



**Facultad de Ciencias  
Grao en Bioloxía  
Departamento de Física y Ciencias de la Tierra  
Área de Edafología y química agrícola**

**Evolución temporal de las propiedades de los suelos tras el  
establecimiento de viñedos en la Ribeira Sacra**

**Evolución temporal das propiedades dos solos tras o  
establecemento de viñedos na Ribeira Sacra**

**Time evolution of soil properties after the establishment of  
grapevine crops in the Ribeira Sacra**



**Elba Fernández Saavedra  
Traballo de Fin de Grado  
Data de defensa: 26 de xullo de 2019  
Dirixido polo Dr. Marcos Lado Liñares  
Codirixido pola Dra. Eva Vidal Vázquez**



D. Marcos Lado Liñares, Profesor Contratado Doutor, e Dna. Eva Vidal Vázquez, Profesora Titular, da Área de Edafoloxía e Química Agrícola do Departamento de Física e Ciencias da Terra da Universidade da Coruña,

INFORMAN

Que o traballo de Fin de Grao titulado “*Evolución temporal das propiedades dos solos tras o establecemento de viñedos na Ribeira Sacra*”, presentado por Dna. Elba Fernández Saavedra, alumna do Grao en Bioloxía, foi realizado baixo a nosa dirección, e autorizamos a súa presentación e defensa ante o tribunal cualificador.

A Coruña, 15 de xullo de 2019

Asinado: Marcos Lado Liñares

Asinado: Eva Vidal Vázquez



## RESUMEN

El viñedo en la Ribeira Sacra tiene una larga historia y hoy en día constituye uno de los motores socioeconómicos más importantes de la zona. La calidad del vino está íntimamente relacionada con el suelo que nutre y soporta las vides. A pesar de esto, hay pocos estudios sobre ellos en esta zona. El objetivo de este trabajo es analizar la variabilidad temporal ciertas propiedades del suelo de viñedos (1 año, 4 años y 25 años) y, compararlas con aquellas de viñas abandonadas y suelos de monte. En cada tratamiento se tomaron muestras a dos profundidades: 0-20 cm y 20-40 cm. Las propiedades estudiadas fueron el color, la textura, el pH, el contenido en carbono orgánico y el fósforo disponible. Los resultados mostraron que la edad del cultivo y los diferentes usos afectan a algunas de las características del suelo. El color se oscureció, el pH se hizo más ácido y el contenido en carbono orgánico aumentó con el paso del tiempo. Tras 25 años de cultivo, se observó un aumento significativo del contenido en carbono orgánico para alcanzar valores similares a los del bosque nativo, al tiempo que se produjo una diferenciación en profundidad. Este incremento en carbono orgánico produjo un oscurecimiento y una acidificación del suelo. Por otro lado, la textura no mostró diferencias significativas con la edad del cultivo. El fósforo disponible, por su parte, aumentó en el viñedo de mayor edad, pero posiblemente debido a la adición de fertilizantes que contienen este nutriente.

## Palabras clave

Suelo de viñedo, Ribeira Sacra, propiedades del suelo, evolución temporal

## RESUMO

O viñedo na Ribeira Sacra ten unha longa historia e hoxe en día constitúe un dos motores socioeconómicos máis importantes da zona. A calidade do viño está intimamente relacionada co solo que suxeita e nutre a planta da vide. A pesar disto non hai moitos estudos dos solos desta zona. O obxectivo deste traballo foi analizar a variabilidade temporal de certas propiedades dos solos de viñedos (1 ano, 4 anos e 25 anos), e comparalas con aquelas de solos de viñas abandonadas e de monte. En cada tratamento, tomáronse mostras nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm. As propiedades estudadas foron a cor, o pH, o contido en carbono orgánico, a textura, e o fósforo dispoñible. Os resultados mostraron que idade do cultivo e os diferentes usos afectan a algunhas das propiedades do solo como a cor, o pH e o contido en carbono orgánico. A cor escureceuse, o pH fíxose máis ácido e o carbono orgánico aumentou co paso do tempo. Tras 25 anos de cultivo, o contido en carbono orgánico acadou valores similares ós do bosque nativo, ó tempo que se produciu unha diferenciación en

profundidade. Este incremento en carbono orgánico produciu un escurecemento e unha acidificación do solo. Por outra banda, a textura non cambiou co tempo. O fósforo dispoñible aumentou no viñedo de mais idade, pero probablemente debido á recente aplicación de fertilizantes.

### **Palabras claves**

Solo de viñedo, Ribeira Sacra, propiedades do solo, evolución temporal

### **ABSTRACT**

The history of grapevine cultivation in the Ribeira Sacra is very long, and at present it is one of the most important socioeconomic activities of the area. Wine quality is intimately related to the soils that support and provided nutrients to the vines. However, studies focused on the vineyard soils of Ribeira Sacra are scarce. The objective of the present study was to analyse changes in vineyard soil properties over time (1 year, 4 years and 25 years) and to compare them with those of abandoned vineyards and native forest soils. In each treatment, soils were sampled at two depths: 0-20 cm and 20-40 cm. The properties studied were color, texture, pH, organic carbon and available phosphorus. The results showed that the age of the vineyards and land use affect some of the properties like color, pH and organic carbon content. The color became darker, the pH turned more acidic, and organic carbon increased with time. After 25 years of cultivation, a significant increase of organic carbon was observed, and reached similar values to those of native forests, and at the same time, differences with soil depth appeared. This increase of organic matter resulted in a darker color and a more acidic pH. On the other hand, texture did not change with time. Available phosphorus only increased in the oldest vineyard, but possibility due to the recent addition of fertilizer.

### **Keywords**

Vineyard soils, Ribeira Sacra, soil properties, age of the vineyard

## ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- La Ribeira Sacra.....	1
1.2.- Geografía y clima.....	2
1.3.- El viñedo en la Ribeira Sacra.....	2
1.4.- El suelo.....	3
1.5.- Características del suelo.....	3
1.6.- Variabilidad temporal en los suelos.....	5
2.- OBJETIVO.....	5
3.- MATERIAL Y MÉTODOS.....	6
3.1.- Recogida y preparación de muestras.....	6
3.2.- Métodos analíticos.....	7
3.2.1.- Color.....	7
3.2.2.- Granulometría.....	7
3.2.3.- pH.....	9
3.2.3.1.- pH en agua.....	9
3.2.3.2.- pH en KCl.....	9
3.2.4.- Carbono total.....	9
3.2.5.- Fósforo.....	10
3.3.- Análisis estadísticos.....	11
4.- RESULTADOS.....	12
4.1.- Color.....	12
4.2.- Granulometría.....	13
4.3.- pH.....	14
4.4.- Carbono total.....	16
4.5.- Fósforo.....	17
5.- DISCUSIÓN.....	18
6.-CONCLUSIONES/CONCLUSIÓN/CONCLUSIONS.....	19
7.- BIBLIOGRAFÍA.....	21



## 1.- INTRODUCCIÓN

### 1.1.- La Ribeira Sacra

La Ribeira Sacra es una comarca ubicada en el sur de la provincia de Lugo y en el norte de la de Ourense, y su territorio se extiende por las riberas de los ríos Sil y Miño, además de una serie de afluentes que confluyen en los dos anteriores, como el río Cabe, el Lor o el Navea. Durante mucho tiempo, el origen del nombre Ribeira Sacra se relacionó con el de “ribera sagrada”, el cual se ajustaba perfectamente al panorama de la edad media, ya que albergaba más de una treintena de monasterios románicos. Sin embargo, en 1987, Manuel Vidán Torreira desveló que la génesis del nombre era “roble sagrado”, y que el error se había debido a una mala traducción de unos documentos históricos (López-Sabatel, 2016).

Los viñedos de esta zona se encuentran distribuidos por todo su territorio, aunque las zonas de mayor presencia son las riberas de los ríos Sil y Miño y constituyen uno de los motores socioeconómicos más importantes de la región. La historia del cultivo de la vid en la zona es muy antigua, y sin duda ha sido impulsada gracias a los numerosos monasterios del lugar. Existen documentos pertenecientes al Monasterio de San Vicente de Pombeiro (Pantón) que datan del siglo XIV, donde se relata que llevó a cabo una conversión del monte a viñedo; remontándose el cultivo de la vid como mínimo a la baja edad media (López-Sabatel, 2016). Actualmente, la producción de vino está controlada por el Consello Regulador da Denominación de Orixe Ribeira Sacra (Figura 1) y está constituida por cinco subzonas: Chantada, Ribeira do Miño, Amandi, Quiroga-Bibei y Ribeiras do Sil (DOG 207, 2018).



Figura 1. Mapa de la Ribeira Sacra y sus subzonas (López-Sabatel, 2016).

## 1.2.- Geografía y clima

La geografía del lugar viene determinada por los ríos Sil y Miño, los cuales han formado acusados taludes a lo largo del tiempo debidos a dos factores principales: el tectónico (que produjo una fractura entre los períodos Neógeno y Cuaternario) y el climático (producido también en el Cuaternario por los intervalos glaciares e interglaciares) (López-Sabatel, 2016).

El clima está altamente influenciado por las fuertes pendientes, que desempeñan un papel muy importante al disminuir el número de precipitaciones e impedir el paso de los vientos fríos, lo que se traduce en un clima mediterráneo de inviernos suaves y veranos cálidos propicio para los viñedos. De manera general, llueve aproximadamente 100 días al año con una precipitación media de 700 a 800 mm, una temperatura media de 11.3°C y una humedad relativa de 70,6 % (Fernández-Calviño et al., 2009).

## 1.3.- El viñedo en la Ribeira Sacra

El ser humano debe adaptarse al espacio y tiempo en donde se haya establecido; en consecuencia modifica el paisaje natural a sus necesidades. De este modo, las riberas del Sil y del Miño se fueron transformando para dar paso al cultivo de la vid. El territorio agreste obligó a los labradores a construir muros de piedra para proteger el suelo (Figura 2), consiguiendo así frenar su pérdida y proporcionar un medio con menos pendiente en el que trabajar (López-Sabatel, 2016).



Figura 2: Viñedos de la Ribeira Sacra.

Las razones que pudieron llevar a construir los viñedos en este lugar son varias. Una de ellas es plantar las vides en suelos con poca profundidad y mucha pendiente, reservando de esta forma los suelos más llanos y profundos para otros cultivos como los cereales. En consonancia con esto, se destacan dos cosas: por un lado, las vides son plantas que se adaptan bien a suelos poco desarrollados y con poca fertilidad. Por otro

lado, las pendientes tan inclinadas hacen que reciban un número mayor de horas de sol en comparación con las vides plantadas en el llano. Otra de las razones es el clima, el cual es mucho más suave en la ribera que en el valle (White, R.E., 2015).

#### **1.4.- El suelo**

Uno de los factores que más influye en cualquier cultivo, y por ende en el viñedo, es el suelo, siendo un ente natural implicado en numerosos procesos. Entre otras muchas funciones, proporciona un lugar físico donde establecer un ecosistema, participa en el ciclo del agua y actúa como reservorio de esta, abastece de nutrientes a las plantas. *Ergo*, la calidad del suelo está directamente relacionada con la producción de la vid y las características del vino que esta produzca (Rodrigo Comino et al., 2016).

El material parental es muy importante en la edafogénesis. El granito, la granodiorita, los esquistos, los gneis y las pizarras son las rocas principales que constituyen la litología de la Ribeira Sacra, siendo los esquistos y las pizarras las principales rocas madre que nos encontramos en la subzona de Amandi (Fernández-Calviño et al., 2009). Los suelos empiezan a originarse a partir de la meteorización del material parental por la acción del clima y los organismos vivos que en él se encuentren. En el caso de los viñedos, la remoción del terreno durante la plantación de las cepas produce una mezcla de los horizontes del suelo y por tanto un punto cero para su evolución a lo largo del tiempo y un nuevo ciclo de formación de suelo, el cual irá evolucionando a medida que transcurre el tiempo (White, R.E., 2015).

#### **1.5.- Características del suelo**

Es esencial conocer las características de un suelo, ya que de esta manera se puede seleccionar el lugar de plantación de manera óptima, además de corregir algunas de las propiedades del suelo si fuera necesario.

El color no aporta una información objetiva ni concluyente de la fertilidad del suelo. No obstante, es un buen indicativo de las características probables que puede presentar, y por ello, analizarlo puede encauzar la investigación (Porta et al., 1999). Sus cambios pueden indicar diversas cosas: presencia de óxidos de hierro (rojo-anaranjado), inundaciones durante largos periodos de tiempo (azul-grisáceo) o presencia de materia orgánica humificada (colores oscuros). También puede indicar cuál es el material parental del cual se originó el suelo (White, R.E., 2015).

La textura hace referencia a la distribución de partículas de diferente tamaño de un suelo: arcilla, limo y arena. Es importante conocerla porque está directamente relacionada con las características y comportamiento del suelo; como por ejemplo, disponibilidad de agua, formación de costras superficiales, disponibilidad de nutrientes, la estructura o el grado de dificultad a la hora de la labranza. Dependiendo de las proporciones que existan de cada fracción, el suelo se comportará de una

manera u otra; pero sin duda, la fracción de arcilla es la más importante, aunque esto no quiere decir que las otras no tengan su función. Al ser partículas pequeñas, tienen una amplia superficie por unidad de masa, la cual interacciona con numerosos iones, siendo un foco importante de reacciones físicas y químicas (White, R.E., 2015).

El pH del suelo indica la acidez o basicidad que este presenta; y al igual que la textura, está íntimamente relacionado con las propiedades del suelo (tanto físicas, químicas como biológicas), de tal forma que antes de realizar ningún estudio es necesario analizarlo para sentar las bases de la investigación que se quiera llevar a cabo. Algunas de las características afectadas por el pH son: la estructura, la movilidad de nutrientes, la formación de sustancias húmicas, el desarrollo y crecimiento de las plantas o la aireación del suelo. Cada planta tiene un rango óptimo de pH, siendo este ligeramente ácido o neutro para las vides. Esto no significa que no puedan vivir en otros rangos, aunque exista toxicidad o algún tipo de deficiencia para la planta (White, R.E., 2015).

La materia orgánica está formada principalmente a partir de restos de organismos. Los organismos más grandes la desmenuzan y mezclan con la materia inorgánica; mientras que los microorganismos llevan a cabo transformaciones químicas, siendo las bacterias y hongos los más importantes, que resultan en la formación de sustancias húmicas. De esta manera podemos definir las sustancias húmicas como complejas, con estructuras no definidas y de difícil caracterización (Navarro-Baya y Navarro-García, 2003). El contenido en materia orgánica es un factor clave en la fertilidad del suelo, ya que toma parte en numerosos procesos. Participa en el intercambio de iones, oscurece el suelo, media en los ciclos de los nutrientes, facilita alimento a los organismos y mejora la estructura del suelo protegiéndolo frente a la erosión (Porta et al., 1999). Además, tiene un papel muy relevante en el ciclo del carbono y su oxidación provoca que se libere  $\text{CO}_2$ , mientras que su acumulación en el suelo constituye uno de los principales sumideros de carbono atmosférico (Navarro-Baya y Navarro-García, 2003).

El fósforo (P) tiene un papel primordial en la fertilidad edáfica, es el nutriente más limitante en la producción agrícola, y su movilización desde el suelo es la principal causante de eutrofización de los cursos de agua. Es un nutriente altamente influenciado por el pH del suelo, presentándose unido a hidróxidos de hierro y aluminio cuando el pH es bajo (Patinha et al., 2018). Las plantas, generalmente, lo absorben más rápidamente y en mayor proporción en forma de  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ , aunque también lo absorben en forma de  $\text{PO}_4\text{H}_2^{-2}$ , pero su asimilación es más lenta (Navarro-Baya y Navarro-García, 2003). El fósforo es fundamental para las plantas, puesto que participa activamente en muchas rutas metabólicas como la biosíntesis de nucleótidos o fosforilaciones de proteínas. En consecuencia, una deficiencia de este mineral puede causar graves daños en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Fernandes et al., 2013).

## 1.6.- Variabilidad temporal en los suelos

Es sabido que los viñedos jóvenes precisan de más atenciones por parte del viticultor y por ello se llevarán a cabo más operaciones agrícolas. En las zonas de fuerte pendiente, antes establecer un nuevo viñedo es necesaria la construcción de bancales o terrazas, de manera que se remueve el suelo existente mezclando sus horizontes, se nivela y se construyen muros de piedra para evitar la erosión del suelo. Esto provoca que un suelo con un perfil diferenciado en horizontes pase a ser una mezcla poco definida (Rodrigo-Comino et al., 2018). De esta forma, las plantaciones jóvenes presentan horizontes menos desarrollados que las más viejas. (Rodrigo Comino et al., 2016). Esto sucede porque la maquinaria pesada que trabaja en el terreno modifica la estructura, la densidad aparente, la conductividad del agua y la aireación; derivando en una reducción de la calidad física del suelo. Por otro lado, la calidad química también se ve afectada porque un nuevo cultivo requerirá el uso de diversos agroquímicos, que pueden llegar a causar graves problemas, no solo edáficos, sino ambientales (Alagna et al., 2017).

No obstante, no solo el cambio de uso y el manejo del suelo influyen en sus características, puesto que también lo hace la edad del cultivo. Uno de los factores más influenciados temporalmente es la erosión, ya que el suelo de las plantaciones recientes tiene una estructura muy débil y las plantas jóvenes poseen sistemas radiculares poco desarrollados que no refuerzan la estructura del suelo, y el paso del tiempo permite tanto el desarrollo de la estructura como el crecimiento de los sistemas radiculares (Zambon et al., 2019). De la misma manera, el abandono del viñedo también influye en el contenido de nutrientes y materia orgánica del suelo, los cuales presentan mayor contenido en las terrazas abandonadas que en las jóvenes (Fernández-Calviño et al., 2008).

Además, la edad de las plantas influye en la descomposición y calidad de la materia orgánica. Esto es debido a que las plantas jóvenes tienen un mayor porcentaje de proteínas, minerales y compuestos hidrosolubles; mientras que las plantas más adultas poseen más lignina y celulosa. Es decir, las plantas jóvenes presentan compuestos fácilmente degradables, mientras que las plantas adultas disponen de compuestos mucho más resistentes. Por tanto, la descomposición de las primeras es más rápida que la de las segundas (Navarro-Baya y Navarro-García, 2003).

## 2.- OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es analizar el impacto del cultivo de la vid y su abandono sobre distintas propiedades del suelo en una zona de la Ribeira Sacra y su evolución en función de la edad del cultivo.

### 3.- MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1.-Recogida y preparación de las muestras

Todas las muestras fueron recogidas en la subzona vitivinícola de Amandi, en la Ribeira Sacra, concretamente en los alrededores de la Bodega Regina Viarum (Doade, Sober). Las terrazas plantadas con vid están muy próximas entre sí y muy cerca de la bodega (latitud: 42° 24' 33.48" N, longitud 7° 28' 30.93" O y 490 m de altitud sobre el nivel del mar). Se recogieron muestras de tres parcelas plantadas con *Vitis vinífera* de la variedad mencía de diferentes edades: 1 año, 4 años y 25 años. Además, se recogieron muestras en una terraza abandonada que se encuentra un poco más alejada de estas parcelas (latitud: 42° 24' 34.59" N, longitud: 7° 28' 14.07" O y 455 m sobre el nivel del mar) y un terreno forestal que representa cómo es el suelo original y sin modificación antrópica de la zona (latitud: 42° 24' 38.56" N, longitud: 7° 28' 8.85" O y 465 m de altitud sobre el nivel del mar). Las zonas de muestreo se muestran en las figuras 3 y 4. En cada parcela, se muestrearon suelos a dos profundidades: 0 a 20 cm y 20 a 40 cm.



Figura 3. Zona de muestreo (Google Earth Pro ,Versión 7.3.2.549)



Figura 4. Lugares de la recogida de muestras. 1 -> Terraza de 1 año, 2 -> Terraza de 4 años, 3 -> Terraza de 25 años, 4 -> Terraza abandonada y 5 -> Monte.

La toma de las muestras se llevó a cabo de manera vertical utilizando una barrena Edelman (Figura 5). Considerando que el suelo es muy heterogéneo, ya que un área uniforme puede representar desde unos metros cuadrados hasta varias hectáreas (Cobertera-Laguna, E., 1993), se recogieron muestras en tres lugares aleatorios dentro de cada parcela y a cada profundidad y se mezclaron para hacer muestras compuestas.



Figura 5. Detalle de la extracción de muestras.

Las muestras empaquetadas y etiquetadas fueron llevadas al laboratorio para su posterior secado y tamizado a 2 mm para la obtención de la fracción tierra fina, con la que se hicieron los análisis.

### **3.2.- Métodos analíticos**

#### **3.2.1.- Color**

Se analizó el color del suelo tanto seco como húmedo y para ello se cogió un papel secante en el cual se puso la muestra, y se compararon los colores con la clave de Munsell (2000). Se anota el matiz (longitud de onda predominante en la radiación que se refleja), la saturación y el croma (pureza del color analizado según el matiz que posee). Esto se hizo con el suelo seco y húmedo.

#### **3.2.2.- Granulometría**

La granulometría es un análisis que nos permite averiguar el tamaño de las diferentes partículas minerales del suelo que forman la tierra fina. El método usado se basa en la Ley de Stokes, la cual se fundamenta en la velocidad de sedimentación de las partículas en un medio líquido (en este caso en agua) según su tamaño (Carter y Gregorich, 2008).

El primer paso fue poner 20g de suelo en botes de plástico y añadirles peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) al 6%; al menos por dos o tres días removiendo de vez en cuando e incorporándoles más  $H_2O_2$  si fuera necesario. Esto se realizó para oxidar toda la materia orgánica que contiene el suelo.

A continuación se vertieron 50mL de HCl 1N para disolver los compuestos de hierro y aluminio, los cuales ayudan a formar los agregados del suelo. Se esperó 20 minutos, agitando esporádicamente.

Posteriormente, se filtró el suelo y se transfirió a botes de plástico de 1 L ayudándonos de agua destilada (Figura 6). Seguidamente, se añadieron 20mL de un agente dispersante (Calgón: 35,7g de hexametáfosfato sódico y 7,94 de carbonato sódico en 1L de agua) y se agitó durante 2 horas.



Figura 6: Suelo con  $H_2O_2$ , filtración del contenido del bote y recogida del suelo en botes de plástico para su posterior agitación; respectivamente.

Luego se tamizó el contenido de cada bote por un tamiz de  $50\mu m$ , separando de esta manera la arena del limo y la arcilla. Las arenas se colocaron en cápsulas (previamente pesadas) que fueron secadas en la estufa para luego ser tamizadas por un tamiz de  $200\mu m$  y pesadas, obteniendo las fracciones arena gruesa ( $2000\mu m - 200\mu m$ ) y arena fina ( $200\mu m - 50\mu m$ ).

El resto del material se colocó en probetas de 1L, las cuales se enrasaron con agua, se homogenizaron y se tomaron alícuotas de 20mL gracias a la pipeta Robinson (Figura 7) en tres tiempos:

- Tiempo 0: obtención de limo grueso, limo fino y arcilla.
- Tiempo 4 minutos y 48 segundos: obtención de limo fino y arcilla.
- Tiempo 8 horas: obtención de arcilla.

Cada alícuota fue transferida a un pesasustancias (pesado previamente) y llevada a la estufa. Cuando las muestras estuvieron secas se pesaron.

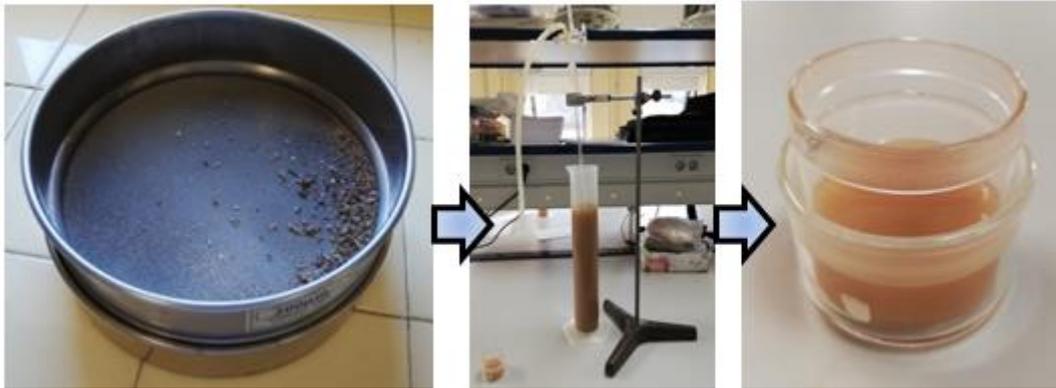


Figura 7. Tamiz para la separación de las fracciones de arena gruesa y fina, pipeta Robinson y probeta de 1L para tomar las alícuotas y pesasustancias con el contenido de la alícuota, respectivamente.

### 3.2.3.- pH

El pH es una propiedad físico-química del suelo que indica la concentración de protones. Para medir el valor de pH se siguió el procedimiento que se describe a continuación (Porta et al., 1999).

#### 3.2.3.1.- pH en agua

Para mediar el pH en agua se colocaron 10g de suelo en un vaso de precipitados de 100mL. Se añadieron 25mL de agua destilada (la proporción de suelo y solución fue de 1:2,5) y se agitó varias veces con una varilla de vidrio. Pasados 10 minutos se midió el pH del contenido del vaso de precipitados con un pHmetro.

#### 3.2.3.2.- pH en KCl

Para determinar el pH en KCl se pesaron 10g de suelo y se colocaron en un vaso de precipitados de 100mL. Se añadieron 25mL de KCl 1N (nuevamente en una proporción 1:2,5) y se agitó varias veces con una varilla de vidrio. Después de esperar una hora se midió el pH con un pHmetro.

### 3.2.4.- Carbono total

El método usado para analizar el Carbono total es el de Walkley-Black, que consiste en determinar el carbono por vía húmeda. Se basa en la utilización de  $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$  1 N (dicromato potásico) y  $\text{SO}_4\text{H}_2$  al 96% (ácido sulfúrico concentrado), siendo el primero el que oxida la materia orgánica contenida en el suelo. Para valorar cuánto dicromato potásico se ha consumido se utiliza Sal de Mohr (sustancia reducida) (Enang et al., 2018) (Carter y Gregorich, 2008).

Primeramente, se molieron las muestras y se pesaron 0,5g de suelo que se introdujeron en un matraz Erlenmeyer de 250mL. A continuación se añadieron 50mL de ácido sulfúrico y 25mL de dicromato potásico, agitando constantemente bajo un chorro de agua fría para disipar el calor emitido por la reacción exotérmica de oxidación. Además, se preparó un blanco con las mismas cantidades de ácido

sulfúrico y dicromato potásico, pero sin suelo. Se introdujeron todos los Erlenmeyers en la estufa a 110 °C durante una hora y media. Concluido el tiempo, se sacaron los matraces de la estufa y se dejaron enfriar. Posteriormente, se transfirió el contenido del matraz a matraces aforados de 250mL y se enrasaron con agua destilada (Figura 8).



Figura 8. Erlenmeyers con suelo, ácido sulfúrico y dicromato potásico y matraces aforados con el contenido de los Erlenmeyer y enrasados con agua; respectivamente.

Antes de llevar a cabo la valoración se comprobó la normalidad de la Sal de Mohr, porque es un compuesto que se degrada con facilidad. Para ello se colocaron en un vaso de precipitados 1mL de  $\text{SO}_4\text{H}_2$ , 1mL de  $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$ , 100mL de agua destilada, 2 gotas de difenilamina (indicador) y 2 gotas de ácido fosfórico. Para realizar la valoración se colocó el vaso de precipitados bajo una bureta con Sal de Mohr y se valoró hasta que el color de la solución se volvió gris (Figura 9).

Finalmente, se cogieron 5mL del blanco o de las muestras, y se vertieron en un vaso de precipitados. Se agregaron 100mL de agua destilada, 2 gotas de difenilamina y 2 gotas de ácido fosfórico, y se valoró con Sal de Mohr hasta el viraje gris.



Figura 9. Valoración con Sal de Mohr.

### 3.2.5.- Fósforo

Para extraer el fósforo del suelo se empleó el Método Olsen que se basa en el uso de una solución extractante de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,5M (Carter y Gregorich, 2008).

En un frasco de plástico se colocó 1g de suelo junto con 20mL de la solución de  $\text{NaHCO}_3$  (Figura 10). Además se preparó un blanco, el cual lleva también 20mL de

bicarbonato de sodio, pero sin suelo. Se agitó durante 30 minutos y se filtró el contenido de los frascos desechando las primeras gotas, para evitar que el extracto fuera turbio.

A *posteriori*, se transfirieron 2mL del filtrado a un matraz de 50mL, el cual se enrasó con solución de ácido ascórbico y molibdato de amonio. Se agitó y se dejó reposar 30 minutos en la oscuridad para que el fósforo reaccionara con la solución de molibdato de amonio y desarrollara color. Por último, con un espectrofotómetro se midió la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 882 nm.



Figura 10. Bote con el suelo y la solución extractante, filtración después de la agitación y matraces aforados con las soluciones antes de aparecer el color; respectivamente.

Para calcular la concentración de fósforo se realizó una recta de calibrado de absorbancia vs. concentración (Figura 11) . Para ello se prepararon patrones de fósforo de la misma forma que las muestras pero con concentraciones de fósforo (Tabla 1).

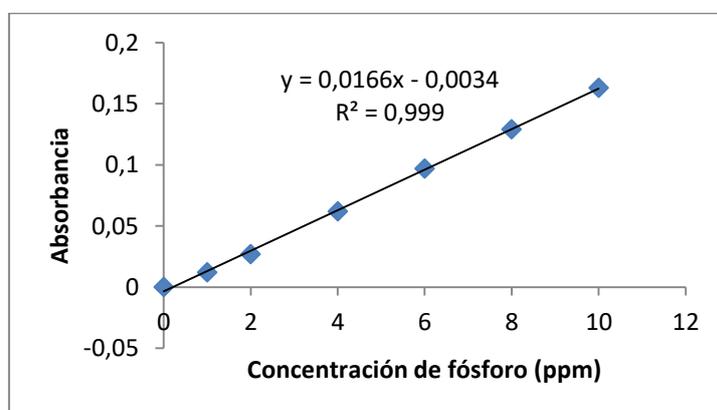


Figura 11. Recta de calibrado (absorbancia vs concentraciones de fósforo).

### 3.3.- Análisis estadísticos

Las propiedades cuantitativas del suelo fueron analizadas por triplicado, a excepción de la textura.

Las diferencias entre las parcelas fueron analizadas primero con el Test de Shapiro-Wilk, el cual permite saber si las muestras siguen una distribución normal. Una vez obtenido el resultado se realizó un Test de Análisis de la Varianza (ANOVA) y un test de Tukey cuando los valores siguieron una distribución normal, y un Test de Kruskal-

Wallis y otro de Dunnet en caso contrario. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el software R (R Project ,Versión 3.6.0), estableciendo el valor de significación en  $p < 0,05$ .

## 4.- RESULTADOS

### 4.1.- Color

Como ya se señaló anteriormente, en el color se analizan 3 parámetros: el matiz, el valor y el croma. El matiz manifiesta el color espectral dominante, es decir, la longitud de onda más reflejada, y generalmente se debe a la presencia de óxidos de hierro. Es representado por las letras iniciales de cada color en inglés (Y-yellow; R-red). El valor, por otra parte, es la claridad u oscuridad del color y su rango se mueve desde 1 (oscuro) a 10 (claro). Por último, el croma hace referencia a la pureza del color con un rango de 1 (pálido) a 8 (brillante) (Porta et al., 1999).

Tabla 1. Resultados del color a la profundidad de 0 a 20 cm.

<b>Color (Profundidad 0-20 cm)</b>						
<b>Edad</b>	<b>Suelo Seco</b>			<b>Suelo húmedo</b>		
	Matiz	Valor	Croma	Matiz	Valor	Croma
<b>1 año</b>	10YR	6	4	7,5YR	4	3
<b>4 años</b>	10YR	6	3	7,5YR	3	3
<b>25 años</b>	10YR	4	3	7,5YR	2,5	2
<b>Abandonada</b>	10YR	5	4	7,5YR	2,5	3
<b>Monte</b>	10YR	4	3	10YR	2	2

Tabla 2. Resultados del color a la profundidad de 20 a 40 cm.

<b>Color (Profundidad 20-40 cm)</b>						
<b>Edad</b>	<b>Suelo Seco</b>			<b>Suelo húmedo</b>		
	Matiz	Valor	Croma	Matiz	Valor	Croma
<b>1 año</b>	10YR	6	4	7,5YR	4	3
<b>4 años</b>	10YR	6	4	7,5YR	3	4
<b>25 años</b>	10YR	4	3	7,5YR	3	2
<b>Abandonada</b>	10YR	5	4	7,5YR	3	3
<b>Monte</b>	10YR	4	3	10YR	2	2

Analizando los resultados (Tabla 1 y 2) se observa que el matiz es 10YR o 7,5YR. El valor en suelos secos oscila entre 6 y 4 para ambas profundidades y en suelos húmedos oscila de 4 a 2,5 en profundidades de 0-20 cm y de 4 a 2 en profundidades de

20-40 cm. El croma permanece igual en el suelo seco (de 4 a 3) y en suelo húmedo va de 3 a 2 en profundidades de 0-20 cm y de 4 a 2 en profundidades de 20-40 cm.

Con todo esto sabemos que el color del suelo es un marrón-anaranjado (resultante de la mezcla de amarillo (Y) y el rojo (R)) y que la oscuridad y el brillo son medios en suelos secos, aunque los suelos húmedos son más oscuros y con menos brillo.

De manera general el color del suelo no ha cambiado con la profundidad y aquellos que sí lo han hecho, presentan cambios poco notables. Sin embargo y sobre todo en los análisis de suelos secos, se aprecia que el valor que presentan las terrazas de 1 y 4 años es mayor que la terraza de 25 años, la abandonada y el monte. Teniendo en cuenta que el contenido en materia orgánica oscurece el suelo (Porta et al., 1999) y los resultados de Carbono total obtenidos (Figura 16), es probable que este sea el motivo de su oscurecimiento.

#### 4.2.- Granulometría

Los resultados de los porcentajes de las fracciones de arena, limo y arcilla, además de la textura determinada mediante el diagrama textural (Figura 13) están recogidos en la Tabla 3. Como podemos observar en dicha tabla, todos los suelos son franco arenosos a excepción de la terraza de 25 años, el cual es franco para las dos profundidades estudiadas.

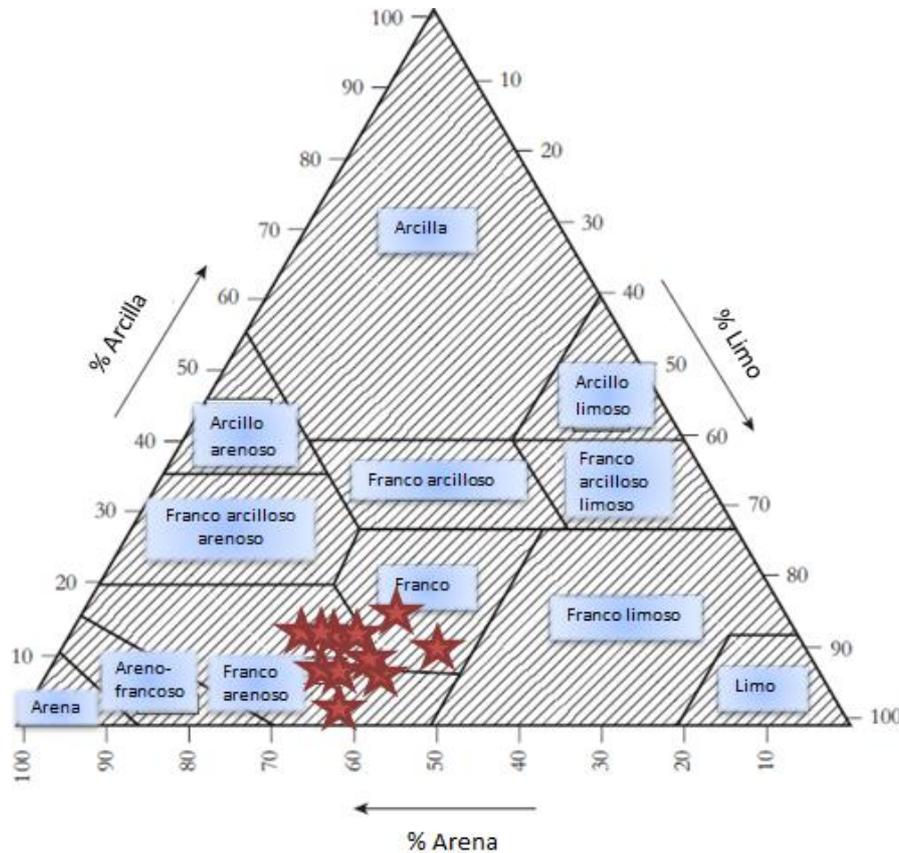


Figura 12. Diagrama textural. Las estrellas sitúan las diferentes clases de edad y profundidades en el diagrama.

Tabla 3. Porcentaje de las fracciones texturales y su textura.

Edad	Profundidad 0-20 cm			Textura	Profundidad 20-40 cm			Textura
	Arena	Limo	Arcilla		Arena	Limo	Arcilla	
	-----%-----				-----%-----			
<b>1 año</b>	56,4	32,7	10,9	Franco arenoso	64,7	20,6	14,7	Franco arenoso
<b>4 años</b>	59,6	30,3	10,1	Franco arenoso	63,7	33,5	2,8	Franco arenoso
<b>25 años</b>	50,8	30,7	18,5	Franco	47,7	39,2	13,1	Franco
<b>Abandonada</b>	61,1	30,6	8,3	Franco arenoso	60,9	26,1	13,0	Franco arenoso
<b>Monte</b>	54,6	31,2	14,2	Franco arenoso	53,6	32,8	13,6	Franco arenoso

Los resultados de la textura de la Ribeira Sacra no distaron de otros estudios realizados en la zona, siendo la arena el componente principal, seguida del limo y la arcilla. (Fernández-Calviño et al., 2009). Las diferentes clases de edad no muestran diferencias importantes entre las distintas fracciones y profundidades; concordando así con otros estudios donde la textura no cambia con la edad las plantaciones (Fernández-Calviño et al., 2008) (Alagna et al., 2017). Tampoco presentan ninguna diferencia con la profundidad, por lo que se puede considerar una textura uniforme (White, R.E., 2015). Esto es lógico, ya que para que se produzcan cambios en la textura de un suelo se necesitan períodos de tiempo más largos que 25 años.

#### 4.3.- pH

En la determinación del pH en agua los resultados oscilan entre 4,37 a 5,18 en la profundidad de 0 a 20 cm, y de 4,37 a 5,34 en la profundidad de 20 a 40 cm (Figura 13). Los resultados del análisis en KCl son los siguientes (Figura 14): de 3,51 a 4,09 en la profundidad de 0-20 cm y de 3,65 a 4,01 en la profundidad de 20-40 cm. Por tanto, nos encontramos ante suelos fuertemente ácidos (Porta et al., 1999).

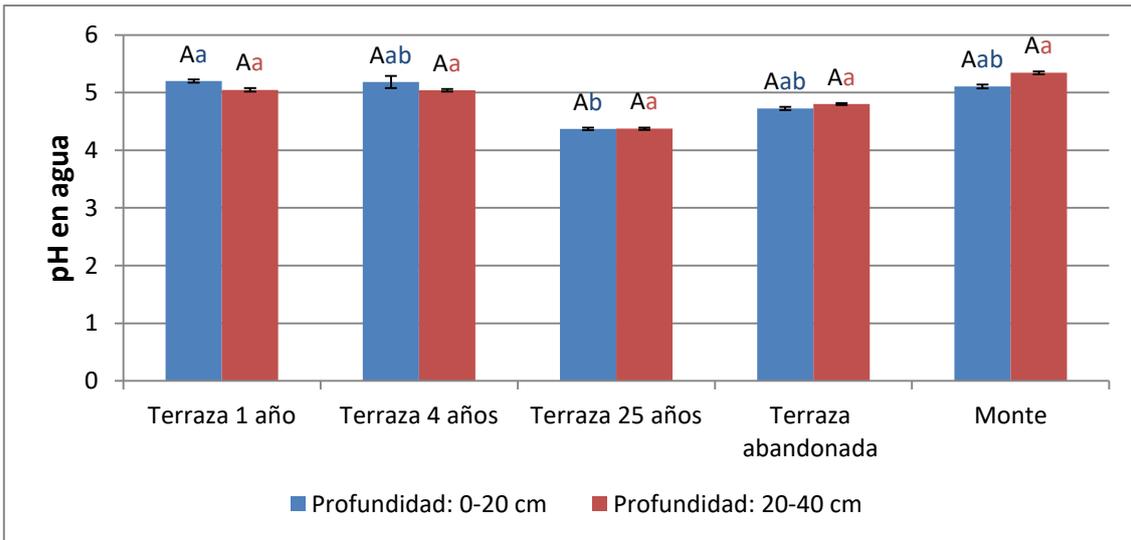


Figura 13. Resultados del pH en agua. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre parcelas a la misma profundidad ( $P < 0,05$ ). Letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas entre las dos profundidades en una misma parcela ( $P < 0,05$ ). Las barras de error se corresponden a la desviación estándar de los triplicados.

Los valores pH en KCl son menores que los del pH en agua, lo cual es lógico: con la determinación en agua se obtiene la acidez activa, o sea, la concentración de protones libres que se disocian en la solución del suelo, mientras que con la determinación en KCl se mide la acidez potencial, es decir, se miden los protones libres y los protones que son liberados del complejo de cambio al ser sustituidos por K (Porta et al., 1999).

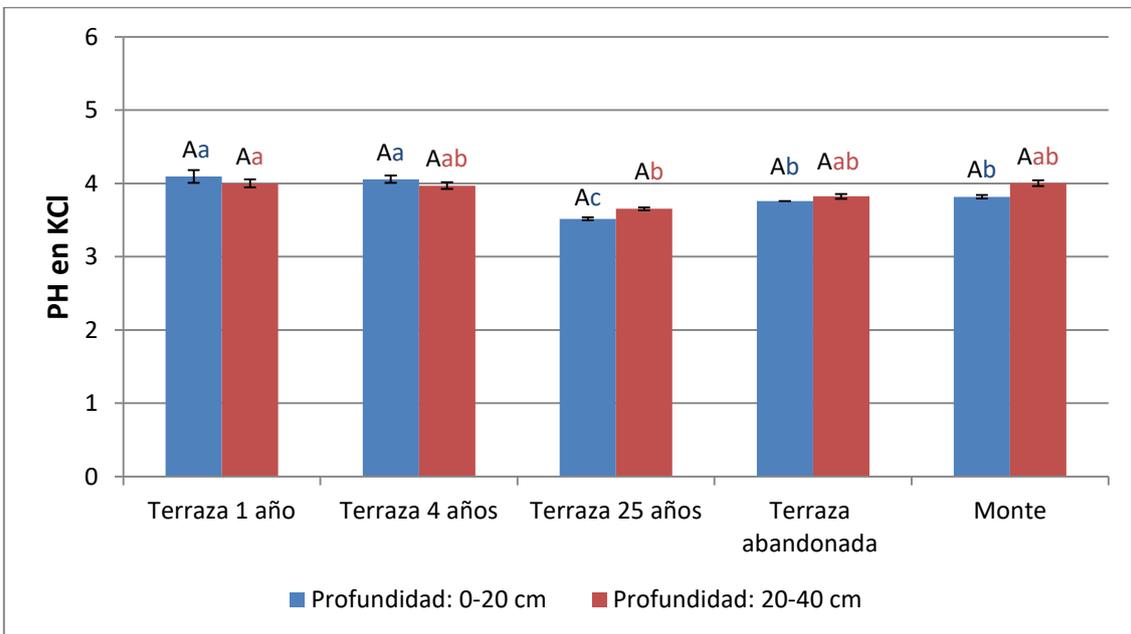


Figura 14. Resultados del pH en KCl. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre parcelas a la misma profundidad ( $P < 0,05$ ). Letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas entre las dos profundidades en una misma parcela ( $P < 0,05$ ). Las barras de error se corresponden a la desviación estándar de los triplicados.

En el pH en agua se encontraron diferencias significativas entre parcelas a la profundidad de 0 a 20 cm, mientras que a la profundidad de 20 a 40 cm las diferencias

no fueron significativas. Por su parte, el pH en KCl muestra diferencias significativas entre parcelas en ambas profundidades por separado. Otros trabajos realizados en viñedos obtuvieron resultados similares (Fernández-Calviño et al., 2008; Patinha et al., 2018). En las figuras 13 y 14 se puede observar que el pH disminuye en la parcela de 25 años en comparación con las más jóvenes e incluso con la parcela abandonada y el monte. El trabajo de Patinha et al. (2018) avala esta acidificación temporal del suelo en los viñedos, señalando que las causas más probables son la actividad microbiana, la lixiviación de iones o la agregación de productos químicos. Uno de los más importantes es el azufre, muy usado en el sector vitivinícola, y que al oxidarse genera compuestos ácidos. Asimismo, en la gráfica del pH en KCl se ve que con el abandono del cultivo el pH tiende a recuperar el valor que tenía inicialmente. Fernández-Calviño et al. (2008) señalaron que los viñedos abandonados tenían pH significativamente superiores que los viñedos jóvenes y viejos, y a pesar de que nuestros resultados no muestran que sean superiores a los jóvenes, si presentan diferencias significativas en los análisis de KCl en profundidades de 0 a 20 cm.

#### 4.4.- Carbono total

Los resultados de carbono orgánico (Figura 15) oscilaron de 0,54% a 5,32% en la profundidad de 0 a 20 cm y de 0,55% a 3,54% en la profundidad de 20 a 40 cm. Se encontraron diferencias significativas entre parcelas, y en algún caso, como en la terraza de 25 años, entre profundidades.

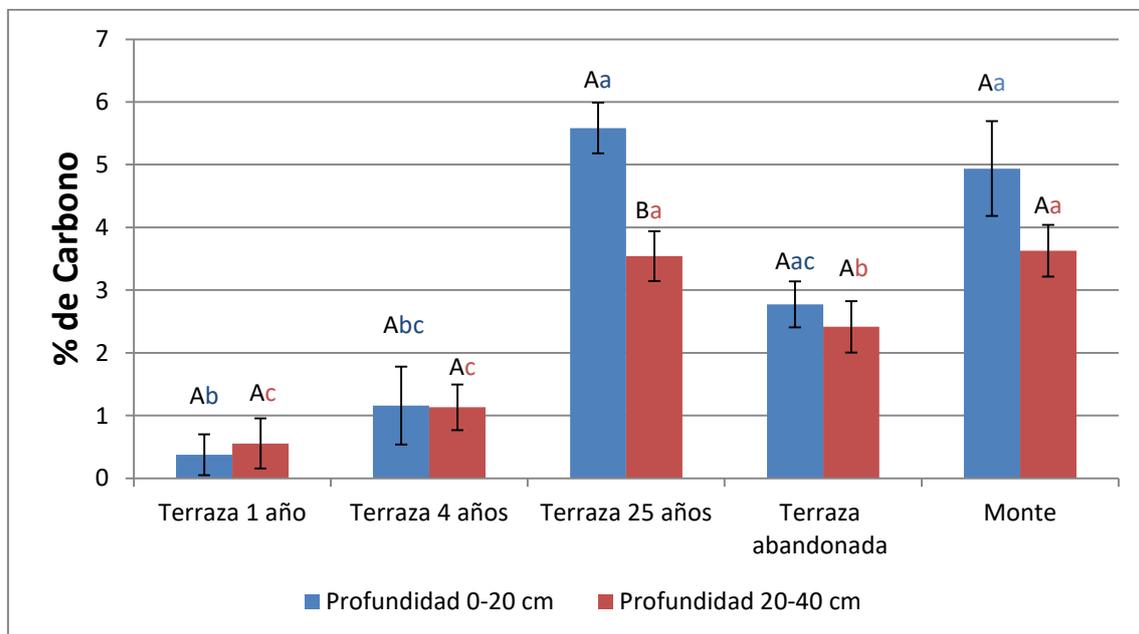


Figura 15. Resultados del porcentaje de carbono. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre parcelas a la misma profundidad ( $P < 0,05$ ). Letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas entre las dos profundidades en una misma parcela ( $P < 0,05$ ). Las barras de error se corresponden a la desviación estándar de los triplicados.

Tal como podemos ver en la Figura 15, los suelos de viñedo más antiguos presentan un porcentaje de carbono más elevado que los más jóvenes. Otros trabajos de la misma

índole hallaron resultados similares (Fernández-Calviño et al., 2008; Patinha et al., 2018), destacando que el manejo de la superficie del suelo merma la acumulación de materia orgánica, y por tanto, la del carbono (Patinha et al., 2018).

En la Figura 15 se puede apreciar, que el contenido de carbono de la terraza abandonada es menor que el de la terraza de 25 años y que el del monte. Esto puede ser debido a que esta terraza presentaba un estado de abandono severo, donde los muros se encontraban parcialmente derruidos, y en consecuencia la tierra no es retenida. Considerando este último punto, la gran pendiente del lugar y que la vegetación estaba compuesta por plantas herbáceas; podemos considerar que fácilmente se produzcan episodios de escorrentía y consecuentemente la pérdida de materia orgánica. Existen otros trabajos que apoyan la pérdida de suelo por erosión hidráulica (Patinha et al., 2018) (Novara et al., 2019).

Por otro lado, el contenido en carbono disminuye con la profundidad (Sheklabadi et al., 2015), ya que la materia orgánica se acumula en la superficie del suelo (Navarro-Baya y Navarro-García, 2003). Sin embargo, en el caso de la terraza de un año los resultados muestran justo lo contrario, lo cual es lógico, porque el suelo ha sufrido una reestructuración completa, distribuyendo inicialmente todos los nutrientes de forma homogénea (Rodrigo-Comino et al., 2018). No obstante, los suelos jóvenes y desprotegidos presentan mayor riesgo de erosión (Rodrigo-Comino et al., 2016), siendo esta la causa más probable de la pérdida de carbono en la superficie.

#### **4.5.- Fósforo**

Las concentraciones de fósforo (Figura 16) oscilaron de 0,63 ppm a 3,23 ppm en la profundidad de 0 a 20 cm y de 0,54 ppm a 2,04 ppm. Se encontraron diferencias significativas entre el monte y la terraza de 25 años en la profundidad de 0 a 20cm; mientras que a profundidades de 20 a 40 cm se encontraron entre las terrazas de 4 y 25 años.

Las concentraciones de P son bajas a excepción de la terraza de 25 años, indicando la probable fertilización con fósforo, ya que es muy raro que en una zona próxima y con un rango de concentraciones similares para el resto de edades se deba a un factor natural (Sheklabadi et al., 2015).

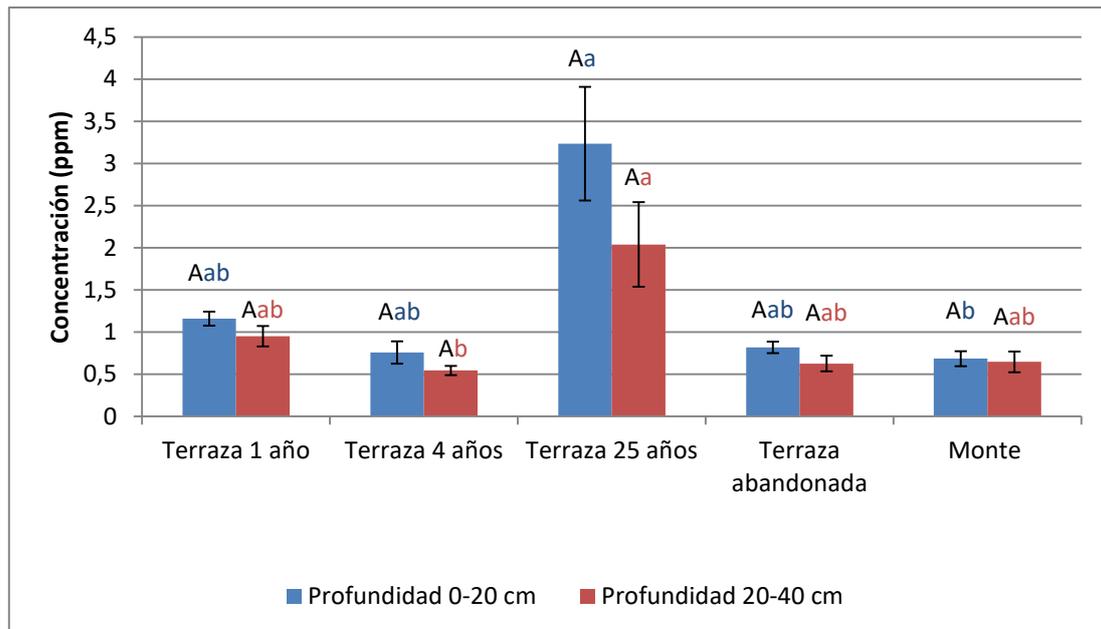


Figura 16. Resultados de la concentración de fósforo. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre parcelas a la misma profundidad ( $P < 0,05$ ). Letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas entre las dos profundidades en una misma parcela ( $P < 0,05$ ). Las barras de error se corresponden a la desviación estándar de los triplicados.

De igual manera que el carbono, la concentración de fósforo disminuye con la profundidad, muy posiblemente debido a la acumulación de materia orgánica en la superficie (Navarro-Baya y Navarro-García, 2003). Aunque en otro estudio ocurre el caso contrario (Sheklabadi et al., 2015).

## 5.- DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran diferentes estados de evolución de algunas propiedades del suelo tras la implantación de un viñedo, siendo la más rápida en cambiar la materia orgánica del suelo, mientras que la textura (tamaño de las partículas minerales) apenas ha cambiado con el paso del tiempo. La terraza de un año ha sufrido una remoción de su suelo hasta una profundidad superior a 40 cm, es decir, el suelo está muy homogeneizado, por lo que no presenta diferencias significativas en sus propiedades con la profundidad.

Las propiedades de la terraza de un año y de cuatro años son similares y no se aprecian diferencias entre profundidades debido a que no ha transcurrido el tiempo necesario para que cambien significativamente. Sin embargo, se puede apreciar una tendencia al aumento del contenido en materia orgánica.

Las mayores diferencias se encuentran en el cultivo de 25 años, ya que presenta un aumento significativo en el contenido de materia orgánica y la formación de distintos horizontes en comparación con las terrazas de uno y cuatro años. La acumulación de

esta materia orgánica es acompañada de un descenso en el pH. Hay que señalar que los valores de materia orgánica con similares a los obtenidos en suelos de monte. Además, el viñedo de 25 años también presenta diferencias importantes en las concentraciones de fósforo, en contraste con los otros terrenos, pero debidas probablemente a la fertilización de la parcela (Sheklabadi et al., 2015).

El abandono del cultivo resulta en un descenso en el contenido en materia orgánica en los dos horizontes, que se traduce también en un aumento del pH. Esto puede ser debido a que la vegetación que lo habita es herbácea y proporciona menos restos que la vid. Además, es posible que se produzcan episodios de erosión hidráulica donde se pierde suelo (Novara et al., 2019) y que el Cu que se ha ido acumulando en él afecte a la actividad microbiana (Fernández-Calviño et al., 2010), la cual mineraliza la materia orgánica (Navarro-Baya y Navarro-García, 2003).

## 6.- CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado el impacto del viñedo y la evolución temporal de las propiedades del suelo a dos profundidades. Las conclusiones a las que se ha llegado son las siguientes:

- El color se oscurece con la edad de la vid y también es más oscura en el monte y la terraza abandonada, probablemente debido a la presencia de mayor contenido en materia orgánica.
- La textura no muestra diferencias con el uso original del suelo ni con la edad del cultivo.
- El desarrollo del cultivo afecta al pH, disminuyendo ligeramente con la evolución del viñedo, pero recuperando un pH similar cuando el mismo es abandonado.
- El contenido en carbono orgánico aumenta con la edad del viñedo, y tras 25 años de cultivo, se observan diferencias significativas con la profundidad; debido al efecto acumulado de la deposición de restos vegetales en la superficie del suelo.
- El fósforo muestra concentraciones superiores en la terraza de 25 años, que es la que presenta diferencias con las otras clases de edad. Estas se deben probablemente a una fertilización reciente, de manera que no podemos afirmar que estas diferencias sean producidas por la madurez de la vid.

En vista de estos resultados, sería beneficioso realizar más estudios sobre la acumulación de carbono en los suelos de viñedo, ya que viñedos de gran edad pueden funcionar como sumideros de carbono, contribuyendo a evitar su pérdida del suelo y su incorporación a la atmósfera en forma de gases de efecto invernadero.

## CONCLUSIÓNS

Neste traballo analizouse o impacto do viñedo e a evolución temporal das propiedades do solo a dúas profundidades en viñedos da Ribeira Sacra. As conclusións ás que se chegaron foron:

- A cor escurécese coa idade da vide, sendo tamén máis escuro na viña abandonada e no monte; probablemente debido a un maior contido en materia orgánica.
- A textura non mostra diferenzas co uso orixinal do solo nin coa idade do cultivo.
- O desenrolo do cultivo afecta ao pH, diminuíndo lixeiramente coa evolución do viñedo, pero recuperando un nivel similar ó orixinal cando este é abandonado.
- O contido en carbono orgánico aumenta coa idade do viñedo, e tras 25 anos de cultivo, obsérvanse diferencias significativas coa profundidade, debido ó efecto acumulado da deposición de restos vexetais na superficie do solo.
- O fósforo mostra concentracións superiores na terraza de 25 anos, que é a que presenta diferenzas coas outras clases de idade. Estas débense, probablemente, a unha fertilización recente, de maneira que non podemos afirmar que estas diferencias sexan producidas pola madurez da vide.

En vista destes resultados, sería beneficioso realizar máis estudos sobre a acumulación de carbono nos solo de viñedo, xa que viñedos de gran idade poden funcionar como sumideiros de carbono, contribuíndo a evitar a súa perda do solo e a súa incorporación á atmósfera na forma de gases de efecto invernadoiro.

## CONCLUSIONS

In this work, the changes in soil properties as a function of the age of the crop were studied at two depths in vineyards from the Ribeira Sacra. The conclusions are:

- The color became darker with the vineyard age, being darker in the abandoned vineyard and in the forest too, possibly as a result of a higher organic matter content.
- The texture did not show significant differences with vineyard age or land use.
- The crop development altered the pH, which decreased with the age of the vineyard, but increased to reach the original values when the vineyard was abandoned.
- Organic carbon content increased with vineyard age, and after 25 years since the establishment of the crop, significant differences with depth were observed

probably due to the long history of plant residues accumulating on the surface of the soil.

- Available phosphorous showed higher concentrations in the 25 years old vineyard compared to the other treatments. These differences were caused, most probably, by a recent addition of fertilizer, and thus they cannot be ascribed to the age of the crop.

In light of these results, it could be highly beneficial to extend this research on the accumulation of organic carbon in vineyard soils, since old vineyards might function as carbon sinks, contributing to mitigate its loss from the soil and its incorporation to the atmosphere as greenhouse gases.

## 7.- BIBLIOGRAFÍA

Alagna, V.; Di Prima, S.; Rodrigo-Comino, J.; Iovino, M.; Pirastru, M.; Keesstra, S. Novara; A. & Cerdà, A. (2017). The impact of the age of vines on soil hydraulic conductivity in vineyards in eastern Spain. *Water* 10(1). <https://doi.org/10.3390/w10010014>

Carter, M.R. & Gregorich, E.G. (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Boca Raton: Taylor & Francias Group.

Cobertera-Laguna, E. (1993). *Edafología aplicada: Suelos, producción agraria, planificación territorial e impactos ambientales*. Madrid: Cátedra S.A.

DOG (Diario Oficial de Galicia) nº207 (30 de octubre de 2018). *Orden 23 de octubre de 2018 por la que se adopta decisión favorable en relación con la solicitud de registro de la modificación del pliego de condiciones de la denominación de origen protegida Ribeira Sacra*. Disponible en: [https://www.xunta.gal/dog/Publicados/2018/20181030/AnuncioG0426-241018-0003\\_es.pdf](https://www.xunta.gal/dog/Publicados/2018/20181030/AnuncioG0426-241018-0003_es.pdf)

Enang, R.K.; Yerima, B.P.K.; Kome, G.K. & Van Ranst, E. (2018). Assessing the Effectiveness of the Walkley-Black Method for Soil Organic Carbon Determination in Tephra Soils of Cameroon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(19), 2379–2386. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1510948>

Fernandes, J.C.; García-Angulo, P.; Goulao, L. F.; Acebes, J. L. & Amâncio, S. (2013). Mineral stress affects the cell wall composition of grapevine (*Vitis vinifera* L.) callus. *Plant Science*, 205–206, 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.01.013>

Fernández-Calviño, D.; Nóvoa-Muñoz, J.C.; López-Periago, E. & Arias-Estévez, M. (2008). Changes in copper content and distribution in young, old and abandoned

vineyard acid soils due to land uses changes. *Land Degradation. Development* 19: 165–177.

Fernández-Calviño, D.; Nóvoa-Muñoz, J.C.; Díaz-Raviña, M. & Arias-Estévez, M. (2009). Copper accumulation and fractionation in vineyard soils from temperate humid zone (NW Iberian Peninsula). *Geoderma*, 153(1–2): 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.07.024>

Fernández-Calviño, D.; Martín, A.; Arias-Estévez, M.; Bååth, E. & Díaz-Raviña, M. (2010). Microbial community structure of vineyard soils with different pH and copper content. *Applied Soil Ecology*, 46(2), 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.08.001>

R Project (Versión 3.6.0) [Software de ordenador]. (2019). Vienna: The R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <https://www.r-project.org>

Google Earth Pro (Versión 7.3.2.549) [Software de ordenador]. (2019). Mountain View: Google. Recuperado de [https://www.google.com/intl/es\\_ALL/earth/versions](https://www.google.com/intl/es_ALL/earth/versions)

López-Sabatel, J.A. (2016). *Tierra y campesinado en la Ribeira Sacra durante los siglos XIV y XV* (Tesis doctoral). UNED.

Munsell, A. (2000). *Munsell Soil Color Charts*. Gretag Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation. New York

Navarro-Baya, S. & Navarro García, G. (2003). *Química agrícola: el suelo y los elementos esenciales para la vida vegetal*. Madrid, Mundi-prensa.

Novara, A.; Minacapilli, M.; Santoro, A.; Rodrigo-Comino, J.; Carrubba, A.; Sanro, M.; Venezia, G. & Gristina, L. (2019). Real cover crops contribution to soil organic carbon sequestration in sloping vineyard. *Science of the Total Environment*, 652, 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.247>

Patinha, C.; Durães, N.; Dias, A.C.; Pato, P.; Fonseca, R.; Janeiro, A.; Barriga, F.; Reis, A. P.; Duarte, A.; Ferreira da Silva, E.; Sousa, A. J. & Cachada, A. (2018). Long-term application of the organic and inorganic pesticides in vineyards: Environmental record of past use. *Applied Geochemistry*, 88, 226–238. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.05.014>

Porta, J.; Lopez-Acevedo, M. & Roquero, C. (1999). *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi-prensa.

Sheklabadi, M.; Mahmoudzadeh, H.; Mahboubi, A. A.; Gharabaghi, B. & Ahrens, B. (2015). Long-term land-use change effects on phosphorus fractionation in Zrêbar Lake margin soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(6), 737–749. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.954106>

Rodrigo Comino, J.; Quiquerez, A.; Follain, S.; Raclot, D.; Le Bissonnais, Y.; Casalí, J.; Giménez, R.; Cerdá, A.; Keesstra, S.D.; Brevik, E.C.; Pereira, P.; Senciales, J.M.; Seeger, M., Ruiz Sinoga J.C. & Ries, J. B. (2016). Soil erosion in sloping vineyards assessed by using botanical indicators and sediment collectors in the Ruwer-Mosel valley. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.009>

Rodrigo-Comino, J.; Brevik, E. C. & Cerdà, A. (2018). The age of vines as a controlling factor of soil erosion processes in Mediterranean vineyards. *Science of the Total Environment*, 616–617, 1163–1173. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.204>

White, R.E. (2015). *Understanding Vineyard Soils*. New York: Oxford University Press.

Zambon, I.; Cerd, A.; Cividino, S. & Salvati, L. (2019). The (Evolving) Vineyard ' s Age Structure in the Valencian Community , Spain : A New Demographic Approach for Rural Development and Landscape Analysis. <https://doi.org/10.3390/agriculture9030059>