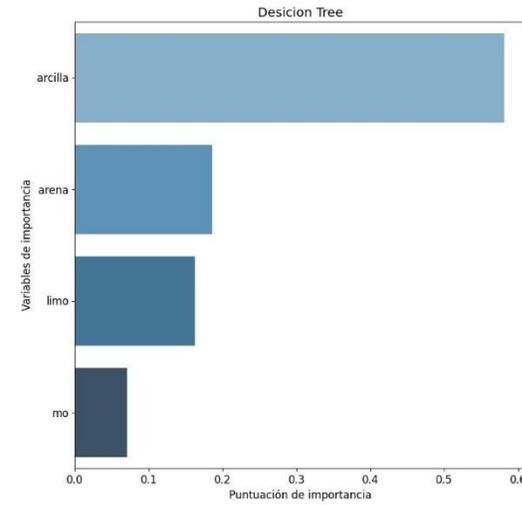
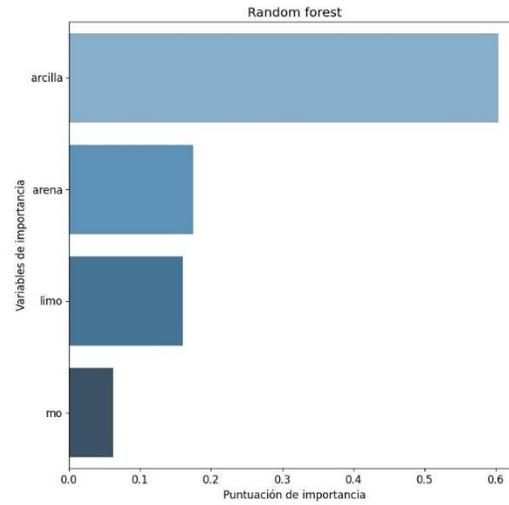
RMSE : 0.0036 g/cm<sup>3</sup>

RMSE<sub>e</sub> : 0.0038 g/cm<sup>3</sup>

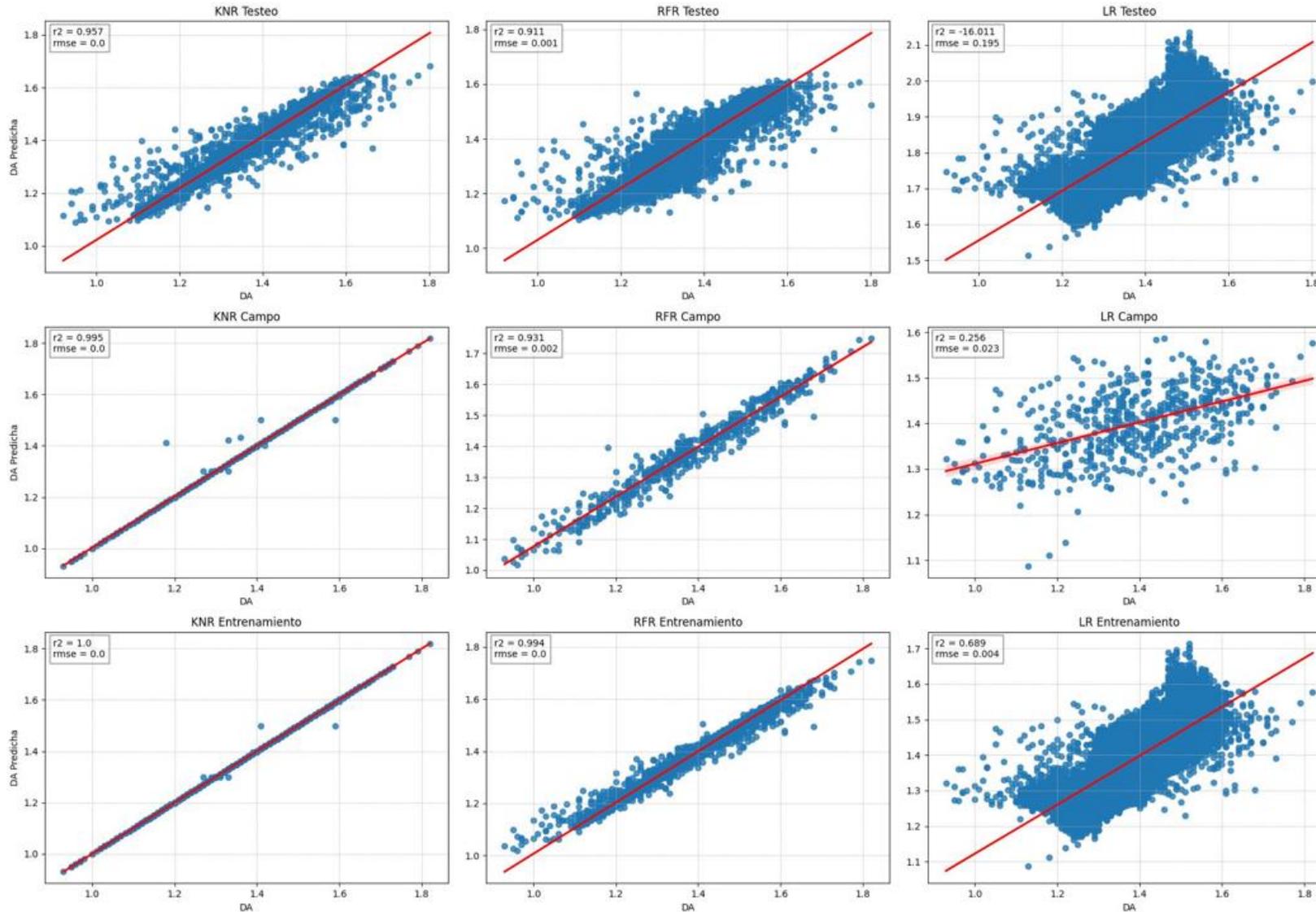
RMSE<sub>c</sub> : 0.0230 g/cm<sup>3</sup>

$r^2$ : 68.82 %       $r_e^2$ : 66.69 %

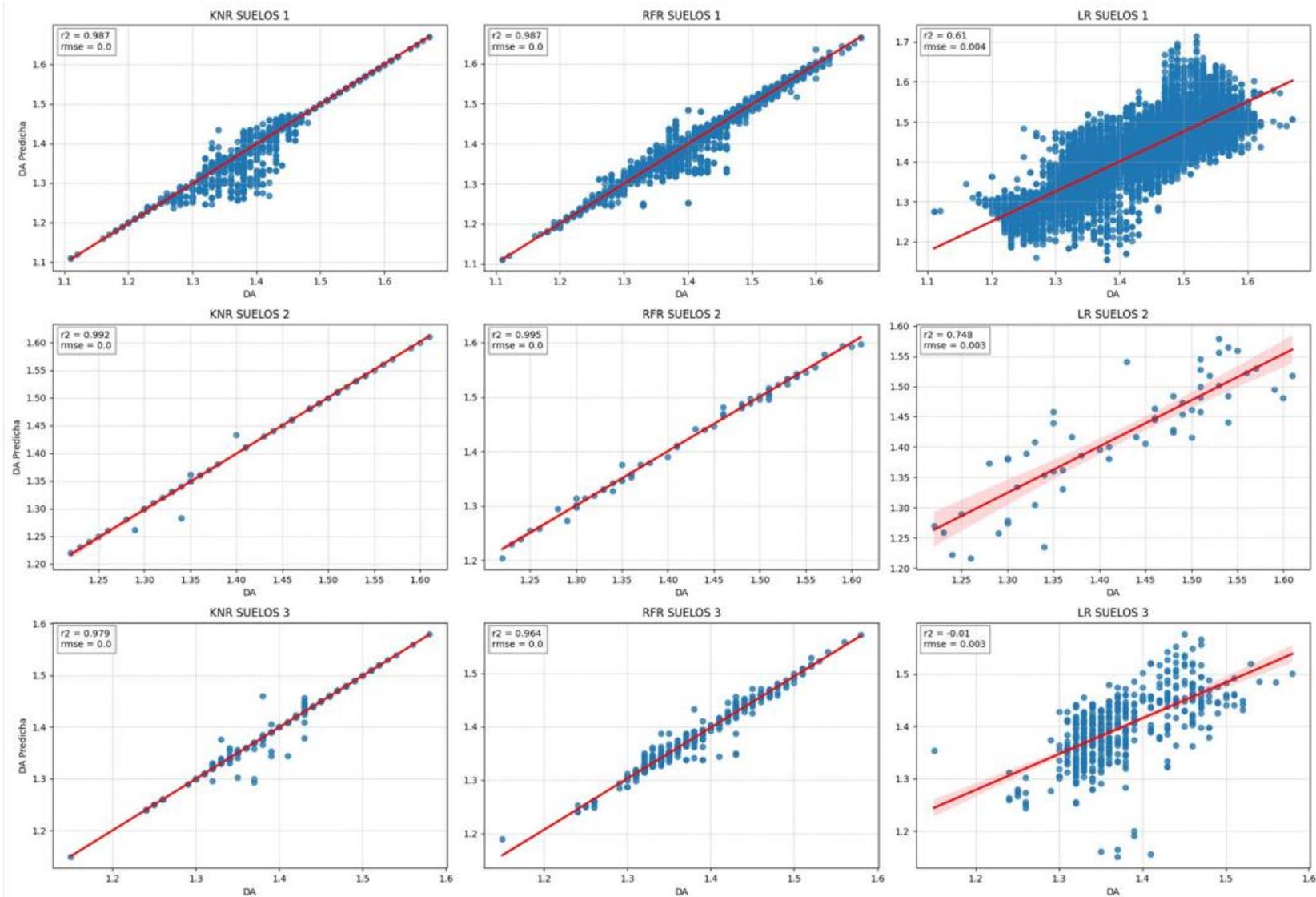
# Variables más significativas para predecir Densidad Aparente en laboratorio



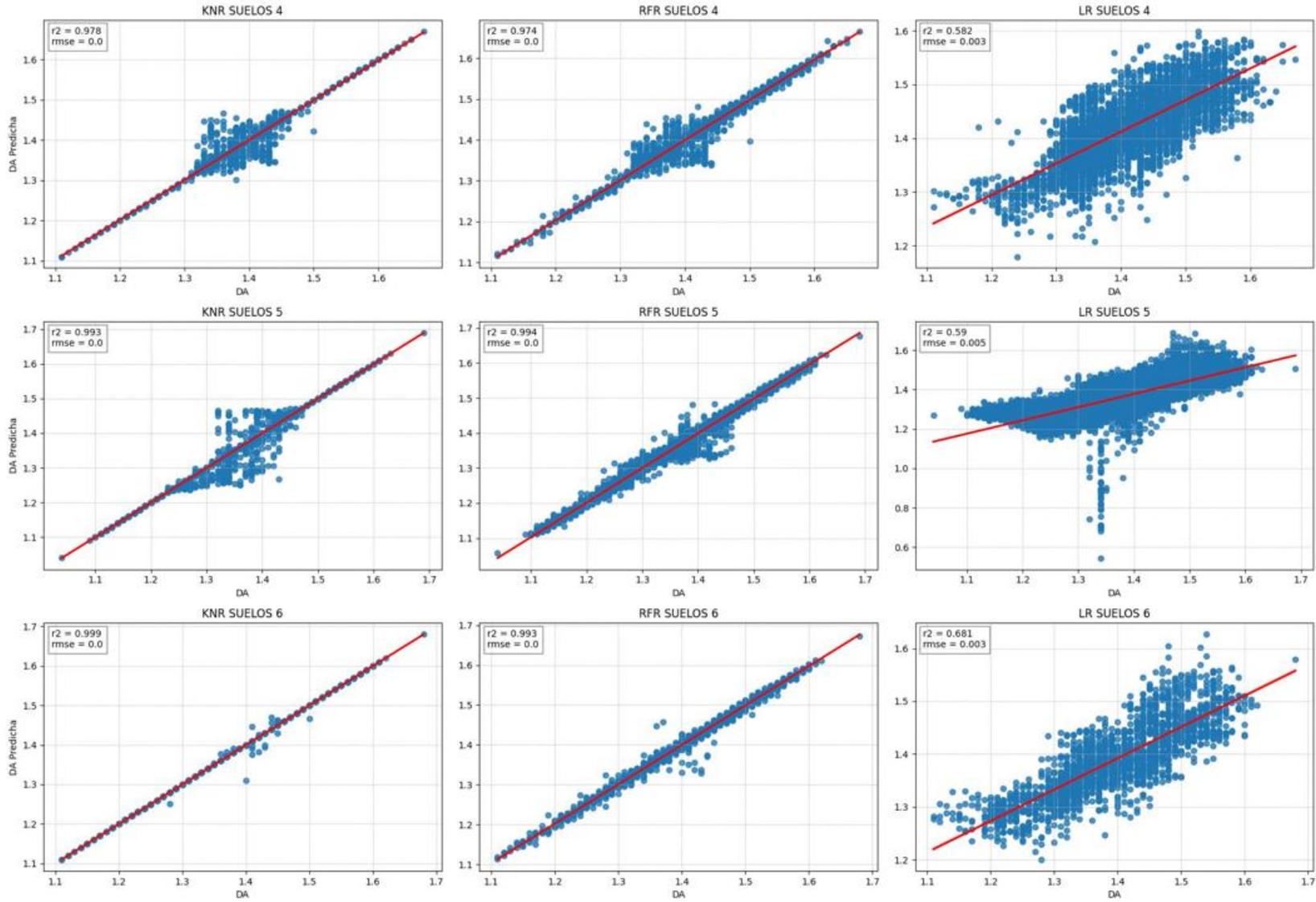
# Valores predichos del algoritmo de Densidad Aparente



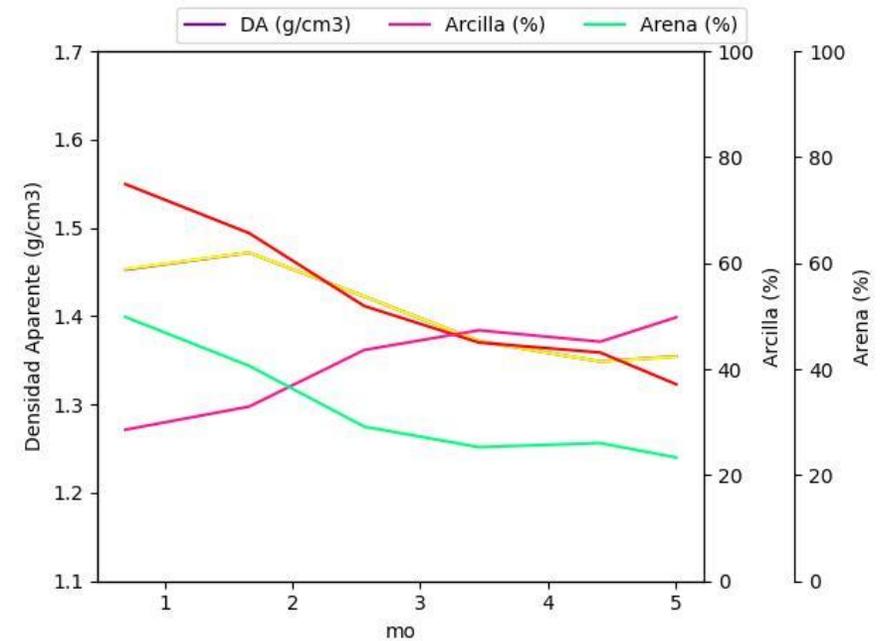
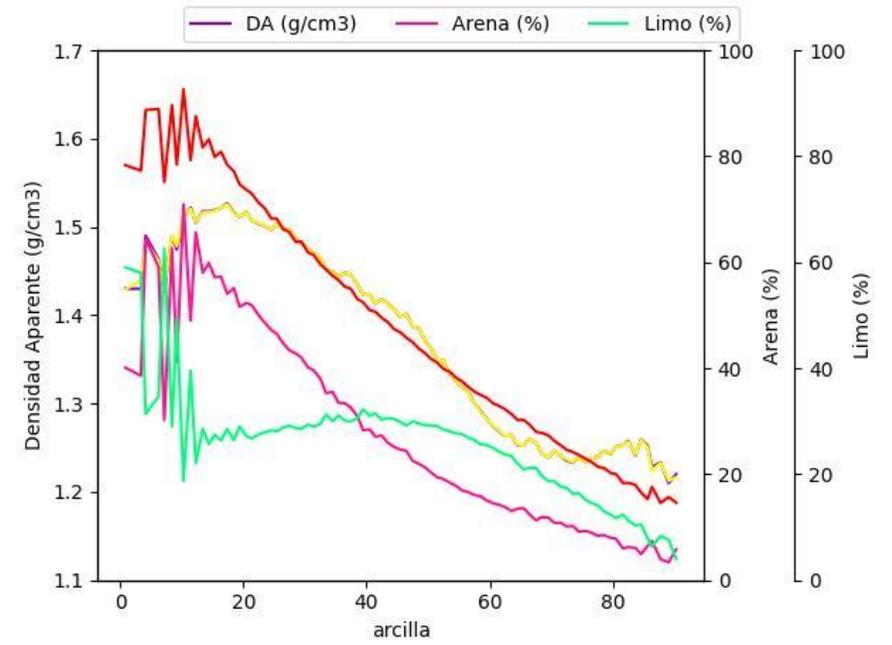
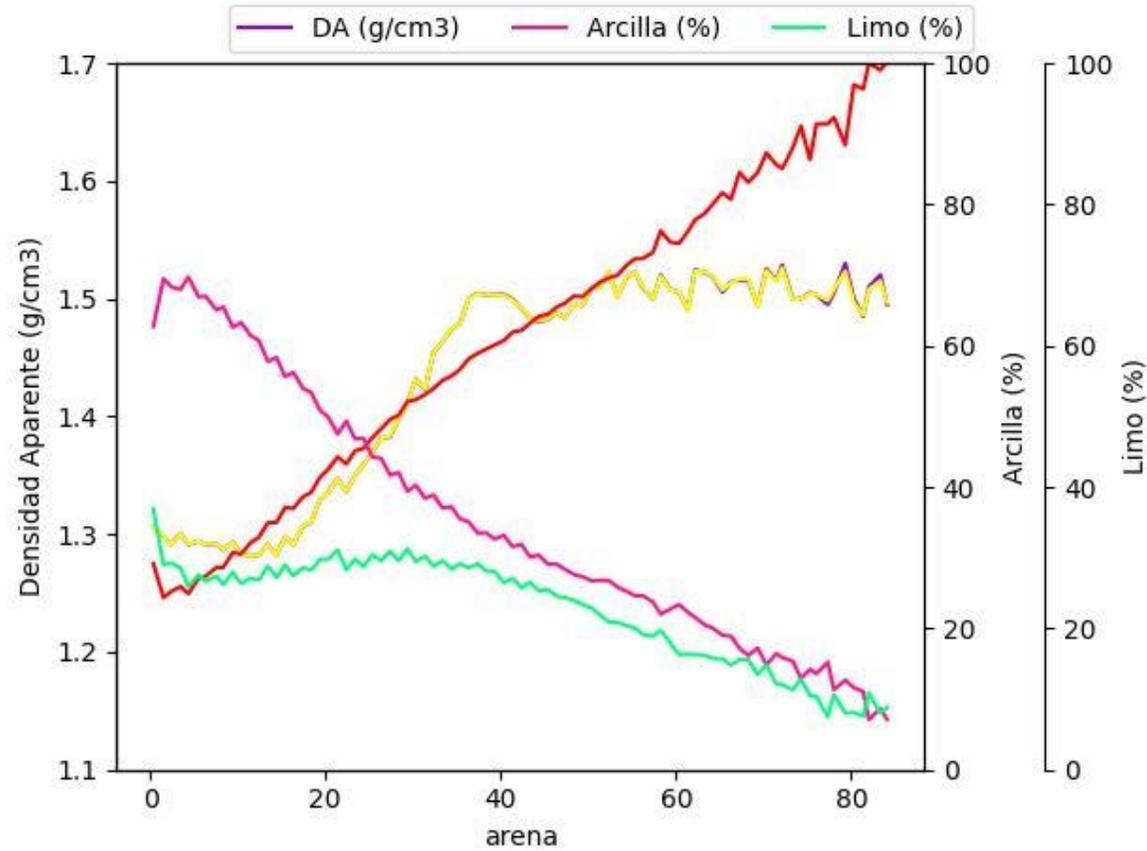
# Valores predichos del algoritmo de Densidad Aparente



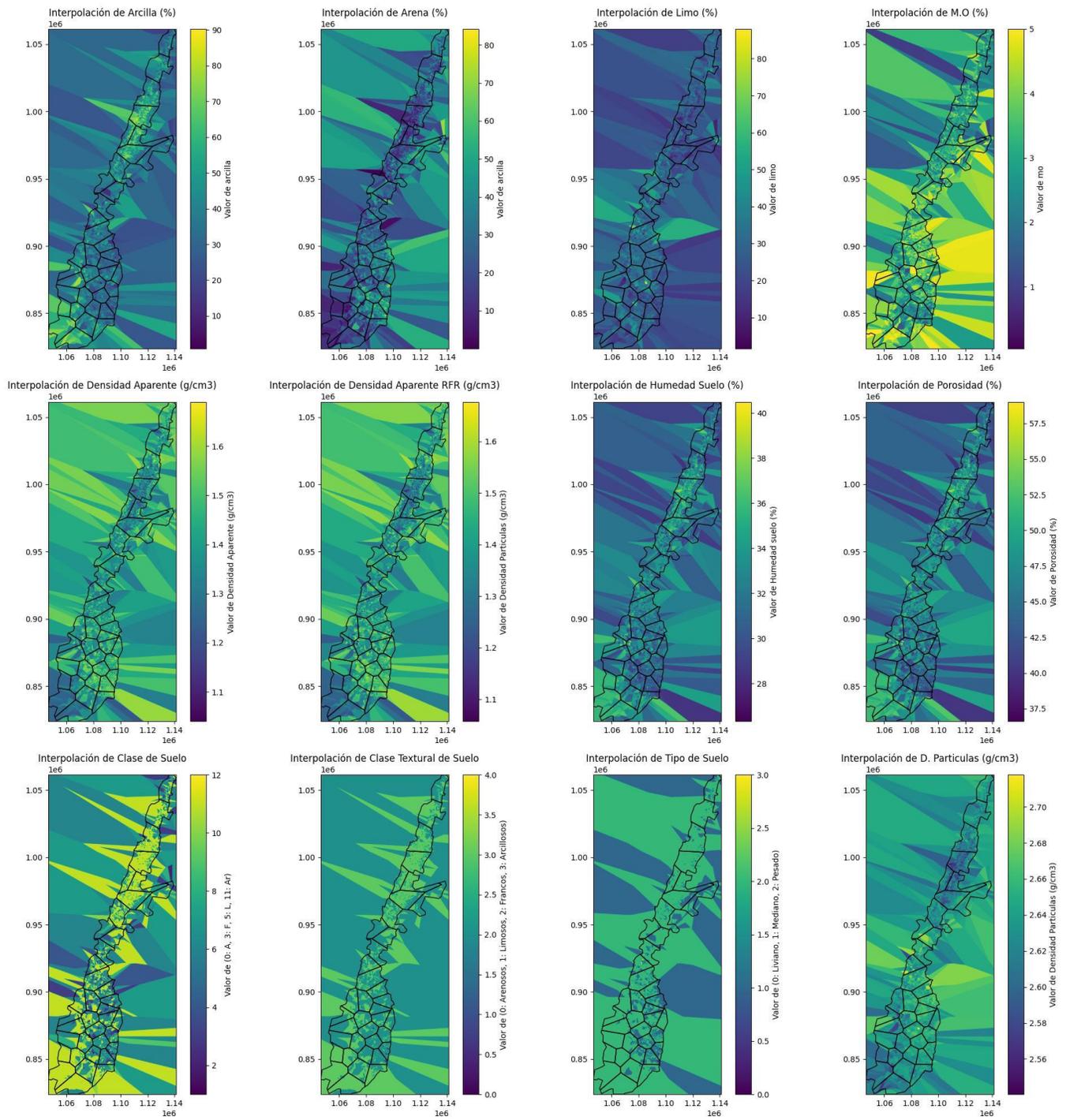
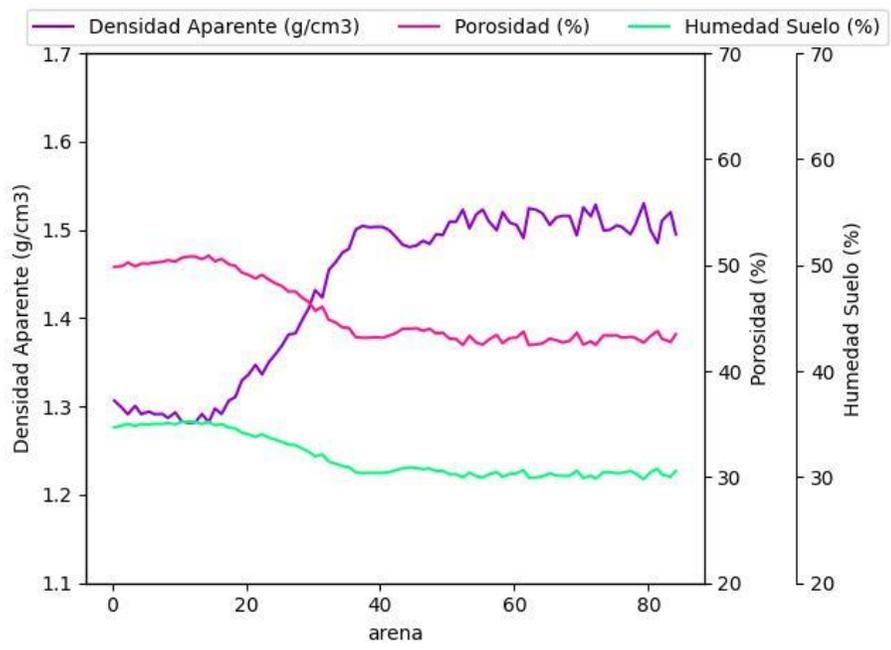
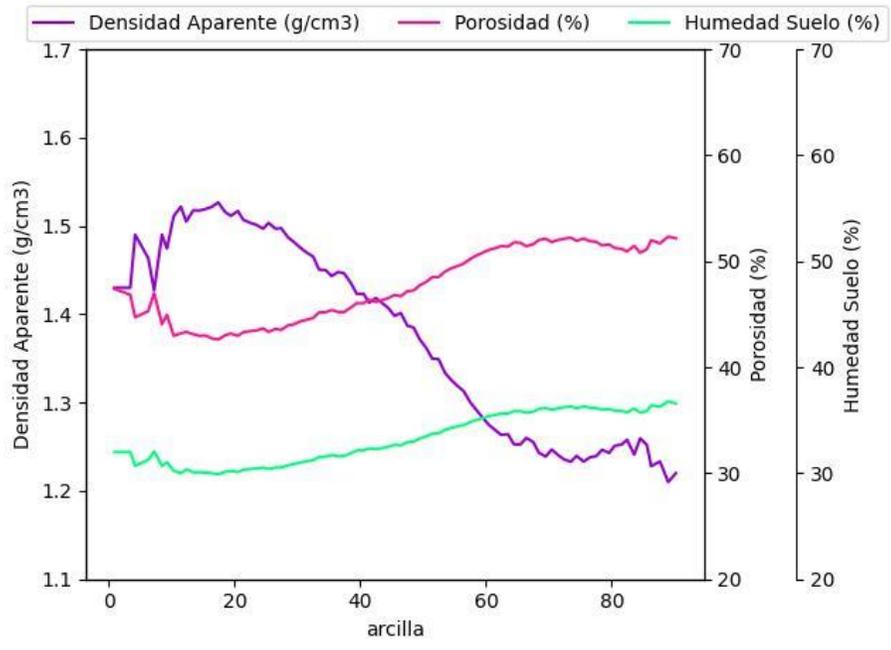
# Valores predichos del algoritmo de Densidad Aparente



# Respuesta de las texturas del suelo



- Random Forest Regressor
- Linear Regressor



# Conclusiones

- La densidad aparente del suelo es un indicador clave de su estructura física y capacidad para retener agua. Un algoritmo preciso puede ayudar a comprender mejor la capacidad de retención de agua del suelo y optimizar el manejo del agua en la agricultura.
- Puedes optar por un enfoque de modelado estadístico tradicional o utilizar técnicas de aprendizaje automático para desarrollar el algoritmo. Los modelos como regresión lineal, Random Forest, SVM, o redes neuronales pueden ser útiles dependiendo de la complejidad de los datos y la precisión requerida.
- Una vez que tengas el algoritmo funcionando, es importante interpretar los resultados de manera contextualizada en el manejo agrícola. Esto implica entender cómo los cambios en la densidad aparente afectan la infiltración de agua, la disponibilidad de nutrientes y otros aspectos relevantes para la producción agrícola.



# Proyección 1

Despliegue de los algoritmos de densidad aparente para el ajuste del peso de la hectárea arable para la operación de la fertilización, en el control de herbicidas y el cálculo del balance hídrico.

