



1 Resumen del proyecto	3
2 Introducción	4
3 Objetivos del proyecto.....	5
4 Metodología	6
4.1 Selección de parcelas	6
4.2 Diseño experimental.....	7
4.3 Producción de vermicompost	8
4.4 Trillado de madera de poda para incorporación al suelo.....	12
4.5 Muestreo de suelos para análisis de fertilidad	12
4.6 Muestreo suelos para análisis de diversidad de microbioma	13
4.7 Evaluación de producción.....	15
4.8 Elaboración de microvinificaciones	15
4.9 Determinación de parámetros analíticos de mostos y vinos	16
4.10 Análisis sensorial de vinos elaborado	16
4.11 Metodología Deep Learning (JAVIER).....	17
4.12 Determinación huella de carbono (JAVIER).....	17
5 Resultados	17
5.1 Caracterización de la fertilidad de los suelos	17
5.2 Estado nutricional de los suelos de las parcelas seleccionadas	18
5.3 Evolución del proceso de elaboración del vermicompost y composición final.....	21
5.4 La microbiota del suelo: incidencia del manejo de restos de poda.....	23
5.5 Efecto de la fertilidad del suelo y el manejo de restos de poda en la distribución de las comunidades microbianas	40
5.6 Composición del mosto/vino y su relación con la incorporación de restos de poda o de vermicompost.....	42
5.7 Huella de Carbono.....	48
5.8 ALGORITMO Y PLATAFORMA.....	48
6 Consideraciones finales de carácter general.....	48
7 Divulgación	49
8 Referencias bibliográficas utilizadas en la redacción del proyecto.....	49

1 Resumen del proyecto

La calidad del vino actualmente está determinada no solo por su calidad intrínseca, por sus características físico-químicas y organolépticas, sino también por una producción sostenible. Ello exige el diseño de técnicas innovadoras en los procesos productivos junto con el uso de herramientas tecnológicas que faciliten procesos convenientes de acuerdo con el 'Green Deal', lanzado por la Unión Europea.

El proceso de elaboración del vino implica dos tipos de residuos de difícil valorización: las podas de viña y el bagazo. Los restos de poda, muchas veces son retirados de la parcela y destruidos, lo que suponen un grave problema medioambiental por la emisión de gases de efecto invernadero. Su incorporación al suelo directamente, o tras el compostaje, permitiría su utilización como fuente de materia orgánica. El bagazo que queda tras el proceso de despalillado/prensado de la uva es una fuente de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros nutrientes. Sin embargo, presenta compuestos que pueden inhibir el crecimiento de las raíces, por lo que es necesario un fermentado antes de añadirlo al suelo mediante un proceso de vermicompostaje. Ni en el caso de la utilización de residuos de poda ni en la incorporación de bagazo al suelo como fertilizantes, se conoce su efecto sobre los microorganismos del suelo.

Conociendo la existencia de este problema de gestión, en el marco de una economía circular, en este proyecto se ha valorado la viabilidad de obtener vinos de calidad altamente sostenible a partir de la valorización de estos residuos como fertilizantes.

Los resultados han mostrado diferencias en la abundancia y diversidad de comunidades fúngicas y bacterianas en el suelo de viñedos que incorporan restos de poda frente a aquellos que no los incorporan, lo que redundará en una mayor actividad biológica. Se han identificado patógenos implicados en diferentes enfermedades de madera de la vid en las parcelas en las que se incorporaron restos de poda; mayoritariamente la presencia de *Diaporthe*, causante de excoriosis. Es necesario determinar en qué medida estos patógenos presentes en el suelo se incorporan a la planta, o si tal como apuntan distintos estudios, estos patógenos son endófitos de las plantas y se desarrollan como consecuencia de situaciones de estrés bióticos y abióticos a los que están sometidas.

El proceso de transformación del bagazo en humus de lombriz a partir del vermicompostaje tiene resultados positivos a nivel físico-químico. Como resultado del proceso se obtuvo en 7 meses una enmienda orgánica apta para fertilizar o plantar un viñado, cuyas dosis recomendadas dependerían de las condiciones específicas de cada viñado. Es necesario confirmar que el vermicompost final es una enmienda cuya aplicación agrícola mejora las propiedades fisicoquímicas y aumenta la actividad microbiana del cultivo, favoreciendo las condiciones nutricionales de los cultivos. Teniendo en cuenta lo anterior, el vermicompostaje es una tecnología de gestión de residuos de bagazo eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Las características químicas y organolépticas de los vinos elaborados con uvas procedentes de las parcelas en la que se aplicaron estos dos tipos de residuos no ha mostrado grandes

diferencias con los vinos obtenidos de parcelas con fertilización convencional, por lo que se pueden considerar como dos buenas estrategias para la obtención de vinos más sostenibles.

2 Introducción

La calidad del vino actualmente está determinada no solo por su calidad intrínseca, por sus características físico-químicas y organolépticas, sino también por lo sostenible que sea su producción. Esto requiere el diseño de técnicas innovadoras en los procesos productivos junto con el uso de herramientas tecnológicas que faciliten estos procesos de acuerdo con el 'Green Deal', lanzado por la Unión Europea.

La producción de vino requiere un gran aporte de materias primas, para cubrir las necesidades de nutrientes que normalmente se realiza a través de fertilizantes orgánicos y minerales. Los procesos de fabricación, el transporte y la distribución de fertilizantes en el suelo son los aspectos que tienen mayor peso en las emisiones de CO₂ a la atmósfera en la gestión vitícola del cultivo.

En la actividad vitivinícola se generan dos tipos de residuos de difícil valorización: los restos de poda de los viñedos y los orujos procedentes de la vinificación.

Los restos de poda suelen ser retirados de la parcela y quemados, lo que supone un importante problema medioambiental por la emisión de gases de efecto invernadero, práctica en la actualidad ya prohibida en diferentes Comunidades.

Su incorporación al suelo directamente, o tras su compostaje, permite utilizar los sarmientos como fuente de materia orgánica. Antiguamente, el viticultor cavaba zanjas donde enterraba los restos de poda junto con estiércol y agua como fuente de fertilización. No obstante, hoy en día, las explotaciones vitivinícolas cuentan con trituradoras que permiten desmenuzar las podas, facilitando su asimilación por los microorganismos existentes en el suelo, transformándolas en una fuente de nitrógeno y carbono.

El bagazo formado principalmente por los raspones, restos de pulpa, hollejos y pepitas, obtenidos tras el proceso de despalillado/prensado de la uva, es una rica fuente de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros nutrientes. Sin embargo, entre sus componentes se encuentran compuestos polifenólicos que pueden ser fitotóxicos y pueden inhibir el crecimiento de las raíces, por lo que es necesario reducir su contenido antes de incorporarlo al suelo. A su vez, el pH del bagazo fresco es muy ácido y contiene una gran cantidad de compuestos recalcitrantes de difícil mineralización como la lignina y la celulosa. Por estos motivos es imprescindible someterlo a un proceso previo de fermentación, mediante el proceso de vermicompostaje obtenido un producto final estable y seguro.

En ninguno de los dos procesos, ni en el aprovechamiento de residuos de poda, ni en el de bagazo, se conoce con detalle el efecto sobre la biodiversidad del microbioma del suelo, punto clave en la transformación y asimilación de los compuestos fertilizantes disponibles en

el suelo. Además, debemos considerar que durante el proceso de vermicompostaje se incrementa la diversidad microbiana del humus obtenido por la propia actividad de las lombrices y de microorganismo en el proceso, mientras que los residuos de poda podrían suponer una fuente de inóculo de hongos fitopatógenos, a pesar de que no se observó mayor incidencia de enfermedades en las zonas donde se incorporan al suelo.

Las Cooperativas Viña Costeira y Vitivinícola Arousana, que representan gran parte de la viticultura del Ribeiro y Rías Baixas, ponen de manifiesto los grandes problemas de gestión que suponen los elevados volúmenes de estos subproductos. Como referencia, se producen entre 1,5 - 2 Tn/ha de residuos de poda y alrededor de 1,5 - 1,8 Tn de bagazo/ha al año.

Los resultados obtenidos a través del Grupo Operativo Autónomo FERVIÑA, en el que también participaron estas entidades, establecieron rangos de referencia de nutrientes para suelos vitícolas gallegos, lo que permite ajustar los abonados, y reducir así la utilización de fertilizantes minerales. Por otra parte, la obtención de vinos de calidad y sostenibles requiere la implementación de una gestión de la materia orgánica de los suelos en el marco de una economía circular clave para reducir las emisiones y mantener la diversidad.

Conociendo estos parámetros y la existencia de una problemática gestión de los residuos de poda y bagazo, en el marco de una economía circular, el proyecto piloto viñ@SoStible ha seguido trabajando en la evaluación de la fertilidad de los suelos y en la valorización de subproductos vitícolas para la obtención de vinos de calidad altamente sostenibles.

3 Objetivos del proyecto.

Objetivo general:

Valorar la viabilidad de obtención de vinos de calidad altamente sostenibles en base a la utilización de restos de poda y bagazos de vinificación para una fertilización ajustada y razonada en el marco de una economía circular, y el desarrollo de herramientas tecnológicas que faciliten la interpretación y análisis de los datos como ayuda a la toma de decisiones en la gestión de la fertilización.

Objetivos específicos:

1. Implementar el aprovechamiento de residuos de poda y bagazo y su aplicación en suelos vitícolas en la D.O. Ribeiro y D.O. Rías Baixas, y conocer los efectos sobre su fertilidad y en el equilibrio vegetativo y productivo de las plantas.

2. Evaluar el efecto de la fertilización a partir de estos residuos sobre el vino final elaborado en comparación con los vinos obtenidos bajo otros sistemas de fertilización habituales: orgánica y/o mineral.

3. Valorar el efecto de la reutilización de estos residuos sobre la diversidad y abundancia

microbiana del suelo como factor biótico imprescindible en el desarrollo de un suelo fértil.

4. Analizar los resultados mediante '*Deep Learning*' para poder encontrar relaciones causa-efecto, e integrar los resultados en una aplicación tecnológica.

4 Metodología

4.1 Selección de parcelas

Estudio de incorporación de restos de poda al suelo

El estudio centrado en la incorporación de restos de poda al suelo se realizó en viñedos de la D.O. Ribeiro, propiedad de la cooperativa Viña Costeira o de socios cooperativistas. Se realizó una selección de 48 viñedos en función de las principales tipologías que se dan en la D.O.: (A) valle con cubierta vegetal, (B) valle sin cubierta vegetal, (C) secano con cubierta vegetal con riego, (D) secano sin cubierta vegetal y con riego, (E) secano sin cubierta vegetal y sin riego, (F) secano con cubierta vegetal y con riego. De todas se seleccionaron 14 viñedos: 6 en los que incorporan los restos de poda al suelo y 8 que retiran los restos de poda del viñedo.

Estudio de incorporación de vermicompost

El estudio de aplicación de vermicompost en suelos se realizó en parcelas de socios cooperativistas de la Cooperativa Vitivinícola Arousana, S.C.G. (Paco & Lola). Previo análisis de suelos de 29 parcelas y tres bloques por parcela. Finalmente, se seleccionaron 3 parcelas, que se muestran en la Fig.4.2.1.

Seguimiento de estado nutricional de parcelas en D.O. Ribeiro y D.O. Rías Baixas

Se llevó a cabo el seguimiento del estado nutricional de los suelos, de parcelas de ambas cooperativas durante los 3 años de estudio, con la finalidad de generar un histórico que se incorporaron en una aplicación informática.

4.2 Diseño experimental

Estudio incorporación de residuos de poda al suelo

Cada parcela se subdividió en 3 bloques y en cada bloque se tomó como unidad de estudio 10 plantas, representativas del total de las parcelas.

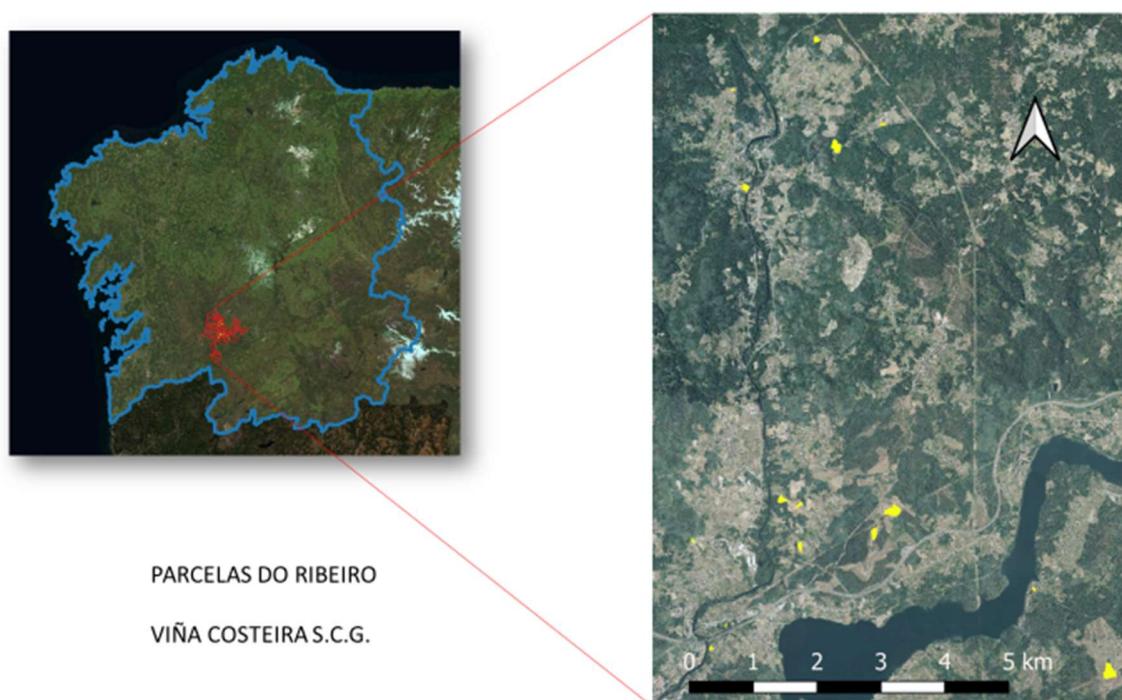


Fig.4.2.1. Localización parcelas utilizadas en el estudio de incorporación de restos de poda al suelo, en la D.O.Ribeiro

Estudio de la incorporación de vermicompost al suelo

El diseño experimental ha sido una distribución de bloques aleatorios con tres repeticiones por tratamiento. En dos de las parcelas, S457 y S062 se ha aplicado una única dosis de vermicompost (V1) 7,25 y 9,25 m³/ha y se compara con un testigo sin vermicompost. En la tercera parcela se han aplicado dos dosis diferentes (V1, y V2) 9,25 y 18,25 m³/ha y se comparan con un testigo sin vermicompost.



Fig.4.2.1. Diseño experimental establecido para el estudio de la incorporación de vermicompost al suelo en la D.O. Rías Baixas

4.3 Producción de vermicompost

La elaboración del Vermicompost se realizó en colaboración con la empresa Ecocelta. Se exponen a continuación los materiales y la metodología utilizada para su elaboración.

Materiales:

Para el ensayo de vermicompostaje, se utilizaron los siguientes materiales:

- 30 m³ de bagazo
- Contenedores de 600L para inoculación: 25 unidades
- Cajas con lombrices para inoculación superior: 4 cajas de 20 litros cada una
- Cama de lombriz a granel para la inoculación inferior con especie *Eisenia* sp. y *Dendrobaena* sp.

Metodología:

● Recepción y homogeneización

El bagazo se entregó en Ecocelta con fecha 22 de septiembre de 2021 y se almacenó en silos acondicionados para este fin. Para el acomodamiento del material se utilizó una manipuladora telescópica. Durante esta se aprovecha para homogeneizar el material, lo que permite que el conjunto de las pilas sea uniforme.



Fig. 4.3.1. Recepción y almacenaje del bagazo

● Estabilización

Tras su recepción, el material se mantuvo almacenado durante 12 días. Esto se debe a que cuando el bagazo está fresco, las altas temperaturas, que pueden llegar a alcanzar más de 40 °C, podrían afectar a las lombrices si estas fueran puestas en contacto directo con él.

● Preparación de contenedores

Para el ensayo de vermicompostaje se utilizaron contenedores enrejados. Este sistema favorece la ventilación natural del material, permitiendo el flujo de la masa de aire desde la parte inferior hacia la zona superior y, por lo tanto, el desarrollo de la lombriz.

Una vez que el bagazo estaba estabilizado, este fue empleado para rellenar los contenedores indicados:



Fig. 4.3.2 Llenado de los contenedores

● Inoculación con lombrices

La inoculación es el proceso de incorporación de las lombrices al material que se va a procesar, en este caso, bagazo. Para este proceso, se utiliza un material que contiene lombrices que van acompañadas del sustrato en el que viven (cama) de manera que puedan ir adaptándose poco a poco al nuevo medio. De esta manera se evitan los cambios bruscos de hábitat que pueden producir una merma de la población.

Se decidió emplear dos métodos diferentes de inoculación: inoculación superior e inoculación inferior:

Inoculación superior: se trata de un sistema en el que las lombrices se inoculan en la superficie del material a tratar. En este caso se utilizaron 4 cajas de 20 l. cada uno para cada contenedor. Total: 20 contenedores (12 m³ de bagazo)

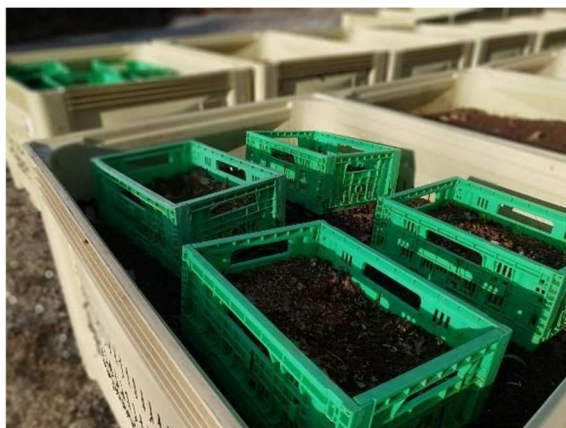


Fig. 4.3.3. Fotografía de contenedores con inoculación superior

Inoculación inferior: en este caso, antes de llenar el contenedor con bagazo se volcó en cada esquina de la base el contenido de 4 cajas de 20 l. con lombrices. Total: 5 contenedores (3 m³ de bagazo)



Fig. 4.3.4. Fotografía de contenedores Inoculación inferior de contenedores

Esquema del área de vermicompostaje

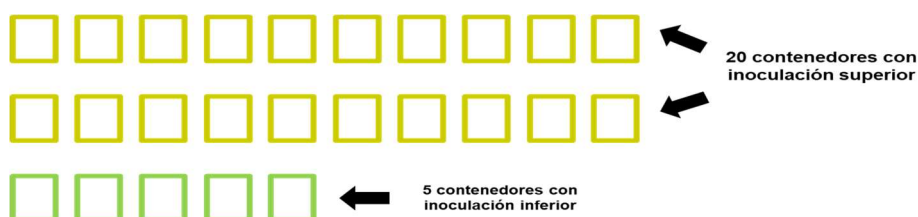


Fig. 4.3.5. Distribución contenedores vermicompostaje



Fig. 4.3.6. Vista del área de vermicompostaje reservada para el proyecto

● Vermicompostaje

Después de la inoculación comienza el vermicompostaje. En este caso, el tiempo establecido para el tratamiento de bagazo fue de mínimo 6 meses, aunque finalmente el ensayo duró aproximadamente 7 meses.

Cuando se termina el proceso, el humus de lombriz obtenido está totalmente higienizado y estabilizado.

● Mantenimiento de los módulos de vermicompostaje

Durante el ensayo se controlaron diferentes parámetros enfocados principalmente a que las condiciones ambientales fueran las adecuadas para la cría de la lombriz y, por lo tanto, para asegurar un correcto desarrollo del proceso de vermicompostaje. Estas revisiones tendrán lugar semanalmente por parte de los técnicos que controlarán principalmente los siguientes parámetros:

Humedad: supervisión para asegurar que es adecuada para las lombrices (80-90 %). En función de si el material estaba seco o húmedo, se usaron las siguientes técnicas: cobertura de contenedores con mantas toptex y/o riego natural con agua de lluvia

Oxigenación: revisión por parte de los operarios de cada contenedor

Evolución de la población de lombrices: supervisar si existía mortandad de los individuos, presencia de huevos o capullos, etc.

- **Cosecha y envasado.**

La cosecha es la parte del proceso en el que se extrae el humus y se separan las lombrices. El humus se envasó en bigbags de 1 m³ para su almacenaje antes de la aplicación. La cosecha se realizó una vez pasados 6 meses del inicio del ensayo.

- **Toma de muestras**

Se tomaron muestras del bagazo recibido y del humus cosechado para analizar sus cualidades físico-químicas.

4.4 Trillado de madera de poda para incorporación al suelo

En la poda se retiran de la parcela los restos de poda mayor tamaño, correspondientes a brazos y troncos secos o en fase de pudrición. Los sarmientos podados quedan en el suelo en las calles de la parcela. En el mes de diciembre-enero se realiza un pase con la desbrozadora de martillos (ver imagen). En primavera se realizan otros dos pases para el control de la cubierta y al mismo tiempo se produce un nuevo triturado de la madera que se incorpora poco a poco al suelo a lo largo de los años. El deshierbado entre las cepas se realiza mediante la aplicación de herbicidas.



4.5 Muestreo de suelos para análisis de fertilidad

En cada punto de muestreo de las distintas unidades experimentales de las parcelas en estudio se realizó la recogida de suelos en 5 puntos coincidentes con las cepas de las que se

realizará el estudio de productividad y calidad del mosto.

Con la ayuda de una sonda tipo Edelman, se recogió el suelo de los 20 primeros centímetros. Las muestras de estos puntos se juntan constituyendo una única muestra que se envía al laboratorio de la Estación Fitopatológica de Areeiro para análisis rutinarios de fertilidad. Los parámetros evaluados han sido: pH en agua, pH en cloruro potásico, % de materia orgánica, acidez de cambio, fósforo disponible, potasio asimilable, magnesio cambiante, conductividad eléctrica, y los cationes del complejo de cambio Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+2} K^{+} Al^{+3} , la relación Ca/Mg , K/Mg , Ca:Mg:K .

4.6 Muestreo suelos para análisis de diversidad de microbioma

Muestreo de suelos para extracción de ADN microbiano (fúngico y bacteriano) se correspondió con los puntos de muestreo para análisis de fertilidad. Se recogieron muestras a los 5 cm y 10 cm, en la calle, que se congelaron inmediatamente a -80° hasta su procesado.

En el caso de las parcelas de ensayos del triturado de los restos de poda, se realizaron tres muestreos, uno en el mes de diciembre de 2021, otro en mayo de 2022, posterior al segundo pase de desbrozado y un tercer en diciembre de 2022.

En el caso de las parcelas de los ensayos de la aplicación del vermicompost se realizaron dos muestreos, uno en los meses de febrero-marzo de 2023 y otro posterior a la vendimia en el mes de octubre de 2023. Como se indicó en informes previos, no se pudo realizar la aplicación del vermicompost en la campaña 2022 como inicialmente estaba previsto debido a la demora en el proceso de vermicompostaje del bagazo de la vendimia del 2021.

Por otra parte, también se recogieron muestras de la rizosfera y de la raíz de las plantas que estaban situadas en los mismos puntos de muestreo de suelo, para posteriores análisis. Si bien en el marco de este proyecto nos hemos centrado en los muestreos realizados en la calle para poder compararlos a posteriori con los de fertilidad del suelo

Extracción y cuantificación de ADN

La extracción de ADN se realizó por separado para los distintos puntos muestreados, para ello se utilizó el kit Power Soil de Quiagen siguiendo estrictamente las directrices del fabricante. El ADN se eluyó en un volumen final de 50 μL de tampón de elución. Una vez extraído y determinada la calidad del ADN, se mezclaron en una misma muestra el ADN de los 5 puntos de muestreo de cada bloque, obteniendo un total de 3 muestras de ADN de cada parcela, lo mismo que en el muestreo realizado para la fertilidad del suelo.

Se cuantificó la concentración de ADN en cada extracto utilizando el ensayo Qubit High Sensitivity dsDNA Assay (Thermo Fisher Scientific).

Preparación de la biblioteca de ADN y secuenciación

Se construyó un tipo de biblioteca diferente para cada taxón de interés con los siguientes pares de cebadores y condiciones:

Para la preparación de la biblioteca bacteriana, se amplificó un fragmento del gen 16S rRNA (región V4) de unos 300 pb utilizando los siguientes cebadores:

Forward - 515F-Y (5' GTG YCA GCM GCC GCG GTA A 3') (Parada, Needham y Fuhrman 2016)

Reverse - 806R (5' GGA CTA CNV GGG TWT CTA AT 3') (Aprill et al. 2015)

Las secuencias de cebadores de secuenciación de Illumina se unieron a estos cebadores en sus extremos 5'.

En el primer paso de amplificación, la PCR se llevó a cabo en un volumen final de 12,5 µL, que contenía 1,25 µL de ADN molde, 0,5 µM de los cebadores, 3,13 µL de Supreme NZYTaQ 2x Green Master Mix (NZYTech) y agua ultrapura hasta 12,5 µL. La mezcla de reacción se incubó de la siguiente manera: un paso de desnaturalización inicial a 95 °C durante 5 min, seguido de 25 ciclos de 95 °C durante 30 s, 47 °C durante 45 s, 72 °C durante 45 s, y un paso de extensión final a 72 °C durante 7 min.

Para la preparación de la biblioteca de hongos, se amplificó un fragmento de la región ITS2 de unos 300 pb utilizando los siguientes cebadores:

Forward - ITS86F (5' GTG AAT CAT CGA ATC TTT GAA 3') (Turenne et al. 1999)

Reverse - ITS4R (5' TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC 3') (White et al. 1990)

Las secuencias de cebadores de secuenciación de Illumina se unieron a estos cebadores en sus extremos 5'.

En el primer paso de amplificación, la PCR se llevó a cabo en un volumen final de 12,5 µL, que contenía 1,25 µL de ADN molde, 0,5 µM de los cebadores, 3,13 µL de Supreme NZYTaQ 2x Green Master Mix (NZYTech) y agua ultrapura hasta 12,5 µL. La mezcla de reacción se incubó de la siguiente manera: un paso de desnaturalización inicial a 95 °C durante 5 min, seguido de 30 ciclos de 95 °C durante 30 s, 49 °C durante 45 s, 72 °C durante 45 s, y un paso de extensión final a 72 °C durante 7 min.

Los índices de oligonucleótidos necesarios para multiplexar diferentes bibliotecas en el mismo pool de secuenciación se unieron en un segundo paso de amplificación con idénticas condiciones, pero solo 5 ciclos y 60 °C. Una visión general esquemática del proceso de preparación de bibliotecas se puede ver en la Figura 1 en Vierna et al. (2017).

Se incluyó un control negativo que no contenía ADN (BPCR) en cada ronda de PCR para comprobar si había contaminación durante la preparación de la biblioteca.

Se verificó el tamaño de las bibliotecas ejecutando las bibliotecas en geles de agarosa al 2 % teñidos con GreenSafe (NZYTech) y obteniendo imágenes bajo luz UV. A continuación,

4.8 Elaboración de microvinificaciones

La uva procedente de los tres bloques de cada parcela se mezcló para la realización de una única microvinificación por parcela y tratamiento en el caso de las parcelas de vermicompostaje. La recogida de la uva se realizó de forma manual y el transporte a la bodega en cajas perforadas de plástico con capacidad máxima de 20 kg. Una vez recepcionada se procedió al pesado de las mismas y conservación en cámara de frío (16 °C), donde permaneció hasta su procesado. Dado el estado sanitario de algunos de los ensayos, se realizó una selección en bodega de la uva recogida, desechándose la que presentaba afección por enfermedad de tipo fúngico.

Se procesó la uva entera en prensa hidráulica con ascenso paulatino de la presión hasta un máximo de 2 bar. Se protegió el mosto con sulfuroso (5 g/hL) en atmosfera inertizada con N₂. El desfangado fue estático con incorporación previa al mosto de enzimas clarificantes Lafazym CL (5 g/100 kg uva) y enzimas Endozym Antibotrytis por la presencia de glucanos que dificultaban la clarificación del mismo.

El mosto desfangado se pasó a microvinificadores de cristal de 8 L o 4 L (en los casos en que la cantidad de mosto era menor) para realizar la fermentación alcohólica bajo condiciones de temperatura controlada (18 °C). Se inoculó levadura comercial IOC 18-2007 (*Saccharomyces cerevisiae galactose*) siguiendo el protocolo establecido por la casa comercial. Se realizó el seguimiento de las fermentaciones con controles esporádicos de densidad hasta el final de las mismas, una vez finalizada, se realizó la decantación de los turbios durante un período de 5 – 7 días.

Finalizada la fermentación alcohólica se realizó la trasiega del vino, sulfitado con 50 mg/L de SO₂ y estabilización proteica con incorporación bentonita (Microcol@alpha) a una dosis de 0,7 g/L. Tras la decantación de los turbios, corrección de los niveles de sulfuroso hasta valores de 30 mg/L de sulfuroso libre y embotellado de las microvinificaciones en botellas de cristal de 0,75 L de volumen.

4.9 Determinación de parámetros analíticos de mostos y vinos

Los parámetros básicos de mostos (grado Brix, grado probable, acidez total, pH y contenidos en ácido málico y tartárico) y vinos (grado alcohólico, pH, acidez total y volátil) se determinaron mediante espectrofotometría de infrarrojos con transformada de Fourier (FTIR) utilizando el analizador Bacchus II (TDI, Barcelona, España) calibrado de acuerdo a los métodos oficiales de análisis (Reglamento del Consejo (EC) 479/2008). Los espectros se obtuvieron por triplicado y se promediaron para cada muestra. Los contenidos en sulfuroso libre y total se determinaron mediante los métodos oficiales (OIV, 2009).

4.10 Análisis sensorial de vinos elaborado

Tras cuatro meses en botella se realizó una sesión de cata. Se contó para la misma con catadores expertos de las bodegas, de EVEGA y dos expertos externos. Para la evaluación de los vinos se utilizó la ficha de cata estandarizada para vinos blancos.

CATA DE VINOS EXPERIMENTALES PROYECTO "VITIOZON"											
FICHA DE CATA	VINOS BLANCOS										Cosecha: 2021
Código vino:											
FASE OLFATIVA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Floral											
Fruta											
	Fruta de hueso										
	Fruta de pepita										
	Citricos										
	Fruta tropical										
	Frutos secos										
	Madura, compota										
	Otras:										
Vegetal											
Espiciado											
Herbáceo											
Madera											
Microbiológico											
Químico											
Otros: ()											
Persistencia fase olfativa											
Observaciones:											
FASE GUSTATIVA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dulce											
Ácido											
Amargo											
Persistencia fase gustativa											
Observaciones:											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CALIDAD GLOBAL FASE OLFATIVA											
CALIDAD GLOBAL FASE GUSTATIVA											
CALIDAD GLOBAL DEL VINO											
Código catador / nombre:											
Firma:											
Fecha:		28/06/2022									

Fig. 4.10.1. Ficha de cata estandarizada para vinos blancos

4.11 Metodología Deep Learning

Para el desarrollo de los modelos inteligentes, así como para el entrenamiento y aplicación de los mismos se utilizó el software KNIME (Konstanz Information Miner) en su versión 4.5.2. KNIME es una plataforma de análisis de datos y creación de flujos de trabajo visual que

permite a los usuarios realizar análisis de datos, minería de datos, preparación de datos y construcción de modelos predictivos.

El software KNIME fue inicialmente creado en el departamento de bioinformática y minería de datos de la Universidad de Constanza, en Alemania, aunque actualmente se comercializa bajo licencia GPL 1 (La licencia Pública General de GNU versión 3 (GPLv3), licencia de software libre y de código abierto que establece los términos y condiciones bajo los cuales se pueden utilizar, modificar y distribuir un programa de software). KNIME es una herramienta de software libre que puede ser descargada y utilizada gratuitamente bajo los términos de dicha licencia, a través de la empresa KNIME GmbH, con sede en Zúrich, Suiza, quien se encarga del desarrollo continuo y también ofrece servicios de formación y consultoría.

KNIME ofrece una interfaz gráfica que permite a los usuarios arrastrar y soltar nodos para construir flujos de trabajo, lo que facilita el procesamiento y análisis de datos. Además, KNIME es altamente flexible y extensible, ya que admite una amplia gama de complementos y extensiones que permiten la integración con otras herramientas y lenguajes de programación. KNIME está desarrollado sobre la plataforma Eclipse y programado, esencialmente, en Java. Está concebido como una herramienta gráfica y dispone de una serie de nodos (que encapsulan distintos tipos de algoritmos) y flechas (que representan flujos de datos) que se despliegan y combinan de manera gráfica e interactiva.

El carácter abierto de la herramienta hace posible su extensión mediante la creación de nuevos nodos que implementen algoritmos a la medida del usuario. Además, existe la posibilidad de utilizar de llamar directa y transparentemente a Weka y TensorFlow (plataforma Java de Inteligencia Artificial, desarrollado por la Universidad de Nueva Zelanda), o de incorporar de manera sencilla código desarrollado en R o python/jython.

Esto hace que el software KNIME se utilice en numerosos trabajos de investigación en los que se requiera la exploración y visualización de datos, el análisis de texto, la minería de datos, el aprendizaje automático y la analítica en general.

Antes de decantarnos por un algoritmo definitivo para la construcción del sistema inteligente, es esencial comprender los requisitos del problema, investigar los algoritmos disponibles y evaluar su rendimiento utilizando diversas métricas estadísticas. En este sentido, una primera fase del trabajo consistirá en la configuración de los diferentes algoritmos para su entrenamiento y ejecución con todos los datos disponibles.

- A. Decision Tree. Utiliza la división recursiva basada en características para construir un árbol que divide el conjunto de datos en subconjuntos más pequeños y homogéneos. El árbol se utiliza posteriormente para hacer predicciones sobre nuevos

datos siguiendo las ramas del árbol hasta llegar a una hoja que representa la clase predicha.

Este método es ampliamente empleado en el ámbito de la teledetección y, generalmente, contribuye a reducir los errores en las clasificaciones (Laliberte y Rango, 2009; Chuvieco, 1990). Es una técnica que ha ganado popularidad en diversos campos, como la agricultura de precisión, y los estudios forestales entre otros (de Castro, et al., 2020). También se ha aplicado en la identificación y clasificación de daños causados por terremotos (Li y Tang, 2020), así como en la clasificación de la cobertura vegetal mediante el enfoque basado en objetos (OBIA), considerando las texturas (Laliberte y Rango, 2009), por citar algunos ejemplos.

B. Random Forest. Es un modelo de aprendizaje automático supervisado que combina múltiples árboles de decisión para realizar predicciones (Colomina y Molina, 2014). Cada árbol individual se construye utilizando una muestra aleatoria de datos y características del conjunto de entrenamiento (Rodríguez-Galiano et al., 2012; Kleinberg, 1996).

Este método ha sido utilizado en diversos escenarios, como por ejemplo en la clasificación de imágenes provenientes de diferentes sensores de satélites, incluso para imágenes con resolución espacial moderada (DeFries y Chan, 2000). También ha sido empleado en el mapeo de coberturas vegetales en islas (Hamylton et al., 2019) y en el análisis de pavimentos (Reyes-Ortiz et al., 2019), por mencionar algunos ejemplos.

C. Gradient Boosted Trees. Es un método de aprendizaje automático que combina múltiples árboles de decisión débiles para crear un modelo más robusto y preciso. A diferencia del algoritmo anterior, donde los árboles se construyen de forma independiente, en Gradient Boosted Trees, los árboles se construyen secuencialmente, y cada nuevo árbol se ajusta en función de los errores del modelo anterior. El proceso comienza con la construcción de un árbol de decisión inicial, que se llama árbol base o árbol débil. Luego, se calculan los errores residuales entre las predicciones del árbol base y los valores reales del conjunto de entrenamiento. Estos errores residuales se

utilizan para ajustar el siguiente árbol, que se agrega al modelo para corregir los errores del modelo anterior. Este proceso se repite iterativamente, construyendo y agregando árboles al modelo, hasta que se alcanza un criterio de parada, como un número máximo de árboles o cuando los errores se han reducido lo suficiente (Ye, 2009).

El algoritmo Gradient Boosted Trees es especialmente efectivo en problemas de regresión y clasificación, ya que puede manejar conjuntos de datos complejos y capturar relaciones no lineales entre variables predictoras y variables objetivo. También es resistente al sobreajuste y puede manejar datos faltantes.

D. Probabilistic Neural Network. Es un tipo de red neuronal basada en los principios de la teoría de probabilidad bayesiana y utiliza un enfoque no paramétrico para modelar los datos. Esta red neuronal consta de cuatro capas: una capa de entrada, una capa de patrones, una capa de sumación y una capa de salida. La capa de patrones almacena los patrones de entrenamiento, y la capa de sumación calcula la suma ponderada de los patrones de entrada en función de su similitud con los patrones almacenados. La capa de salida aplica una función softmax para producir una distribución de probabilidad sobre las posibles clases o valores.

E. Multilayer Perceptron. En este modelo las neuronas están organizadas en capas: una capa de entrada, una o más capas ocultas y una capa de salida. Cada neurona en una capa está conectada a todas las neuronas de la capa siguiente mediante conexiones ponderadas. Cada neurona realiza una función de activación no lineal en base a la suma ponderada de las salidas de las neuronas en la capa anterior.

A partir del algoritmo que mejor desempeño arroje en la fase anterior, se construirá un sistema inteligente que permita simular la producción anual de una parcela de viñedo, en base a diferentes configuraciones de abonado, partiendo de los requerimientos definidos a partir del algoritmo de nutrición implementado en la plataforma FERVIÑA, desarrollado por AGACAL y USC, en colaboración con Viña Costeira y Paco&Lola.

Con ese propósito, en primer lugar, se analizarán las variables a considerar en el sistema, para posteriormente construir el sistema y realizar su entrenamiento.

En la siguiente fase de este estudio se pretende desarrollar un sistema inteligente, basado en uno de los algoritmos: red neuronal perceptrón multicapa para predecir la producción anual de una parcela de viñedo. El resultado de esta fase será un sistema inteligente listo para poder realizar simulaciones en viñedo específico. En el ámbito de la informática, una máquina inteligente se refiere a un agente adaptable que puede percibir su entorno y llevar a cabo acciones que maximicen sus posibilidades de alcanzar algún objetivo o completar una tarea exitosamente (Poole, 2018). Sin embargo, el término inteligencia artificial (IA) es objeto de controversia y cuenta con diversas definiciones. En términos coloquiales, se aplica cuando una máquina imita las funciones cognitivas que los seres humanos asocian con la mente humana, y también se define como la capacidad de un sistema para interpretar datos externos de manera precisa, aprender de esos datos y utilizar ese conocimiento para realizar tareas y alcanzar metas específicas a través de la adaptación flexible (Kaplan y Haenlein, 2018).

En la actualidad, los sistemas de IA forman parte de la rutina en diversos campos como la economía, la medicina, la ingeniería, el transporte, las comunicaciones y la milicia, y se han utilizado en una amplia variedad de aplicaciones de software, incluyendo juegos de estrategia, procesamiento de imágenes, reconocimiento de escritura y mucho más.

La investigación sobre la aplicación de métodos de inteligencia artificial en la identificación y clasificación de coberturas, tanto naturales como humanas, continúa en aumento. Por ejemplo, se han utilizado redes neuronales convolucionales en imágenes de vehículos aéreos no tripulados (UAS) para clasificar la hierba en los cultivos (Veeranampalayam, et al., 2020). También se han empleado métodos como random forest (RF) y support vector machine (SVM) en la clasificación de cultivos utilizando imágenes de RPAS (Kwak y Park, 2019). Además, el método de árboles de decisiones, conocido como Decision Tree, se utiliza ampliamente en diversas aplicaciones de teledetección.

Árbol de decisión

El enfoque conocido como Decision Tree es uno de los métodos más simples en su concepción (Chuvienco, 1990). Se trata de una técnica estadística no paramétrica que no se ve afectada por valores atípicos y correlaciones. Este método implica dividir los datos sucesivamente en subconjuntos hasta obtener clases cada vez más homogéneas (Laliberte y Rango, 2009).

El proceso involucra un análisis detallado de las respuestas espectrales de las clases y del conjunto de datos disponible. En términos simples, consiste en formular una serie de preguntas a cada píxel, cuya respuesta afirmativa o negativa guiará hacia nuevas preguntas, y así sucesivamente, hasta obtener la clase a la que pertenece. Es decir, se busca discriminar

secuencialmente cada una de las categorías, basándose en las bandas espectrales que permitan una separación más clara del resto.

En la siguiente imagen se muestra un diagrama típico que ilustra cómo se desarrolla un árbol de decisiones. La clasificación de una variable se estima en función de respuestas booleanas a preguntas establecidas, lo que conduce a la asignación de una etiqueta final.

Este método es ampliamente empleado en el ámbito de la teledetección y, generalmente, contribuye a reducir los errores en las clasificaciones (Laliberte y Rango, 2009). Es una técnica que ha ganado popularidad en diversos campos, como la agricultura de precisión, y los estudios forestales entre otros. Por ejemplo, se ha utilizado para mapear de manera cartográfica los cultivos afectados por la presencia de *Cynodon Dactylon* (grama común) en viticultura, en un proyecto llevado a cabo por el Instituto de Agricultura Sostenible y la Universitat de Lleida (de Castro, et al., 2020). También se ha aplicado en la identificación y clasificación de daños causados por terremotos (Li y Tang, 2020), así como en la clasificación de la cobertura vegetal mediante el enfoque basado en objetos (OBIA), considerando las texturas (Laliberte y Rango, 2009), por citar algunos ejemplos.

Random Forest y Gradient Boosted Trees

El algoritmo de Bosques Aleatorios (RF), también conocido como Random Forest, es una técnica que combina múltiples árboles predictores, donde cada árbol depende de los valores de un vector aleatorio probado de forma independiente y con la misma distribución para cada uno (Colomina y Molina, 2014). Fue desarrollado por Leo Breinman y Adele Cuttler. La selección aleatoria de un subconjunto de atributos es un ejemplo del enfoque de Bosques Aleatorios, que es una forma de realizar la discriminación estocástica propuesta por Eugenio Kleinberg (Kleinberg, 1996).

El clasificador RF se compone de una combinación de clasificadores, donde cada clasificador contribuye con un voto único para asignar la clase más frecuente al vector de entrada (x). Esta expresión se define como:

La técnica del clasificador RF se caracteriza por aumentar la diversidad de los árboles, ya que cada árbol se desarrolla a partir de conjuntos de datos de entrenamiento diferentes obtenidos al reemplazar aleatoriamente el conjunto de datos original (Rodríguez-Galiano et al., 2012).

Los Bosques Aleatorios son una colección o conjunto de árboles de decisión individuales, donde cada árbol se genera utilizando muestras y subconjuntos distintos de los datos de entrenamiento (ESRI, 2019). El término "aleatorios" se refiere a que se clasifica la imagen múltiples veces utilizando una selección aleatoria de píxeles de entrenamiento, lo que resulta en la creación de numerosos árboles de decisión. Para tomar la decisión final, cada árbol

contribuye con un peso o voto, y el proceso de toma de decisiones en cada nodo se optimiza mediante un enfoque aleatorio (Ilustración 29).

Es un algoritmo ampliamente aplicado en el ámbito de la teledetección, así como en el campo de la medicina, debido a su largo historial y probada efectividad como algoritmo de inteligencia artificial.

Este método ha sido utilizado en diversos escenarios, como por ejemplo en la clasificación de imágenes provenientes de diferentes sensores de satélites, incluso para imágenes con resolución espacial moderada (DeFries y Chan, 2000). También ha sido empleado en el mapeo de coberturas vegetales en islas (Hamylton et al., 2019) y en el análisis de pavimentos (Reyes-Ortiz, Mejia y Useche-Castelblanco, 2019), por mencionar algunos ejemplos.

El algoritmo Gradient Boosted Trees, también conocido como Gradient Boosting Machine (GBM), es un método de aprendizaje automático que combina múltiples árboles de decisión débiles para crear un modelo más robusto y preciso. A diferencia de los algoritmos de Bagging como Random Forest, donde los árboles se construyen de forma independiente, en Gradient Boosted Trees, los árboles se construyen secuencialmente, y cada nuevo árbol se ajusta en función de los errores del modelo anterior.

El proceso comienza con la construcción de un árbol de decisión inicial, que se llama árbol base o árbol débil. Luego, se calculan los errores residuales entre las predicciones del árbol base y los valores reales del conjunto de entrenamiento. Estos errores residuales se utilizan para ajustar el siguiente árbol, que se agrega al modelo para corregir los errores del modelo anterior. Este proceso se repite iterativamente, construyendo y agregando árboles al modelo, hasta que se alcanza un criterio de parada, como un número máximo de árboles o cuando los errores se han reducido lo suficiente (Ye, 2009).

En cada iteración, se asigna un peso a cada instancia del conjunto de entrenamiento según la importancia del error residual asociado. Esto permite que el algoritmo se enfoque más en las instancias que se están clasificando incorrectamente. Además, cada nuevo árbol se ajusta en función de la información residual que queda después de las iteraciones anteriores, lo que ayuda a mejorar gradualmente la precisión del modelo.

El algoritmo Gradient Boosted Trees es especialmente efectivo en problemas de regresión y clasificación, ya que puede manejar conjuntos de datos complejos y capturar relaciones no lineales entre variables predictoras y variables objetivo. También es resistente al sobreajuste y puede manejar datos faltantes.

Artificial Neural Network

Las redes neuronales artificiales, buscan imitar el comportamiento del cerebro, el cual está constituido por neuronas que almacenan y procesan una gran cantidad de información. Estas redes permiten crear sistemas complejos utilizando elementos simples, con el objetivo de generar estructuras que simulan el funcionamiento cerebral (Mejia y Useche-Castelblanco, 2019).

Las redes neuronales multicapas (MPL) están compuestas por neuronas organizadas en capas interconectadas. Estas redes son capaces de imitar el comportamiento de cualquier sistema utilizando entradas y salidas conocidas, lo que les permite clasificar elementos o emular el funcionamiento de una estructura determinada (Hekayati y Rahimpour, 2017).

Por otro lado, las redes neuronales convolucionales (CNN) han sido ampliamente utilizadas en el análisis de imágenes, especialmente en tareas de clasificación y reconocimiento (Veeranampalayam et al., 2020). Estas redes se inspiran en el sistema de aprendizaje biológico y buscan extraer características distintivas de los elementos, tal como lo hacen los seres humanos con la vista. Las CNN son especialmente adecuadas para el procesamiento de imágenes debido a su capacidad para manejar grandes estructuras de datos (Reyes-Ortiz et al., 2019).

En el contexto de la clasificación de elementos en imágenes, la arquitectura más aplicada es la desarrollada por Rickmond Alake (Alake, 2020). Esta red está compuesta por múltiples capas, comenzando con una fase de extracción de características mediante neuronas convolucionales y de reducción. A medida que se avanza en la red, las dimensiones se reducen y se activan características cada vez más complejas. Finalmente, se utilizan neuronas sencillas para realizar la clasificación.

Planteamiento metodológico del sistema de inteligencia artificial

Antes de decantarnos por un algoritmo definitivo para la construcción del sistema inteligente, es esencial comprender los requisitos del problema, investigar los algoritmos disponibles y evaluar su rendimiento utilizando diversas métricas estadísticas.

En este sentido, esta una primera fase del trabajo consistirá en la configuración de los diferentes algoritmos anteriores para su entrenamiento y ejecución con todos los datos disponibles. A partir de ahí, evaluando diferentes estadísticos se realizará la selección de la arquitectura que se empleará en las fases posteriores de esta investigación.

Selección de variables a considerar y entrenamiento del sistema inteligente

A partir del algoritmo que mejor desempeño arroje en la fase anterior, se construirá un sistema inteligente que permita simular los efectos sobre la producción anual de una parcela de viñedo, con diferentes combinaciones de abonado.

Con ese propósito, en primer lugar, se analizarán las variables a considerar en el sistema, para posteriormente construir el sistema y realizar su entrenamiento.

En la siguiente fase de este estudio se pretende desarrollar un sistema inteligente, basado en uno de los algoritmos: a red neuronal perceptrón multicapa para simular los efectos del abonado sobre la producción anual de una parcela de viñedo.

Deteminación huella de carbono

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología ampliamente utilizada en la evaluación ambiental de una gran variedad de sectores. En concreto, el ACV se ha implementado en numerosos estudios ambientales del sector vinícola (Canaj et al., 2021; Russo et al., 2021; Vázquez-Rowe, Villanueva-Rey, Iribarren, et al., 2012; Volanti et al., 2022). Según la norma ISO 14040, la metodología ACV se define como “una compilación y evaluación de las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales del sistema de un producto a lo largo de su ciclo de vida”. La herramienta ACV se compone de 4 etapas diferenciadas: i) definición de objetivos y alcance; ii) evaluación del inventario de ciclo de vida; iii) evaluación del impacto de ciclo de vida; e iv) Interpretación.

A continuación, aplicaremos la metodología de Análisis de Ciclo de Vida a la evaluación ambiental de un sistema de cultivo vitícola siguiendo los pasos anteriormente mencionados.

Definición de objetivos y alcance

El estudio tiene una perspectiva de la cuna a la puerta (cradle-to-farm gate perspective). Este incluye la producción de todos los insumos (fertilizantes y herbicidas, maquinaria, bombas, diésel); el uso de los insumos a lo largo de las diferentes fases de la viticultura; y las emisiones al aire, agua y suelo asociadas a los procesos del cultivo; como las derivadas de la combustión de diésel y la aplicación de agroquímicos.

La unidad funcional (UF) es la representación cuantitativa de la función del sistema estudiado y es utilizada como referencia para expresar todos los impactos ambientales del sistema. En este estudio se adoptó como UF una hectárea de viñedo, destacando la función de gestión de las tierras destinadas al cultivo de la uva. Debido a que el sistema tiene un único producto, no se ha realizado ninguna asignación de cargas ambientales entre varios productos.

Descripción del sistema evaluado

El viñedo está organizado en espalderas y se cultiva de forma convencional, distinguiendo entre las parcelas que incorporan madera de poda en el suelo (Viña Costeira) y aquellas que incorporan el vermicompost en el suelo, una vez generao el mismo (Paco&Lola). Su manejo

incluye múltiples actividades, las cuales se recopilaron empleando el cuestionario para viñedos expuesto a seguir.

A lo largo del año se realizan diferentes podas (poda general, poda marcada, poda bajada, retirada de brotes), el atado de las viñas y la conducción de estas por las espalderas. Todo ello se ejecuta de forma manual. Asimismo, otro cuidado importante es el despunte de la vid. Por último, a inicios de septiembre tiene lugar la vendimia. Esta se realiza de forma manual y se recogen un total de 10,000-12,000 kg de uva por hectárea.

Análisis de inventario de ciclo de vida

El inventario de ciclo de vida está compuesto de datos primarios y secundarios. Los datos primarios fueron cedidos por las bodegas Viña Costeira y Paco&Lola. Estos proporcionan información sobre las horas de operación, el consumo de diésel y fertilizantes; así como los rendimientos de uva obtenidos.

Por otro lado, los datos secundarios sustentan el sistema de fondo (o en segundo plano), el cual se corresponde con los procesos de producción de los insumos (fertilizantes, herbicidas, diésel, maquinaria e infraestructura). Estos se obtuvieron a partir de la base de datos Ecoinvent® 3.6v (Wernet et al., 2016).

Asimismo, a pesar de que se recomienda emplear datos primarios en el sistema en primer plano (González-García et al., 2021a; Vázquez-Rowe, Villanueva-Rey, Iribarren, et al., 2012), el consumo de agua y diésel por el sistema de riego, así como de las dosis de herbicida aplicadas al viñedo, fueron obtenidas de fuentes secundarias debido a la falta de estos datos de fuentes primarias.

En relación al consumo de diésel por la bomba de riego, se consideró el consumo facilitado por Ecoinvent (Nemecek & Kägi, 2007). Por otra parte, respecto al tipo y dosis suministradas de herbicidas, los valores considerados se sustentaron en las estadísticas de consumo de fitosanitarios realizadas por el Gobierno de España (Ministerio de Agricultura, 2021).

La porción de la maquinaria (tractor y aperos) usada en cada actividad fue estimada teniendo en cuenta los pesos y horas de operación, facilitados por la bodega, y el tiempo de vida útil, obtenido de la base de datos Ecoinvent® 3.6v.

Emisiones de campo directas e indirectas

Las emisiones de campo causadas por la aplicación de fertilizantes y productos fitosanitarios (herbicidas, fungicidas, pesticidas, insecticidas) fueron incluidas en el estudio por su relevante contribución a los impactos ambientales en análisis de sistemas agrícolas precedentes (González-García et al., 2021a).

Las emisiones directas e indirectas de óxido nitroso (N₂O) fueron calculadas según el protocolo del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019). Las emisiones de dióxido de nitrógeno (NO₂) y amoníaco (NH₃) se estimaron acorde con el Programa Europeo de Seguimiento y Evaluación y la Agencia Ambiental Europea (EMEP/EEA, 2019). Los lixiviados de nitrato (NO₃⁻) se estimaron conforme al modelo SQCB (Faist et al., 2009); y el lixiviado y escurrimiento de fosfato (PO₄⁻³) al agua mediante el modelo SALCA-P (Prasuhn, 2006). Las emisiones derivadas del uso de herbicidas fueron computadas aplicando la guía PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules Guidance) (European Commission, 2018). Por último, las emisiones de metales no se han incluido.

Método de análisis medioambiental

A continuación, una vez realizado el inventario, cada entrada y salida del inventario se asigna a uno o varios indicadores medioambientales; y así se obtienen los impactos medioambientales. Para ello, se utilizó el método ReCiPe 2016 Hierarchist Midpoint V1.04 World (Huijbregts et al., 2017), y las siguientes categorías de impacto: Cambio Climático (CC), Agotamiento del Ozono Estratosférico (AOE), Acidificación Terrestre (TA), Eutrofización de Agua Dulce (FE), Eutrofización de Agua Marina (ME), Ecotoxicidad Terrestre (EcoT), Ecotoxicidad de Agua Dulce (EcoF), Ecotoxicidad de Agua Marina (EcoM) y Agotamiento de los Recursos Minerales (ARM). Estos indicadores ambientales son ampliamente utilizados en los estudios de ACV de sistemas vitícolas (Canaj et al., 2021; Litskas et al., 2020; Vázquez-Rowe, Villanueva-Rey, Moreira, et al., 2012), razón por la cual fueron seleccionados. Para el cálculo de los impactos se utilizó el software SimaPro 9.1 (PRé Consultants, 2020).

Cuestionario para viñedos
Inventario de ciclo de vida

Bodega/Parcela:

Región:

① Información general del cultivo

• Bioma y clima	
• Número de fincas	
• Área total cultivada (ha)	
• Área total en pendiente (%)	
• Capacidad de producción anual en la región de uva (t/año)	
• Capacidad de producción anual en la región de vino (t/año)	
• Producción de uva (t/ha)	
• Producción de vino (t/ha)	
• Precio del vino (€/kg)	
• ¿El uso de la tierra y el rendimiento varían significativamente entre las fincas?	Sí ☐ No ☐ Si es así, ¿cuánto?
• ¿Existe alguna certificación existente para su vino?	- Si ☐ No ☐ En caso afirmativo, descríbala
• Descripción de la cadena de valor. ¿Quién compra el vino? ¿Lo exportáis a otras regiones?	
• Precipitación anual en la región (mm por año)	
• Por favor, describa brevemente la propiedad y calidad del suelo en la región ⁺	

Valorización de residuos vitivinícolas en la elaboración de vinos sostenibles

MEMORIA FINAL

- Información adicional

② Calidad de la uva

- Variedad de la uva
- Composición química (% azúcares...)
- Contenido de humedad
- Acidez total (g ácido tartárico·L⁻¹)
- pH
- ¿Cuáles son otros criterios para cumplir con la calidad estándar de la uva?
- Información adicional

③ Residuos agrícolas

5 Tipo de residuos generados

- Cantidad de residuos generados (t/ha)
- ¿Cómo se utilizan los residuos agrícolas en el campo? (% utilizado en el campo)
- ¿Los residuos tienen un destino de mercado? (% utilizado como subproducto)
- ¿Conoce la composición química (% proteína, carbohidratos, etc.) de los residuos?
- Precio de los subproductos (€/kg)
- Transporte del subproducto (tipo de camión, distancia y capacidad)

Si ☐ No Si es así, ¿quiénes son los consumidores?

Si ☐ No En caso afirmativo, descríbalos.

Valorización de residuos vitivinícolas en la elaboración de vinos sostenibles

MEMORIA FINAL

- En caso de que los residuos se utilicen para compostaje, indique su composición química, materiales adicionales utilizados y cantidad producida

- Información adicional

④ Viñedo

- Tipo de manejo realizado

Convencional

☐ Orgánico

☐ Otro:

- Momento de la vendimia (dd.mm.aa)

- Información adicional

⑤ Riego

- Técnica de riego utilizada

☐ Riego superficial

☐ Riego por aspersión (bomba eléctrica)

☐ Microirrigación

☐ Otra:

- Energía utilizada para el riego

☐ Bomba eléctrica ☐ Bomba diésel ☐ Otra:

- Nombre comercial de las máquinas utilizadas para el riego

- Agua usada

☐ Subterránea ☐ Agua superficial ☐ Agua de lluvia

☐ Otra:

- Tasa de entrada de agua

Valorización de residuos vitivinícolas en la elaboración de vinos sostenibles

MEMORIA FINAL

- Información adicional

⑥ Fertilizantes, plaguicidas y aditivos⁺

Tipos de fertilizantes y plaguicidas utilizados	Nombre	Composición	Proveedor	Dosis (kg·ha ⁻¹)	Número de tratamientos	Cantidad de agua empleada
---	--------	-------------	-----------	------------------------------	------------------------	---------------------------

7 Fertilizantes, plaguicidas y aditivos⁺

Etapa ₁	Actividad ²	Mes ₃	Tractor (A)		
			Tipo	Peso (kg)	Potencia (kW)
Etapa ₁	Actividad ²	Mes ₃	Apero (B)		
			Tipo	Peso en vacío (kg)	Potencia (kW)
Etapa ₁	Actividad ²	Mes ₃			
			Capacidad trabajo (h·ha ⁻¹)	Consumo combustible ⁴ (litros o Kg·ha ⁻¹)	Tasa de entrada ⁵

⑧ Infraestructura

Tipo de estructura ¹	Material	Cantidad instalada (kg o m ² ·ha)
Información adicional		

6 Resultados

6.1 Caracterización de la fertilidad de los suelos

La Cooperativa Vitivinícola Arousana, S.C.G. realizó una selección entre un total de 29 parcelas, divididas en tres subsectores, en las que se realizó analíticas de suelo previas en las campañas 2021 y 2022. A continuación, se muestran los valores medios por parcela.

Tabla 5.1.1. Valores medios de parámetros de fertilidad de suelo de las parcelas de D.O. Rías Baixas

PARCELA	pH H ₂ O	pH KCl	M.O. %	C	P	K mg/Kg	Mg	Ca	Mg	K cmol(+)/Kg	Na	Al	CiCe	Ca/Mg	K/Mg
60	6,37	5,60	9,39	5,44	67,33	470,00	150,00	13,50	1,20	1,18	0,22	0,13	16,23	11,33	0,99
62	6,20	5,43	3,15	1,83	65,00	221,33	203,33	6,43	1,63	0,55	0,13	0,13	8,88	4,00	0,34
64	8,03	7,40	7,77	4,51	37,00	266,00	100,00	26,97	0,80	0,67	0,26	0,10	28,79	34,33	0,85
79	7,67	7,17	4,35	2,52	38,00	294,00	118,67	19,87	0,95	0,74	0,25	0,10	21,90	21,00	0,77
103	7,97	7,17	3,53	2,05	34,67	279,33	60,67	21,10	0,49	0,70	0,25	0,10	22,63	44,00	1,45
105	6,27	5,33	4,27	2,48	21,00	255,33	86,67	5,97	0,69	0,64	0,10	0,17	7,56	9,33	0,96
134	6,20	5,37	6,58	3,82	33,67	448,67	131,33	6,40	1,05	1,12	0,11	0,20	8,88	5,67	1,09
156	7,00	6,43	4,68	2,71	56,00	374,67	181,33	13,47	1,45	0,94	0,15	0,10	16,10	9,33	0,65
169	6,20	5,43	5,29	3,07	55,33	292,00	124,67	7,73	1,00	0,73	0,13	0,13	9,72	7,67	0,73
174	6,17	5,23	7,63	4,42	51,67	279,33	91,33	7,07	0,73	0,70	0,17	0,27	8,93	9,67	0,96
199	7,67	7,03	4,15	2,41	32,33	328,00	83,33	17,60	0,67	0,82	0,21	0,10	19,40	26,67	1,23
208	7,37	6,80	5,14	2,98	36,00	222,00	95,33	14,50	0,76	0,56	0,12	0,10	16,04	19,00	0,72
225	5,93	5,07	6,67	3,87	9,00	144,67	92,00	5,47	0,74	0,36	0,10	0,40	7,07	7,33	0,51
242	5,93	5,20	6,61	3,83	43,67	342,67	136,00	7,03	1,09	0,86	0,11	0,27	9,36	6,33	0,82
256	6,23	5,43	5,20	3,02	102,67	343,33	140,00	8,23	1,12	0,86	0,18	0,17	10,56	7,33	0,77
326	7,43	6,77	11,57	6,71	39,00	302,00	106,67	20,80	0,85	0,76	0,17	0,10	22,67	24,33	0,89
339	6,37	5,60	6,98	4,02	67,33	398,00	131,33	10,20	1,05	1,00	0,14	0,13	12,51	10,00	0,96
372	7,43	6,80	8,58	4,98	74,33	368,00	112,67	22,50	0,90	0,92	0,18	0,10	24,60	25,67	1,02
390	6,97	6,23	11,21	6,50	22,00	278,00	148,67	19,77	1,19	0,70	0,20	0,13	21,98	16,00	0,58
393	6,47	5,83	8,51	4,93	61,33	369,33	170,67	12,27	1,37	0,92	0,18	0,10	14,84	9,33	0,70
397	8,10	7,47	7,35	4,27	19,67	216,00	80,67	25,73	0,65	0,54	0,22	0,10	27,23	40,33	0,88
400	7,90	7,17	4,26	2,47	54,00	268,00	90,00	19,67	0,72	0,67	0,17	0,10	21,33	27,33	0,98
448	7,87	7,20	3,51	2,03	46,67	191,33	60,00	20,47	0,48	0,48	0,21	0,10	21,73	43,33	1,00
457	6,07	5,20	3,53	2,05	56,67	316,67	118,00	6,57	0,94	0,79	0,08	0,17	8,55	7,00	0,84
473	5,87	5,10	6,43	3,73	45,00	299,33	120,00	5,87	0,96	0,75	0,13	0,40	8,10	6,33	0,81
475	6,23	5,33	5,65	3,28	82,33	344,00	128,00	7,67	1,02	0,86	0,08	0,20	9,83	7,33	0,84
479	5,60	4,83	5,41	3,14	126,33	500,00	193,33	6,13	1,55	1,25	0,11	0,27	9,31	4,00	0,81
485	6,47	5,67	4,27	2,48	86,33	423,33	184,00	8,97	1,47	1,07	0,11	0,10	11,73	6,00	0,74
486	6,47	5,70	7,54	4,37	34,67	191,33	83,33	12,93	0,67	0,48	0,15	0,10	14,33	19,00	0,73

En Viña Costeira, la selección de las parcelas se realizó en función de la disponibilidad de las mismas, con características edáficas similares en las que se realizase la incorporación de los restos de poda, mediante la utilización de desbrozadora de martillos. Y se eligieron las de no incorporación de restos de poda, teniendo en cuenta los históricos disponibles en la bodega. En el apartado siguiente se comenta los resultados de fertilidad del suelo para estas parcelas.

6.2 Estado nutricional de los suelos de las parcelas seleccionadas

El análisis de los suelos de las parcelas seleccionadas en el Ribeiro, mostraron resultados similares entre las distintas campañas. Por lo que se muestran los resultados medios para las 3 campañas (fig.5.2.1).

En la fig 5.2.1. se muestran los valores medios de las parcelas en las que se incorporaron los restos de poda (T) y en las que se retiraron los restos de poda (N), relativos a pH, % de materia orgánica, contenido en fósforo, potasio, Mg, Ca, Na, Al, relación C/N, Ca/Mg y K/Mg. No se

han observado diferencias significativas para la mayoría de los parámetros, a excepción del pH, contenido en Aluminio y contenido en P. Las parcelas en las que se retiraron los restos de poda presentan pH más ácido por lo que tal como cabría esperar se produce saturación por Al. Las parcelas en las que se incorporaron los restos de poda presentan un pH menos ácido lo que favorece una mejor asimilación de los nutrientes del suelo. Sería recomendable realizar encalados en las parcelas en las que se eliminan los restos de poda.

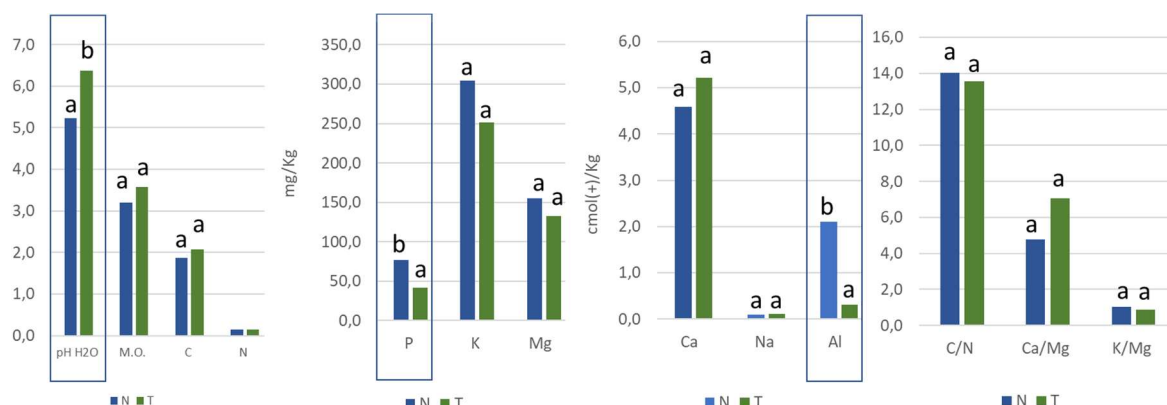


Fig.5.2.1. Valores medios de componentes de la fertilidad de los suelos de parcelas en las que se incorporaron los restos de poda (T) y en las que se retiraron los restos de poda (N). Letras distintas indican diferencias significativas para $p < 0,05$.

Se realizó un análisis de componentes principales para determinar la agrupación de las parcelas en estudio en función de los componentes del suelo (fig. 5.2.1). Los números en azul de 1 al 6 se corresponden con parcelas en las que se ha incorporado restos de madera de poda. Los números en verde, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14 y 15 se corresponden con parcelas en las que se retiran los restos de poda. Las parcelas 1,6 y 10 se agrupan por contenidos mal altos de materia orgánica, N, Na, K y mayor relación Ca/Mg; 8,13 y 15 por presentar menores valores para estas variables; 5,12 y 7 por un pH ácido y valores más altos para las relaciones C/N y K/Mg; 9,11 y 4 presentan pH más altos y mayor contenido en Ca y Mg. En todas las agrupaciones anteriormente comentadas se incluyen parcelas en las que se ha incorporado los restos de madera de poda y parcelas en las que se han retirado.

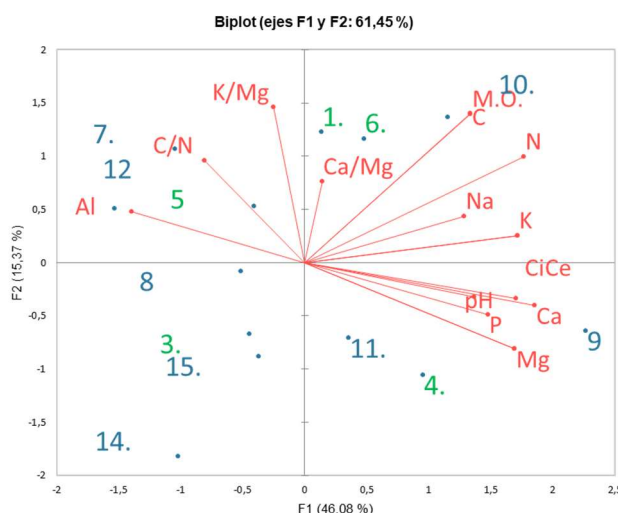


Fig.5.2.2. Análisis de componentes principales para parámetros de la fertilidad del suelo en las parcelas objeto de estudio. Números en verde se corresponden con parcelas en las que se incorporó restos de poda al suelo, y números en azul indican parcelas en las que se retiraron los restos de poda

En la tabla 5.2.1. se indican los valores medios para los parámetros de la fertilidad de los suelos de las parcelas de la D.O. Rías Baixas previa incorporación del vermicompost. Para poder realizar una evaluación del efecto sobre la fertilidad del suelo del vermicompost adicionado es necesario que por lo menos haya transcurrido una anualidad. Por el propio proceso de gestión de este residuo no ha sido posible su incorporación al suelo hasta la anualidad 2023, por lo que no es tiempo suficiente para valorar su efecto.

En cuanto a la analítica previa a la adición de vermicompost, se puede ver que la parcela S400 tiene un exceso de calcio, y consecuentemente un pH muy alto y una elevada capacidad de intercambio catiónico, además de una muy elevada relación calcio/magnesio que se aparta de la recomendada para que un suelo esté en equilibrio. Los valores de fósforo en las fincas S457 y S400, así como los de magnesio en la S062 son también muy superiores a los recomendados. En la tabla 5.2.2. se muestra las diferencias significativas encontradas entre las 3 parcelas de estudio, observándose diferencias significativas en el contenido en calcio, magnesio y sodio entre las tres parcelas.

Tabla 5.2.1. valores medios para los parámetros de la fertilidad de los suelos de las parcelas de la D.O. Rías Baixas previa incorporación del vermicompost.

PARCELA	pH H2O	pH KCl	M.O.	C	N	C/N	P	K	Mg	Ca	Mg	K	Na	Al	CiCe	Ca/Mg	K/Mg
			%					mg/Kg				cmol(+)/Kg					
S062V	6,20	5,57	2,60	1,51	0,12	13,36	23,00	206,00	225,33	6,20	1,80	0,52	0,12	0,13	8,77	3,33	0,31
S062T	6,07	5,53	2,67	1,55	0,12	13,08	27,33	234,00	241,33	6,47	1,93	0,59	0,11	0,13	9,23	3,67	0,33
S400V1	7,57	7,10	4,07	2,36	0,22	10,78	49,33	286,67	74,00	21,57	0,59	0,72	0,22	0,10	23,20	37,33	1,22
S400V2	7,80	7,23	3,13	1,81	0,19	9,80	42,00	192,67	59,33	23,70	0,47	0,48	0,26	0,10	25,01	50,00	1,01
S400T	7,43	6,80	3,53	2,05	0,18	11,58	43,67	244,00	70,00	17,67	0,56	0,61	0,19	0,10	19,13	37,33	1,14
S457V	6,40	6,00	4,01	2,33	0,21	11,10	62,00	356,00	124,67	12,20	1,00	0,89	0,18	0,13	14,40	12,67	0,90
S457T	6,07	5,67	3,91	2,27	0,20	11,30	51,00	339,33	121,33	8,83	0,97	0,85	0,15	0,13	10,94	9,33	0,88

Tabla 5.2.2. Valores medios de componentes de la fertilidad del suelo de las parcelas de la D.O. Rías Baixas, previa adición del vermicompost. Letras distintas indican diferencias significativas para $p < 0,05$

Parámetro	S457	S400	S062
pH H ₂ O	6,2 a	7,7 b	6,1 a
M.O. %	4,0 b	3,5 b	2,6 a
C %	2,3 b	2,1 b	1,5 a
N %	0,2 b	0,2 b	0,1 a
C/N	11,2 a	10,4 a	13,2 b
P mg/Kg	56,5 b	46,3 b	25,2 a
Ca cmol(+)/Kg	10,5 b	22,4 c	6,3 a
Mg cmol(+)/Kg	1,0 b	0,5 a	1,9 c
K cmol(+)/Kg	0,9 b	0,6 a	0,6 a
Na cmol(+)/Kg	0,2 b	0,2 c	0,1 a
Al cmol(+)/Kg	0,1 a	0,1 a	0,1 a
CiCe cmol(+)/Kg	12,7 b	23,8 c	9,0 a
Ca/Mg	11,0 b	45,3 c	3,5 a

6.3 Evolución del proceso de elaboración del vermicompost y composición final

Histórico del ensayo: a continuación se especifican las fechas más reseñables del ensayo:

- Fecha de recepción del bagazo: 22 de septiembre del 2021
- Fecha llenada de contenedores: 04 de octubre de 2021
- Fecha inoculación lombrices: 6-7 octubre 2021
- Fecha en la que las lombrices se incorporaron al material: 15 de octubre de 2021
- Fecha de cosecha del Humus: 9 de mayo de 2022



Fig. 5.3.1. Lombrices en contenedores con inoculación superior

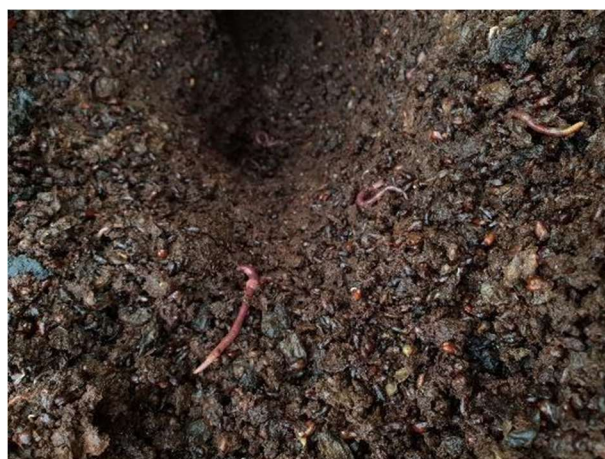


Fig. 5.3.2. Lombrices en contenedores con inoculación inferior

Resultados finales del proceso de transformación del bagazo mediante vermicompostaje:

- Duración del ensayo: 217 días
- Volumen total bagazo inicial: 15 m³ (3 m³ inoculación inferior y 12 m³ inoculación superior).
- Volumen final: 12 m³ (Reducción del 20 %)

Análisis de materias primas y humus de lombriz final

Los resultados de la composición del vermicompost transcurridos 178 días del ensayo se muestran en la siguiente tabla, en la que también se indican los valores iniciales del bagazo sin compostar.

Tabla 5.3.1. Resultados analíticos Bagazo y Humus

	BAGAZO INICIAL	HUMUS DE LOMBRIZ
HUMEDAD	39,1	69,8
MATERIA ORGÁNICA (%)	98,4	96,6
CARBONO ORGÁNICO	57,2	56,2
RELACIÓN C/N	24,3	22,6
PH (UD.)	4,42	7,47
NITRÓGENO (% S.M.S.)	2,35	2,49
FÓSFORO (% S.M.S.)	0,74	0,38
POTASIO (% S.M.S.)	2,47	0,49

En el estudio, el bagazo de uva inicial presentó 39,1 % de humedad; tras 178 días de vermicompostaje el valor se incrementó a 69,8 %.

El pH del bagazo inicial fue 4,42 y varió de forma significativa tras 178 días a 7,47 demostrándose que el vermicompostaje aumentó significativamente el pH del bagazo (hasta 3,05 puntos)

El contenido en Nitrógeno apenas sufrió variaciones (Inicial: 2,35 %, final: 2,49 %) mientras que en el caso del potasio hubo una disminución significativa entre la materia prima y el Humus final, pasando de 2,47 % a 0,49 %. En el caso del fósforo hubo una ligera disminución en su contenido, reduciéndose de 0,74 % en bagazo a 0,38 % en el Humus de lombriz.

El contenido de Materia orgánica total se mantuvo a lo largo de todo el ensayo en valores altos (>96%).

La relación Carbono / Nitrógeno disminuyó notablemente entre el Bagazo y Humus final, ya que, tras 178 días de proceso de transformación, disminuyó a 22,6 %

6.4 La microbiota del suelo: incidencia del manejo de restos de poda

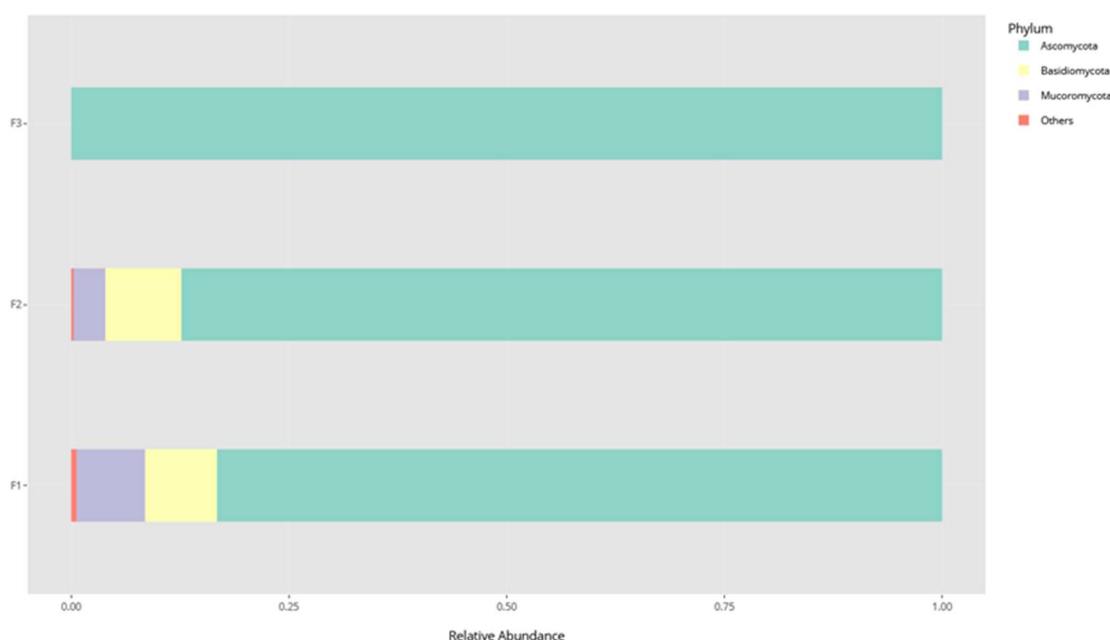
El estudio de la estructura de las comunidades microbianas se realizó en tres épocas del año,

en el mes de diciembre previa la poda (F1); en el mes de mayo, después del segundo pase de la desbrozadora de martillos (F2), y en el mes de diciembre de 2022, transcurridos 12 meses después de la poda (F3).

En el contexto metagenómico, se mide la diversidad α usando una serie de índices, prestados de ecología, que nos permiten caracterizar una comunidad microbiana. En este caso se evalúa la estructura de las comunidades microbianas a través de: Índice de Chao1, que se refiere a la riqueza ajustada por probabilidad de no observar especies; Índice de Shannon que indica la abundancia relativa de los taxa. La diversidad β es el índice comparativo de la diversidad compartida entre muestras. Cuanto más alta es la diversidad β mayor divergencia existe entre comunidades.

Con la finalidad de determinar si existen diferencias entre los tres muestreos efectuados, se describen a continuación la abundancia de los microorganismos a nivel de filum y de género. La riqueza se evalúa mediante los índices de diversidad α (Índice de Chao e Índice de Shanon) y la diversidad β .

En los 3 muestreos el filum *Ascomycota* y *Basidiomycota* son los más relevantes. *Basidiomycota* destaca en los muestreos de mayo y diciembre de 2022. El género *Fusarium*, *Cladosporium* y *Penicillium* han sido más relevantes en los muestreos de mayo y septiembre de 2022 (Fig. 5.3.1).



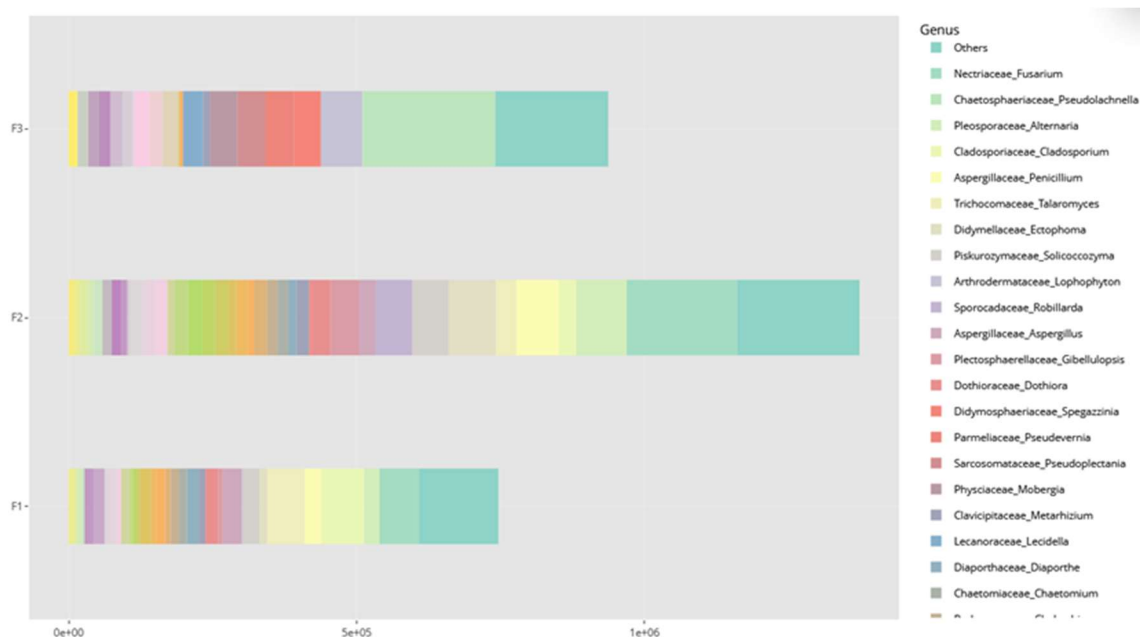
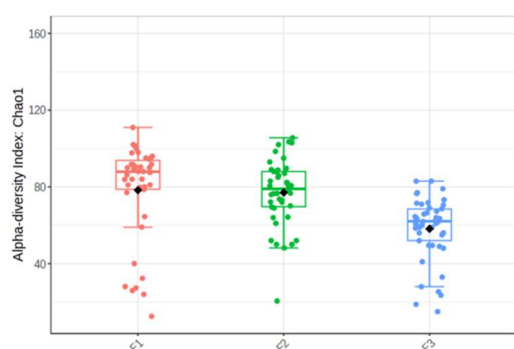
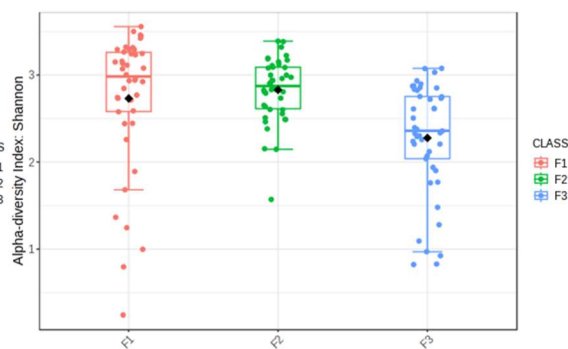


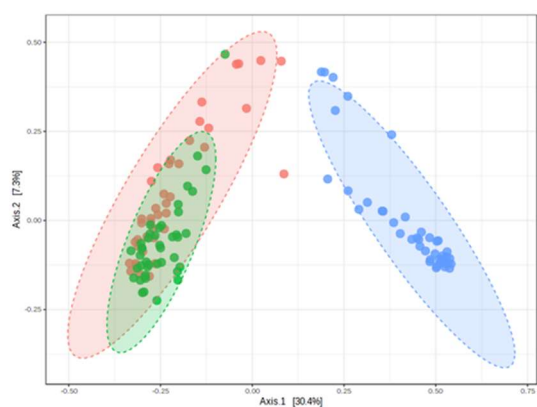
Fig.5.4.1. Abundancia de taxa (phylum, genero) en los tres muestreos (F1, diciembre 2021, F2 mayo 2022, F3 diciembre 2022).



p-value: 3.2035e-06; [ANOVA] F-value: 14.011



p-value: 0.00011347; [ANOVA] F-value: 9.7715



[PERMANOVA] F-value: 27.971; R-squared: 0.30747; p-value: 0.001

Fig.5.4.2. Índices de diversidad en los tres muestreos de suelo (F1, diciembre 2021, F2 mayo 2022, F3 diciembre 2022).

La diversidad α y diversidad β indican existencia de diferencias significativas en la estructura de las comunidades entre fechas de muestreo. Siendo más similares los muestreos de diciembre 2021 y mayo 2022 frente al último muestreo de diciembre de 2022.

Teniendo en cuenta estos resultados se evalúan a continuación la estructura de la comunidad microbiana para cada uno de los muestreos, a través de la abundancia a nivel de filum y género y los índices de diversidad α (Índice de Chao e Índice de Shanon) y diversidad β . Se realiza además un análisis discriminante lineal (**LDA**) que nos permite el reconocimiento de patrones de diferenciación entre ambos tratamientos. La descripción de la estructura de la comunidad que se realiza a continuación está centrada fundamentalmente en la comunidad de hongos, puesto que uno de los objetivos de ese estudio es evaluar la patogenicidad que estos pueden producir en las plantas de vid, fundamentalmente los causantes de enfermedades de la madera de la vid. Finalmente se realiza una agrupación de los géneros más relevantes identificados en los dos tratamientos teniendo en cuenta su funcionalidad: patógenos, saprófitos, parásitos de hongos etc.

Muestreo diciembre de 2021

La abundancia de hongos del phylum *Ascomycota* y *Basidiomycota* es similar en ambos tratamientos. La abundancia relativa de *Fusariún*, *Diaporthe* y *Aspergillus* es mayor en el tratamiento T1, frente a la de *Talaromyces* y *Cladosporium* que lo es en T2.



Fig.5.4.3. Abundancia de taxa (phylum, genero) de la comunidad de hongos en el muestreo de suelo de diciembre de 2021, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

La abundancia de hongos del phylum *Ascomycota* y *Basidiomycota* es similar en ambos tratamientos. La abundancia relativa de *Fusarium* *Diaporthe* y *Aspergillus* es mayor en el tratamiento T1, frente a la de *Talaromyces* y *Cladosporium* que lo es en T2.

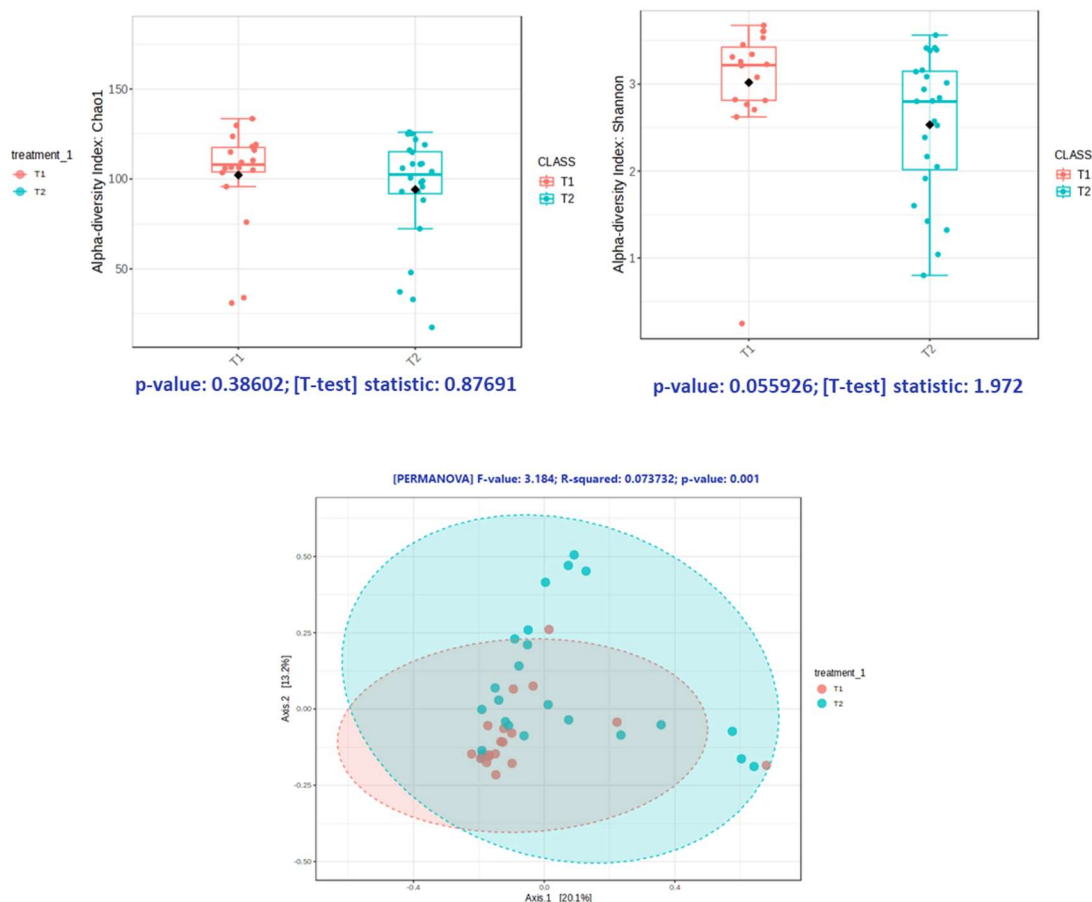


Fig.5.4.4. Índices de diversidad evaluados en la comunidad de hongos en el muestreo de suelo de diciembre de 2021, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

El patrón establecido mediante análisis discriminante de las comunidades de hongos de las diferentes muestras analizadas, muestra la relevancia que hongos relacionados con las enfermedades de la madera de la vid en el tratamiento T1. Las muestras del tratamiento T1 presenta una mayor prevalencia de *Diaporthe* y *Dactylonectria* hongos causante de enfermedades de la madera de la vid, excoriosis y pie negro respectivamente.

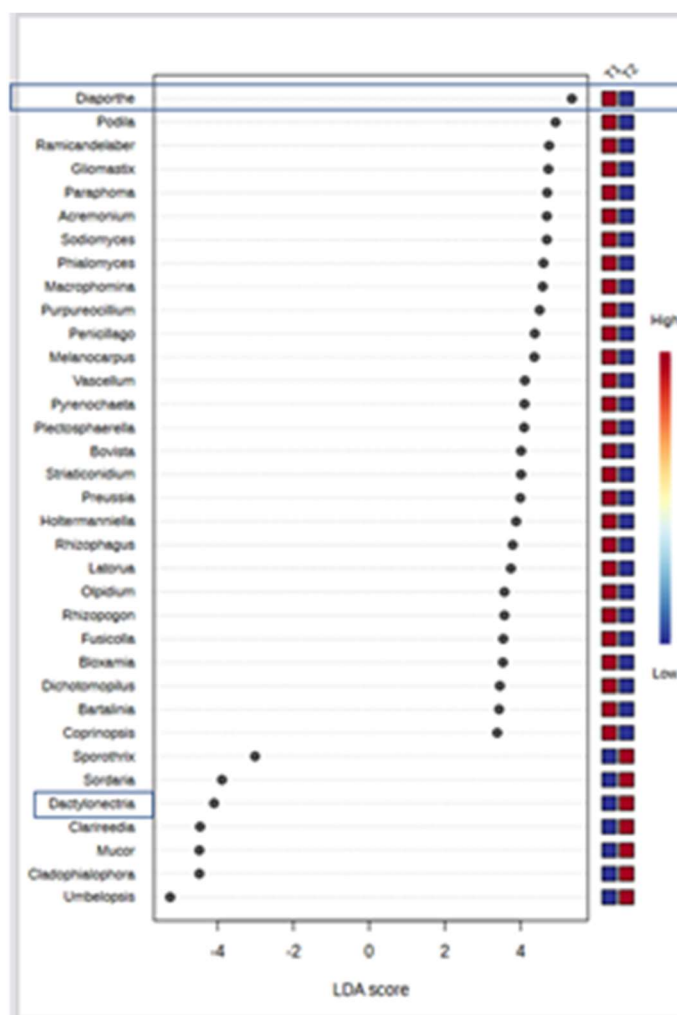


Fig.5.4.5. Análisis discriminante de la comunidad de hongos en el muestreo de suelo de diciembre de 2021, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

El grupo de hongos patógenos representa más del 50% de la abundancia de hongos de la comunidad microbiana de T1, existiendo una diferencia de un 17% entre este tratamiento y el tratamiento T2. Entre los hongos patógenos se encuentran hongos causantes de enfermedades de madera de la vid: *Diaporthe*, *Illyonectria* causante de enfermedad de pie negro, y *Diplodia* implicada en el decaimiento por Botriosphaeria. Se ha detectado también el género *Botrytis* causante de la podredumbre de la uva de la vid.

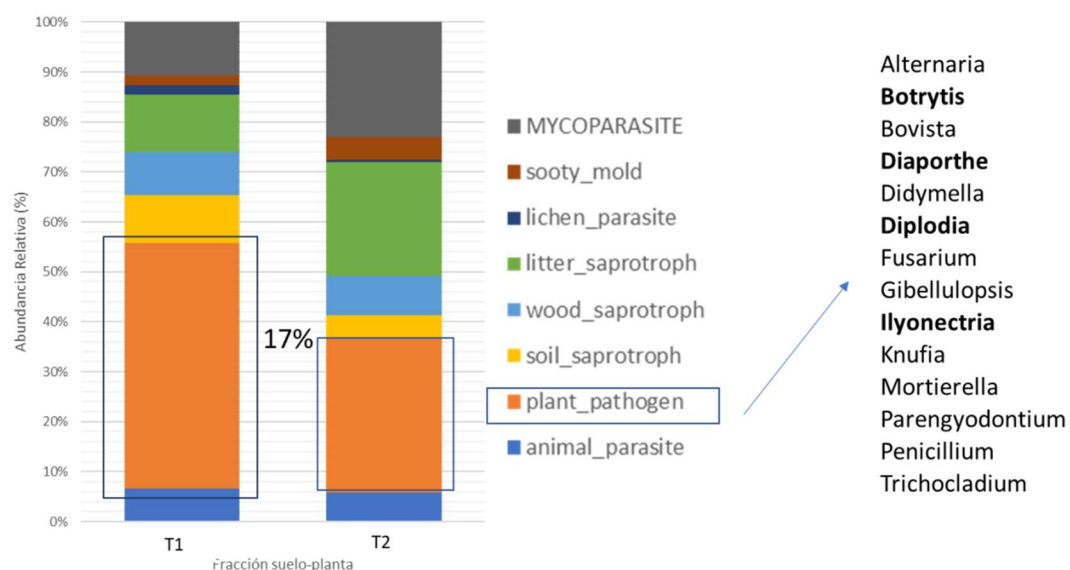
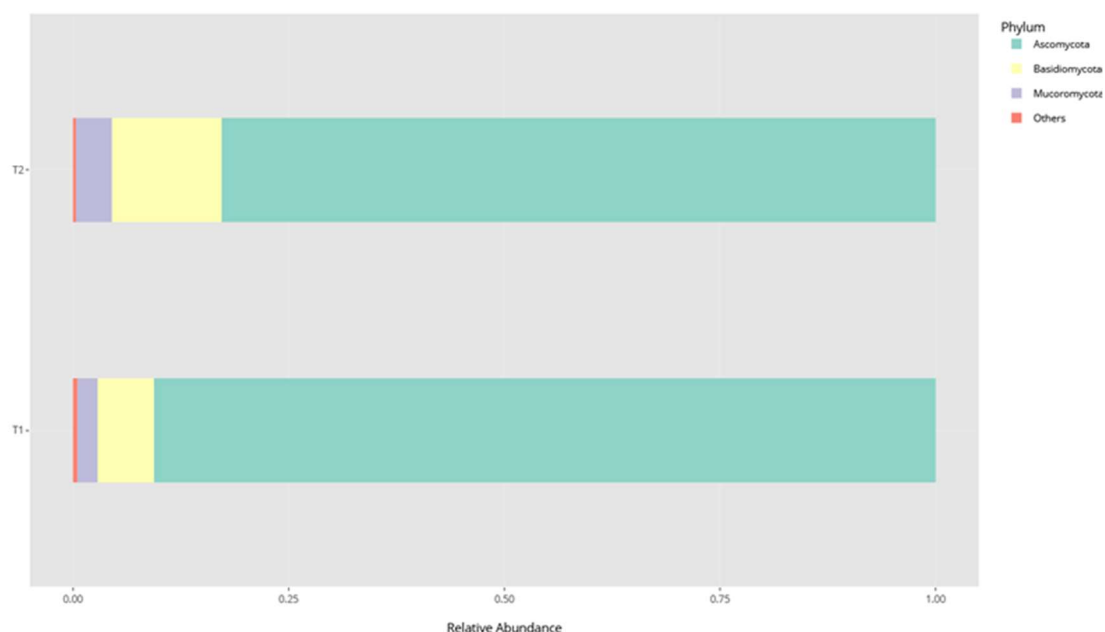


Fig.5.4.6. Agrupación de la comunidad de hongos en el muestreo de diciembre de 2021, teniendo en cuenta su funcionalidad, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

Muestreo mayo de 2022

Los phylum *Ascomycota* y *Basidiomycota* son los más abundantes en los dos tratamientos, si bien la abundancia relativa de *Ascomycota* es mayor en T1. Es de destacar la mayor abundancia relativa de *Penicillium* en T1, *Ectophoma* en T2 (fig. 5.3.7).



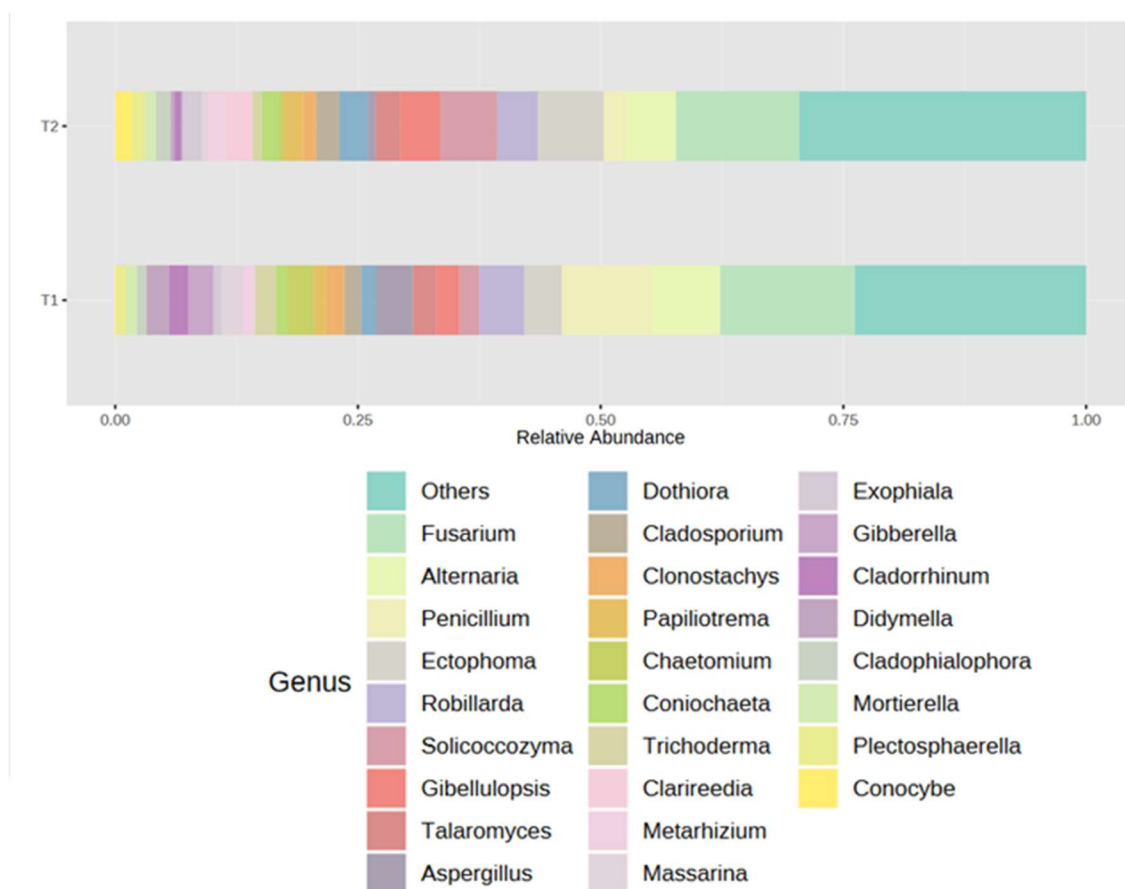
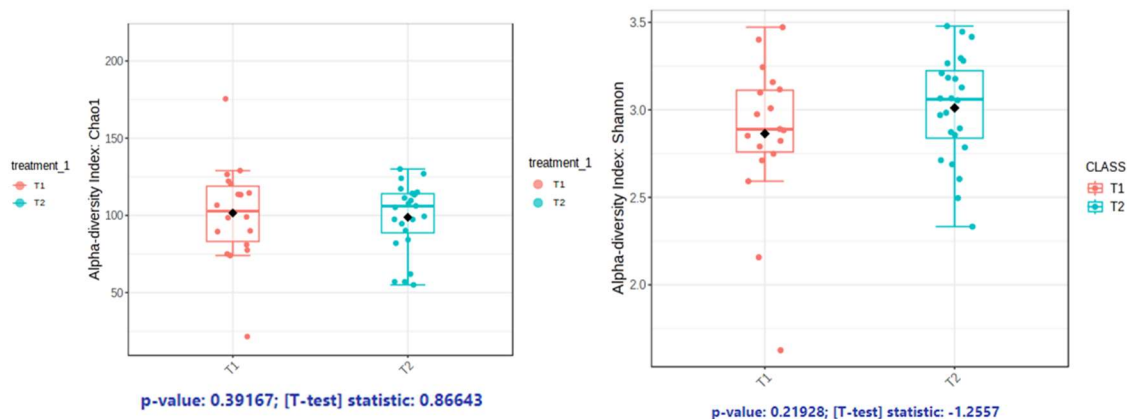


Fig.5.4.7. Abundancia de taxa (phylum, genero) de la comunidad de hongos en el muestreo de suelo de mayo de 2022, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

La diversidad α no permite diferenciar tratamientos. Es la diversidad β la que permite diferenciar entre tratamientos, lo que indica que, si bien la riqueza en hongos y la bundancia de los diferentes hogos es similar entre ambas comunidades, la diversidad que comparten es baja.



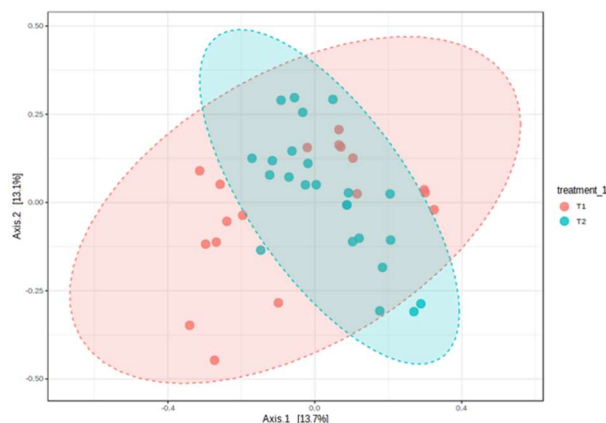


Fig.5.4.8. Índices de diversidad evaluados en la comunidad de hongos en el muestreo de suelo de mayo de 2022, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

Los patrones establecidos para los dos tratamientos a través del análisis discriminante indican prevalencia de hongos causante de enfermedades de madera de la vid en el tratamiento T1 frente a T2. En T1 es más prevalente *Botryosphaeria* implicada en el decaimiento por *Botryosphaeria* de la vid (fig. 5.3.9)

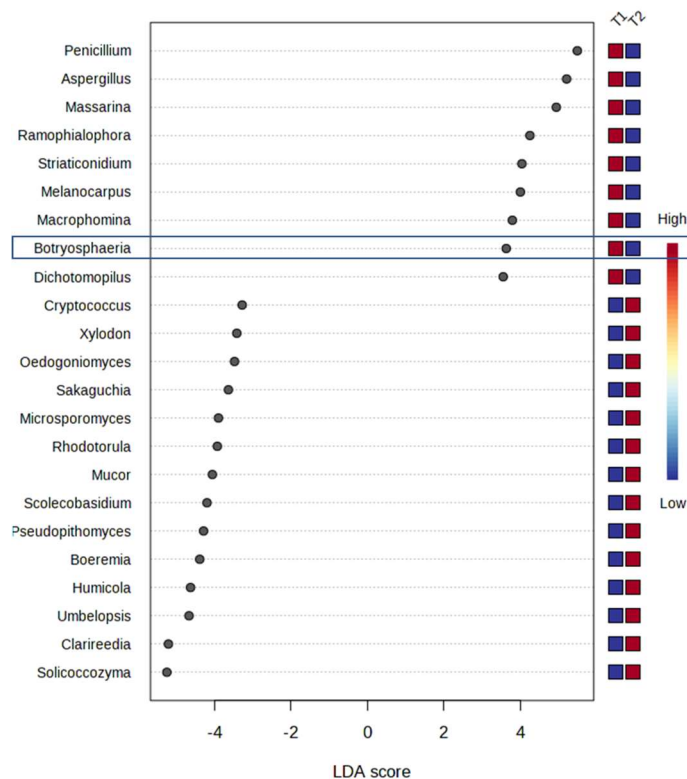


Fig.5.4.9. Análisis discriminante de la comunidad de hongos en el muestreo de suelo de mayo de 2022, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

La abundancia relativa de hongos con función fitopatógena es similar en ambos tratamientos, no destacndose en ninguno de los dos tratamientos hongos causantes de enfermedades de madera de la vid. En ambos casos este grupo supone el 35% de la comunidad de hongos.

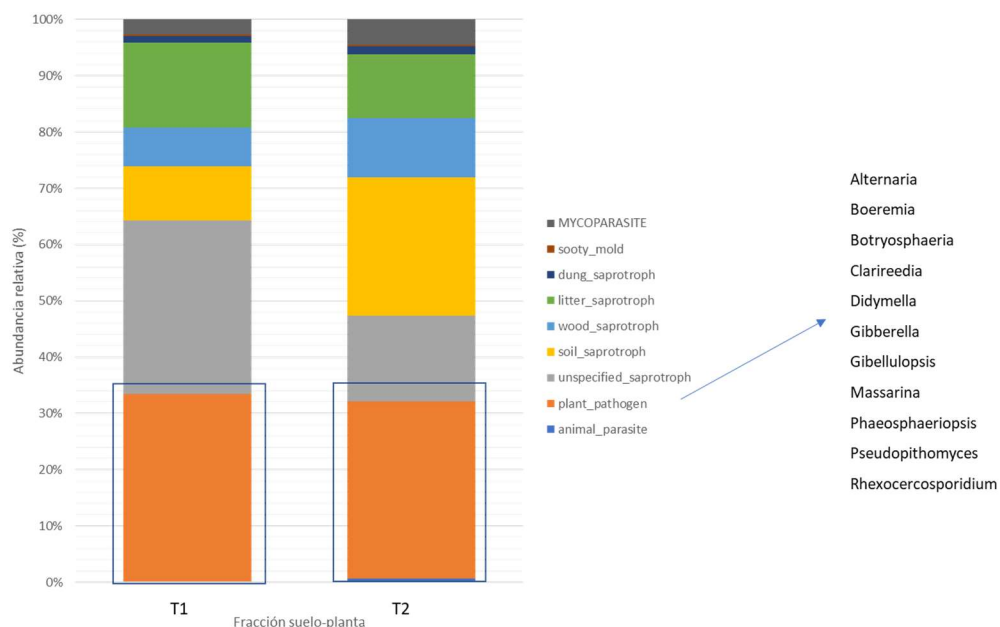


Fig.5.4.10. Agrupación de la comunidad de hongos en el muestreo de mayo de 2022, teniendo en cuenta su funcionalidad, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

Muestreo diciembre 2022

Los filum *Ascomycota* y *Basydiomycota* son los más abundantes en ambos tratamientos. Es de destacar la abundancia relativa de *Mucoromycota* en el tratamiento T2. *Fusarium* es el género más abundante en ambos tratamientos. Se destaca por su abundancia relativa el género *Alternaria* en T1 y *Talaromyces* en T2 (Fig.5.3.11)

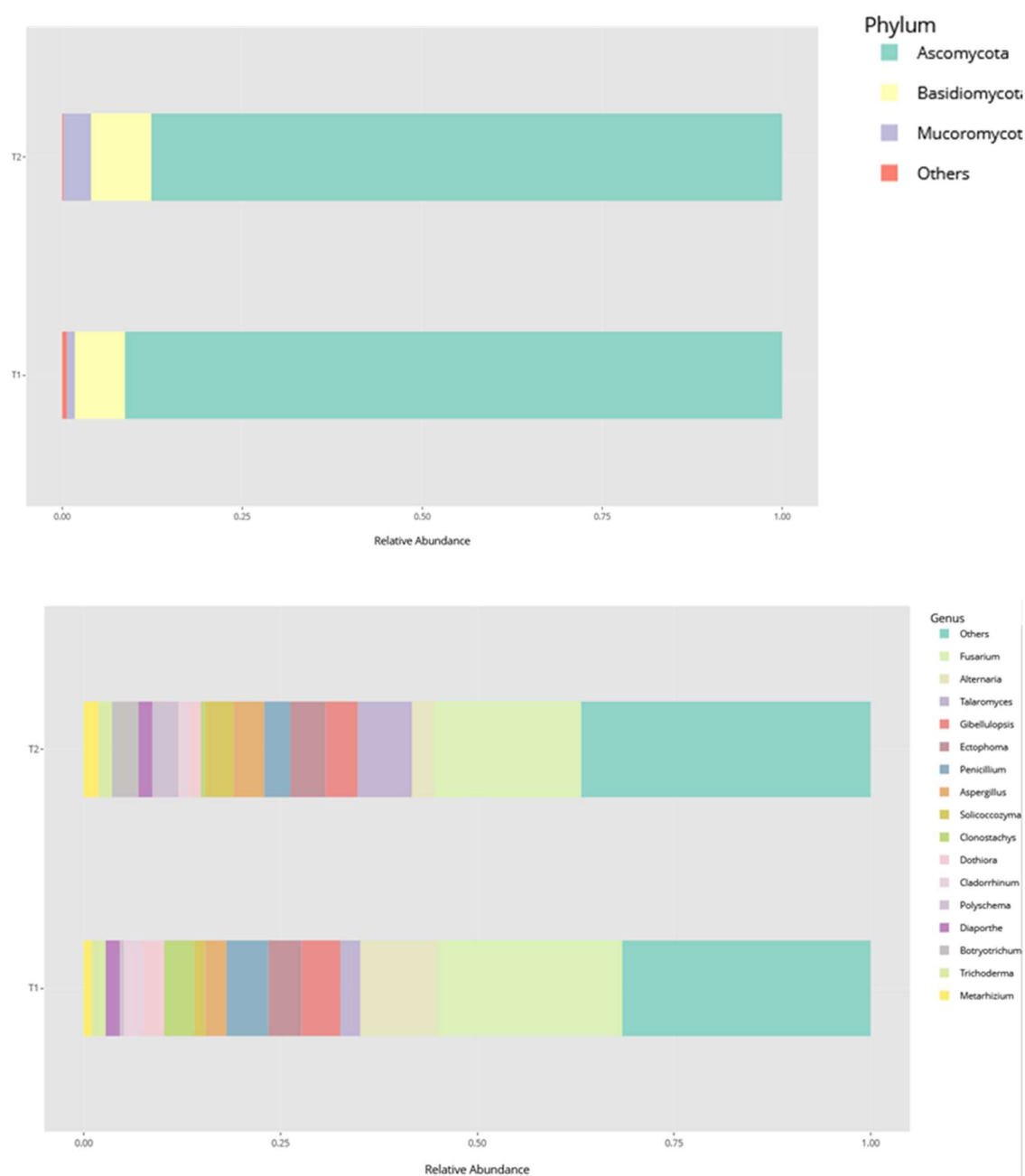


Fig.5.4.11. Abundancia de taxa (phylum, genero) de la comunidad de hongos en el muestreo de suelo de diciembre de 2022, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

El índice de Chao, que indica la riqueza de la comunidad de hongos, permite explicar la diferencia entre los tratamientos para $p < 0,5$, mientras que el índice de Shannon, que muestra como se distribuye la abundancia de los distintos microorganismos, no ha mostrado diferencias significativas entre tratamientos. La diversidad β se muestra como una variable útil en la diferenciación entre tratamientos, explicando el 38% de la varianza, siendo el eje x el que permite en mayor medida esta diferenciación (fig. 5.3.12)

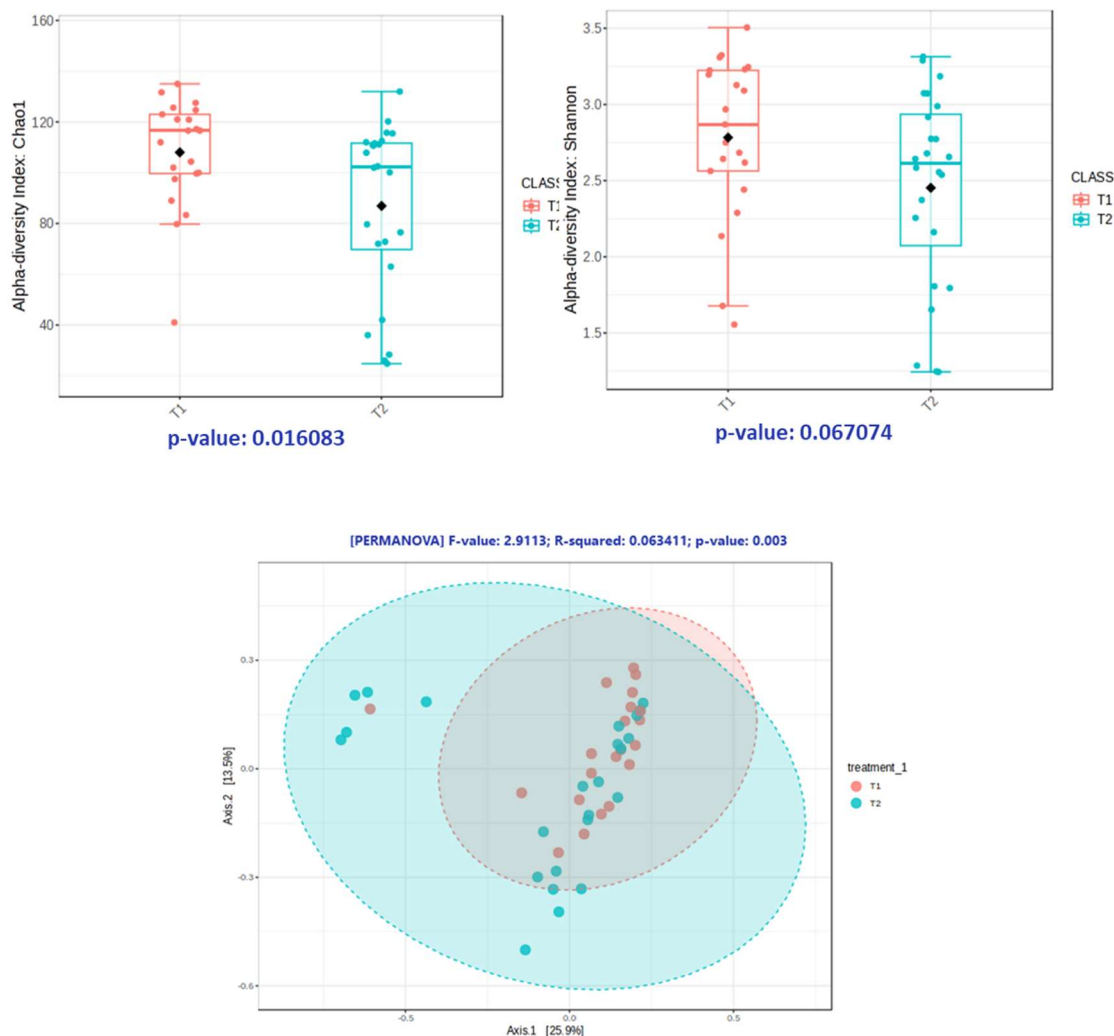


Fig.5.4.12. Índices de diversidad evaluados en la comunidad de hongos en el muestreo de suelo de diciembre de 2022, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

Los patrones establecidos mediante análisis discriminante indican una mayor prevalencia de hongos relacionados con enfermedades de madera de la vid en el tratamiento T1, concretamente de *Diaporthe*, *Diplodia* y *Cadophora* hongo, este último, implicado en la enfermedad de Petri que habitualmente presente en viñedos jóvenes.

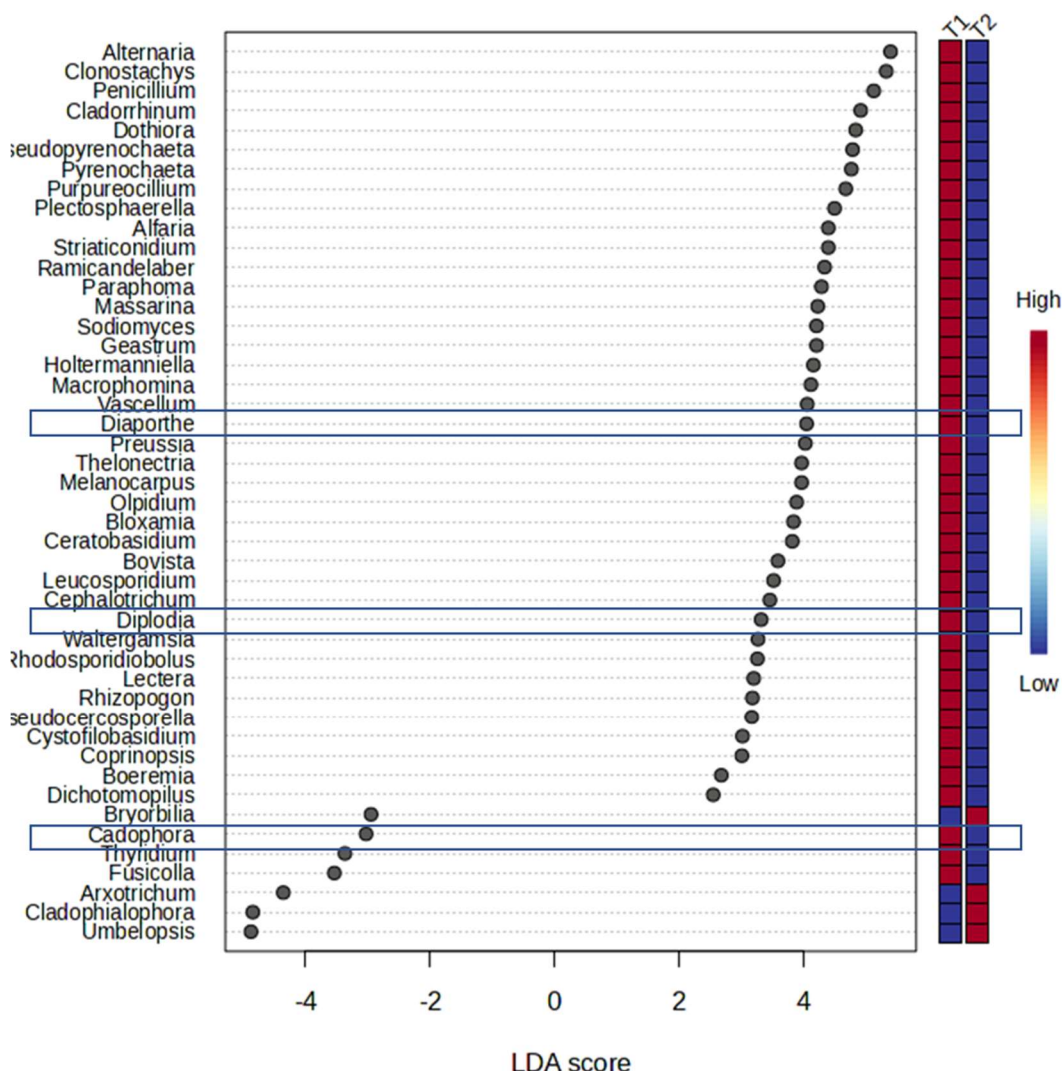


Fig.5.4.13. Análisis discriminante de la comunidad de hongos en el muestreo de suelo de diciembre de 2022, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

Al igual que se ha observado en el muestreo del mes de diciembre del 2021, la abundancia relativa de hongos patógenos es mayor en el tratamiento T1, suponiendo un 65% del total en este tratamiento. Si se compara con el tratamiento T2, este muestra un 15% menos de hongos fitopatógenos. De nuevo se muestra la presencia de hongos relacionados con enfermedades de madera de la vid. Los géneros *Diplodia* y *Diaporthe* están presentes dentro del grupo de los hongos patógenos (fig. 5.3.14).

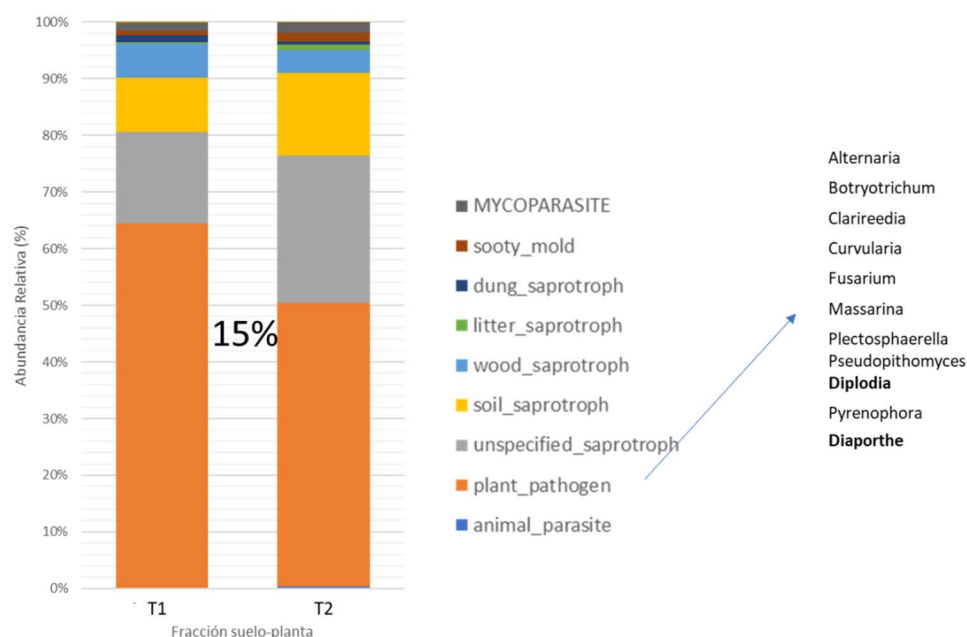


Fig.5.4.14. Agrupación de la comunidad de hongos en el muestreo de diciembre de 2022, teniendo en cuenta su funcionalidad, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

Finalmente, con la finalidad de determinar la variación entre los tratamientos T1 y T2 en relación al oomiceto *Plasmopara viticola* causante del mildiu de la vid, se cuantificó mediante qPCR en las muestras de suelos del mes de mayo y diciembre de 2022. Los resultados muestran que existen diferencias entre los dos muestreos, pero no entre tratamientos (fig. 5.3.15). Ello es indicativo que la incorporación de madera de poda al suelo no es la principal fuente de inóculo de *Plasmopara viticola*, apoyando la hipótesis de que es posiblemente la hojarasca el principal reservorio de este patógeno.

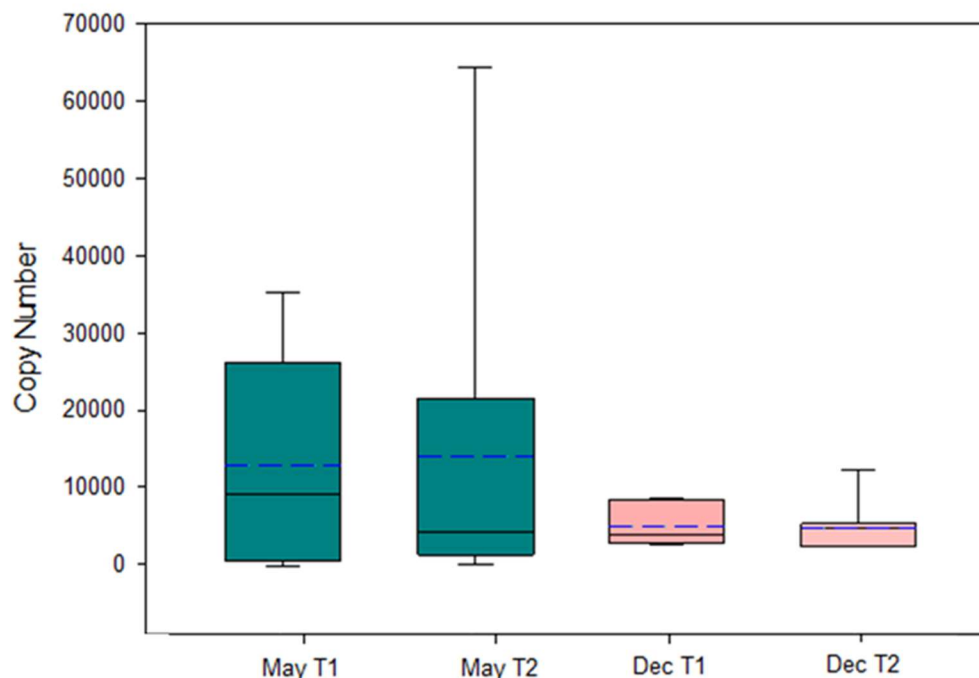


Fig.5.4.15. Cuantificación de *P. viticola* en función de época de muestreo (mayo y diciembre de 2022) e incorporación de residuos de poda al suelo (T1) y retirada de restos de poda (T2)

Análisis de diversidad de las bacterias

Tal como se comentó anteriormente, se muestra a continuación una visión de la diversidad de bacterias en el muestreo de septiembre de 2022. Se ha constatado que las bacterias representan la mayor diversidad de microorganismos del suelo, sin embargo, los hongos suponen el 70% de la biomasa del suelo, consecuencia de su mayor tamaño.

Los filum más abundantes independientemente del tratamiento son *Actynomycetota*, *Pseudomonadota*, *Bacillus* y *Acidobacteriota*. Presentando una mayor abundancia relativa *Bacillus* y *Acidobacteriota* en el tratamiento T2. *Rodrobacter*, *Acidobacterium* y *Bacillus* son los géneros con una mayor abundancia relativa, destacando *Bacillus* y *Acidobacterium* en el tratamiento T2 (fig. 5.3.16.)



Fig.5.4.16. Abundancia de taxa (phylum, genero) de la comunidad de bacterias en el muestreo de suelo de diciembre de 2022, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

El índice Shanon y la diversidad β se muestran como variables que permiten diferenciar las comunidades de bacterias entre tratamientos (fig. 5.3.17). El tratamiento T2 es el que presenta menor valor del índice de Shanon. Lo que indica que la diferenciación entre tratamientos viene determinada por la abundancia de los diferentes géneros presentes en el suelo.

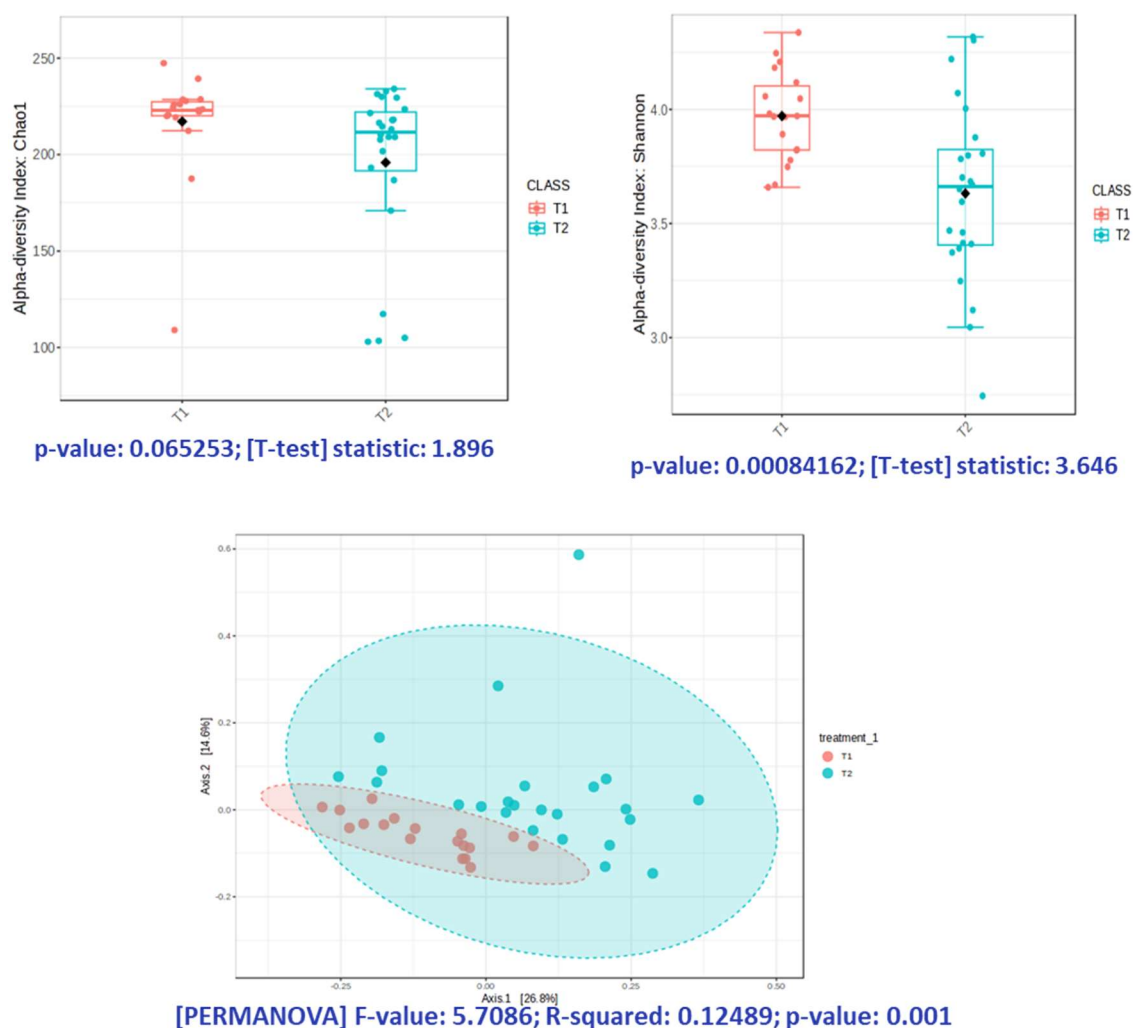


Fig.5.4. 17. Índices de diversidad evaluados en la comunidad de bacterias en el muestreo de suelo de diciembre de 2022, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

Los patrones establecidos para los géneros bacterianos muestran como prelevantes en el tratamiento T1, *Sphingomonas*, y *Bacillus* en T2 (fig. 5.3.18)

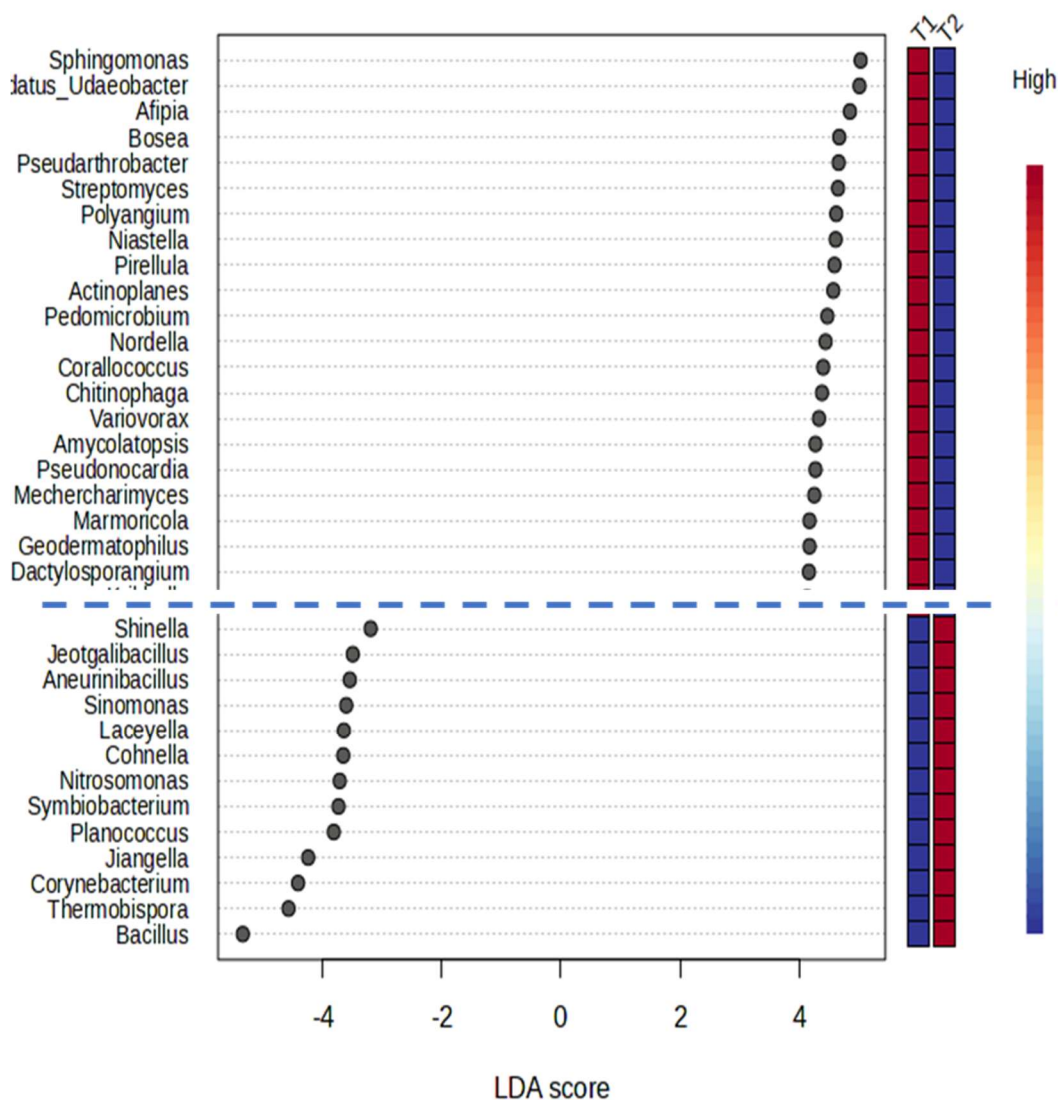


Fig.5.4.18. Análisis discriminante de la comunidad de bacterias en el muestreo de suelo de diciembre de 2022, para el conjunto de parcelas en las que se ha incorporado restos de poda (T1), y de las que se retiran los restos de poda (T2).

6.5 Efecto de la fertilidad del suelo y el manejo de restos de poda en la distribución de las comunidades microbianas

Para determinar la incidencia que puede tener la fertilidad del suelo y la incorporación o no de los restos de poda al suelo se realizó un análisis de componentes principales, tomando como variables dependientes los parámetros analíticos de la fertilidad del suelo y la abundancia de los principales órdenes de hongos (fig. 5.5.1) y bacterias (fig. 5.5.2) identificados en las muestras de diciembre de 2022.

Biplot (ejes F1 y F2: 45,75 %)

The biplot displays the relationship between fungal orders (variables) and soil variables (observations) based on the first two principal components, F1 (29,60 %) and F2 (16,15 %).

Variables (Fungal Orders):

- Glomerellales
- Pleosporales
- Hypocreales
- Sordariales
- Filobasidiales
- Others
- Dothideales
- Mortierellales
- Diaporthales
- Cladosporiales
- Trichosporonales
- Eurotiales

Observations (Soil Variables):

- K/Mg
- C/N
- Al
- Ca/Mg
- K
- pH
- M.O.
- P
- Na
- Ca
- Mg
- Microascales

Legend:

- Variables activas (Red dots)
- Observaciones activas (Blue dots)

La mayor diversidad de órdenes bacterianos muestra una relación con las parcelas en las que se incorporaron los restos de poda (Fig.5.4.2.), y a su vez determinados por pH más altos, mayor contenido en materia orgánica y carbono, y con una mayor relación Ca/Mg.

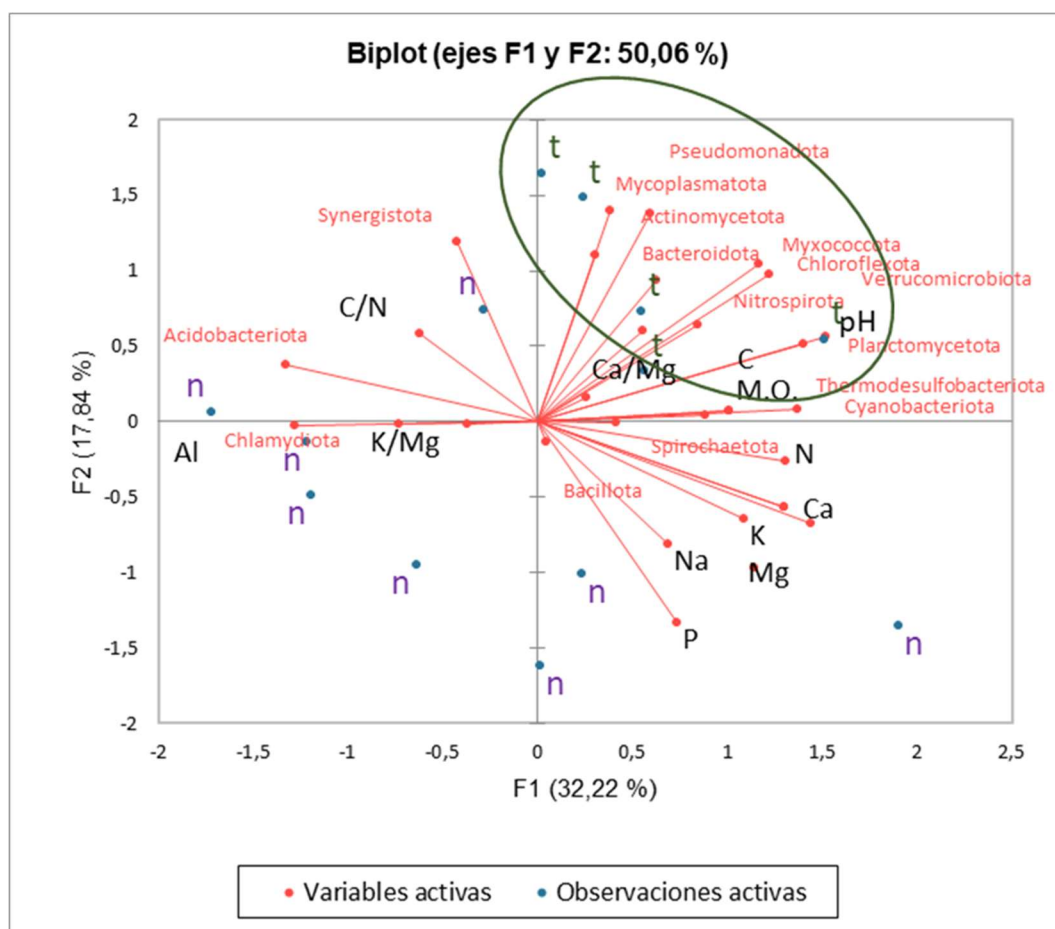


Fig. 5.5.2. Análisis de componentes principales, de los principales órdenes de bacterias en relación a parámetros de fertilidad del suelo y a la incorporación o eliminación de restos de poda al suelo. (t) T indica muestras en las que se incorporó restos de poda al suelo; (n) indica muestras en las que se retiraron los restos de poda.

6.6 Composición del mosto/vino y su relación con la incorporación de restos de poda o de vermicompost

Incorporación de restos de poda y calidad de los vinos

En la tabla xx se muestran los valores de los vinos elaborados para el conjunto de las parcelas en las que se incorporaron restos de poda (T1) y en las que los restos de poda se eliminaron (T2). Se muestra la media para los vinos de las distintas parcelas, puesto que no se observaron grandes diferencias entre ellas ni entre campañas. Los vinos de los dos tratamientos han resultado muy similares. Los vinos de T1 mostraron un ligero mejor equilibrio entre acidez y grado

Tabla 5.6.1. Composición del mosto y del vino en función de los tratamientos, T1 incorporación de restos de poda al viñedo, T2 retirada de restos de poda del viñedo

Mosto	T1	T2
Grado Brix	20,0	20,4
Acidez total (g/L tartárico)	5,3	4,9
pH	3,5	3,6
Ácido málico (mg/L)	2,0	1,9
Ácido Tartárico (mg/L)	5,6	5,7
N amoniacal	94,7	85,8
N amínico	159,7	155,3
Vino	T1	T2
Acidez total (g/l)	4,8	4,7
Acidez volátil (g/l)	0,3	0,3
Acido láctico (g/l)	0,2	0,3
Ácido málico (g/l)	1,9	2,5
Ácido tartárico (g/l)	1,4	1,2
Azúcar (g/l)	1,0	0,5
Sulfuroso libre (mg/l)	17,5	16,8
Sulfuroso total (mg/l)	145,0	148,7
Grado alcohólico (%vol)	13,4	12,7
Masa volúmica (g/ml)	0,987295	0,9885767
pH	3,47	3,53

En las fig. 5.6.1, 5.6.2 y 5.6.3 se muestran los resultados de la evaluación organoléptica, realizada en las 2 campañas de estudio, 2022 y 2023. Se evalúan en conjunto el total de las parcelas para cada tratamiento, y en las dos campañas, puesto que no se observaron grandes diferencias entre ellas.

No se observaron grandes diferencias entre los vinos de las parcelas en las que se incorporaron restos frente a las que se retiraron ni en relación a la fase gustativa (fig. 5.5.1), ni en fase olfativa (fig 5.5.2) ni en la calidad general del vino (fig. 5.5.3). Son vinos con notas a fruta de pepita, manzana, pera, no muy persistentes en boca. Mencionar que en los del tratamiento T1 se apreciaron notas a fruta tropical y a fruta de hueso. En ambos casos predomina el gusto ácido sobre el dulce, y se aprecia una ligera astringencia. En todos los casos la calidad global gustativa es superior a la olfativa.

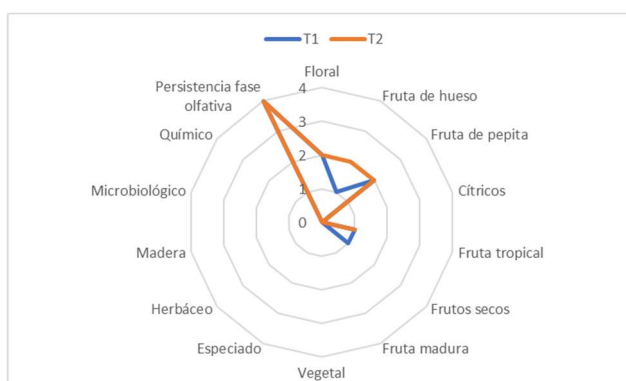


Fig 5.6.1. Fase gustativa. Campaña 2022



Fig. 5.6.2. Fase gustativa. Campaña 2022



Fig. 5.6.3. Calidad global del vino. Campaña 2022

En las parcelas en las que se aplicó el vermicompost, se muestran los resultados por parcela, teniendo en cuenta que la dosis aplicada ha variado entre las parcelas.

De la figura 5.5.4. a la 5.5.6 se muestran los resultados del análisis organoléptico de la parcela S400, S062 y S457 respectivamente.

En los vinos de la parcela 475 en fase olfativa se destaca en el vino testigo por una mayor

percepción de aromas a fruta de hueso y una mayor persistencia. En el vino con tratamiento de vermicompost los catadores apreciaron más fruta de pepita y una menor persistencia.

En la fase gustativa el testigo se destacó por un mayor carácter ácido amargo y de persistencia y el vino con tratamiento con vermicompost por un mayor carácter dulce.

El vino con tratamiento de vermicompost destacó en la calidad gustativa y global respecto del testigo, sin embargo, los catadores destacaron la calidad olfativa del testigo respecto al vino del tratamiento.

En los vinos de la parcela S062 los catadores en la fase olfativa el vino con el tratamiento destacó en fruta de hueso, fruta madura y fruta de hueso, el vino testigo solo superó al del tratamiento en fruta tropical.

En la fase gustativa el testigo fue superior en acidez y amargor y el vino con el tratamiento se obtuvieron valores superiores en dulce y persistencia. En la calidad global el vino del tratamiento fue superior al vino testigo.

En los vinos de la parcela S400, el vino V1 obtuvo mejor cualificación por parte de los catadores seguido del vino V2 y del testigo destacando en persistencia, dulce y fruta tropical.

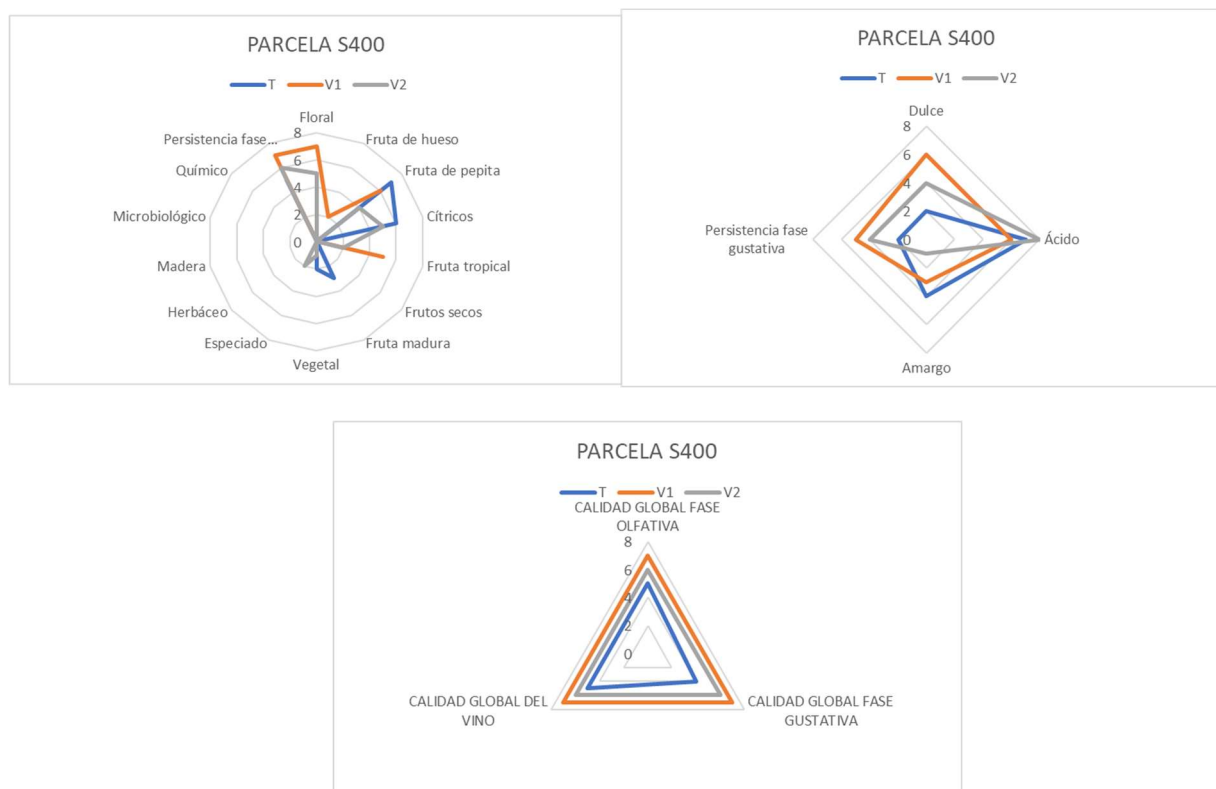


Fig. 5.6.4. Fase olfativa, gustativa y calidad del vino de la parcela S400

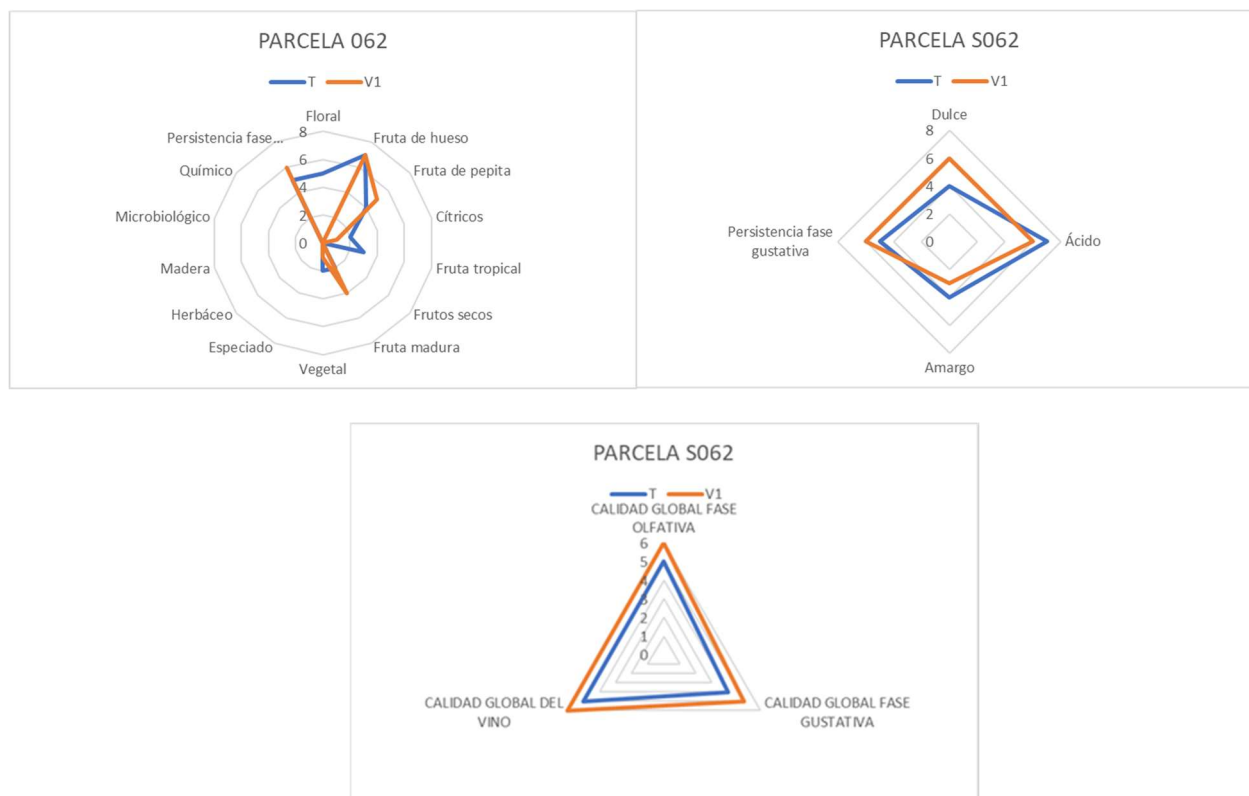


Fig. 5.6.5. Fase olfativa, gustativa y calidad del vino de la parcela S62

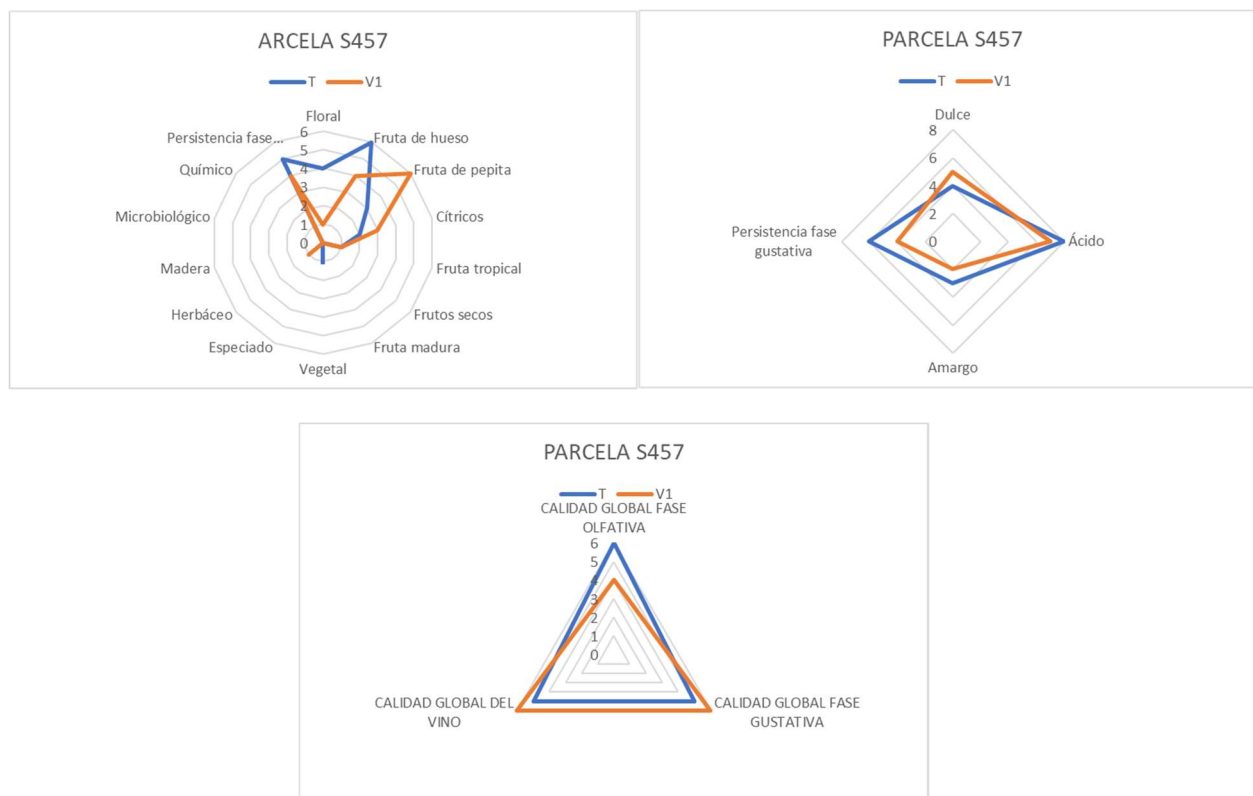


Fig. 5.6.6. Fase olfativa, gustativa y calidad del vino de la parcela S457

6.7 Huella de Carbono

Para la evaluación de la huella de carbono se han considerado las diferentes categorías de impacto, mencionadas en la metodología: Cambio Climático (CC), Agotamiento del Ozono Estratosférico (AOE), Acidificación Terrestre (TA), Eutrofización de Agua Dulce (FE), Eutrofización de Agua Marina (ME), Ecotoxicidad Terrestre (EcoT), Ecotoxicidad de Agua Dulce (EcoF), Ecotoxicidad de Agua Marina (EcoM) y Agotamiento de los Recursos Minerales (ARM).

En los dos ensayos estudiados, incorporación de restos de poda al viñedo (Viña Costeira) y aplicación de vermicompostaje al viñedo (Paco&Lola) se ha obtenido una reducción de la huella de carbono, comparativamente al uso convencional empleado en estos. En el caso de los restos de poda se realiza la quema de los mismos, mientras que el bagazo, empleado para el desarrollo del vermicompost se deriva a las destilerías.

Entrando en cada uno de los casos en particular, cabe mencionar que los resultados obtenidos de la incorporación de los restos de madera de poda al viñedo, reducen la huella de carbono cuando consideramos este aspecto de forma individual. El conjunto de operaciones realizadas en el viñedo, principalmente en Galicia por su clima, conlleva un elevado número de aplicaciones fitosanitarias, con sus consecuentes impactos ambientales, y por tanto en la huella de carbono, representando un elevado porcentaje.

La quema de la madera de poda supone un impacto en la atmósfera al incorporar CO₂ a la misma en su combustión, además de requerir de un pase de maquinaria para realizar la retirada del viñedo. En este sentido la incorporación (trillado) de la madera conlleva un pase de maquinaria con el apero adecuado, por lo que la principal diferencia entre ambos aspectos se deriva de evitar la quema de la madera, existiendo en ambos casos un pase de maquinaria con emisiones similares, puesto que la retirada conlleva el acople de un remolque para realizar su retirada, y/o acumulación en un punto externo al viñedo para su quema.

Cabe destacar que esta madera de poda, al ser incorporada al viñedo conlleva el aporte de nutrientes de la propia madera, principalmente materia orgánica que tras un proceso de degradación estará disponible en el mismo, siendo posible a medio plazo reducir las aportaciones fertilizantes en el mismo.

Para el caso del vermicompostaje, se presentan resultados similares al caso de la madera de poda dado que el abono que se viene empleando en los viñedos suelen ser materias primas no disponibles en el entorno de Galicia, requiriendo para su elaboración y preparación un proceso de extracción del recurso, preparación en el formato adecuado para su transporte, packaging,... Generalmente las materias primas se encuentran a grandes distancias de los viñedos gallegos por lo que el transporte conlleva un peso importante en cuanto a la huella de carbono.

El empleo de bagazos para preparar un abono (vermicompostaje, en el caso estudiado) supone el uso de un residuo de la bodega procedente del proceso de elaboración de vinos, que habitualmente se emplea para su destilación en el entorno local. El estudio propuesto supone el evitar el traslado de estos bagazos a la destilería, así como su empleo como abono, tras un proceso de vermicompostaje.

El impacto ambiental se ve substancialmente reducido en este caso, al reducirse el uso de abonos procedentes de otras regiones a nivel global, y emplear recursos locales, persiguiendo la implantación de un circuito cerrado, que además permite incorporar sustancias positivas al viñedo (materia orgánica) procesadas in situ, en el entorno de la bodega.

Se requiere de profundizar en los aspectos relativos al alcance económico que estos aspectos conllevan y su relación con los impactos ambientales, y por tanto con la huella de carbono, a través del análisis de ciclo de vida (ACV), si bien los resultados alcanzados en el proyecto han sido positivos, por lo que en ambos casos se plantea seguir empleando estas técnicas de uso de residuos como fuente de abonado.

6.8 Algoritmo y plataforma

Se desarrolló una aplicación web, accesible desde cualquier navegador con conexión a internet, en la que cada una de las bodegas tiene un acceso privado que permite visualizar los datos de sus parcelas. La ubicación de la aplicación web es <https://amgeo.es/fertisost/>



La herramienta web se desarrolló utilizando las siguientes tecnologías: HTML/CSS, Python y Javascript:

HTML (Lenguaje de Marcado de Hipertexto) y CSS (Cascading Style Sheets) son dos tecnologías fundamentales para la construcción de páginas web. Ambas desempeñan roles específicos en la presentación y estructura de un sitio web. HTML es el lenguaje de marcado

utilizado para definir la estructura y el contenido de una página web. Utiliza etiquetas para describir diferentes elementos en la página, como encabezados, párrafos, imágenes, enlaces, formularios, etc. CSS, por otro lado, es un lenguaje de estilos que se utiliza para definir la apariencia y el formato de los elementos HTML en una página web. Permite separar la presentación del contenido, facilitando así el mantenimiento y la consistencia visual.

JavaScript es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y orientado a objetos, ampliamente utilizado para desarrollar aplicaciones web interactivas. Es una parte fundamental de la triada tecnológica junto con HTML y CSS que permite crear y manejar contenido dinámico en los navegadores web. JavaScript tiene la capacidad de interactuar con el DOM (Document Object Model) de una página web, permitiendo modificar elementos HTML, responder a eventos del usuario y actualizar contenido sin necesidad de recargar la página. Además, con JavaScript, se pueden realizar llamadas asíncronas al servidor y trabajar con datos en formato JSON. En este proyecto utilizamos, además, Leaflet, que es una biblioteca de JavaScript de código abierto que se utiliza para crear mapas interactivos en línea. Es especialmente popular por su sencillez y facilidad de uso, permitiendo incorporar mapas interactivos en sitios web de manera adecuada y eficiente.

El lenguaje de programación Python es un lenguaje interpretado, orientado a objetos y de alto nivel. Fue creado por el programador Guido van Rossum y su filosofía de diseño prioriza la legibilidad del código, facilitando la comprensión y mantenimiento del mismo. Una de las características que hizo que seleccionáramos este lenguaje para este proyecto es su amplia biblioteca estándar, que incluye módulos y paquetes para realizar tareas comunes, como manipulación de archivos, acceso a bases de datos, análisis de datos, creación de interfaces gráficas y mucho más. Una de las bibliotecas empleadas en Python es TensorFlow, junto con otras bibliotecas (Keras, Tensorflow.js, NumPy, Pandas y Scikit-Learn). TensorFlow es una biblioteca de código abierto de aprendizaje profundo desarrollada por Google. Es especialmente conocida por su potencial en el campo del aprendizaje profundo y la construcción de modelos de inteligencia artificial. TensorFlow proporciona una infraestructura flexible y escalable para la creación y entrenamiento de modelos de aprendizaje profundo. En este proyecto, utilizamos TensorFlow para construir una red neuronal como modelo de aprendizaje profundo de manera eficiente.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema cuenta con un frame principal basado en un mapa, sobre el que se representan las parcelas de cada bodega utilizando como fondo del mapa una ortoimagen. Se dispone de 4

capas de visualización (rendimiento, análisis de suelo, análisis de mosto y análisis de peciolas). En función de la capa seleccionada se colorean las parcelas con una paleta tipo semáforo (rojo, amarillo, verde), mediante el que se indica si la parcela correspondiente está por debajo o por encima de lo esperable en cuanto a la variable representada. En el caso de la producción, se coloreará de verde la parcela que tiene un rendimiento productivo por encima del umbral fijado, mientras que el rojo indicará que su producción es más baja de lo esperable. En el caso de las otras capas, por ejemplo suelo, se coloreará verde si no tiene ningún parámetro de los analizados en las muestras de suelo fuera del umbral de tolerancia, y el color rojo si tiene muchos parámetros de análisis fuera de rango.

Se puede interactuar con el mapa, señalando cualquier parcela y, de ese modo, abrir un desplegable en el que se muestra información detallada de esa parcela en relación con la capa seleccionada: características productivas, análisis de suelo, análisis de mosto o análisis de peciolas.



Mediante un selector de campaña situado en la parte inferior del mapa, se pueden ver de forma dinámica las variaciones en los parámetros de cada capa en cada uno de los años cargados en el sistema. En cualquier momento se puede realizar una exportación, mediante la cual se recopilan todos los datos de cada parcela y se guardan en formato Excel para su posterior manipulación en un ordenador.

PARCELA 020

ANÁLISE DE SOLOS		2021
Núm. Mostra	60	
Repetición	3	
Ph (H2o)	5,5	
Materia Orgánica (%)	3,62	
Relación Carbono/Nitrógeno	10,99	
Nitrógeno (%)	0,19	
P Olsen (%)	13	
Potasio (cmol/Kg)	0,35	
Magnesio (cmol/Kg)	0,8	
Calcio (cmol/Kg)	2,7	
Calcio/Magnesio	3,38	
Calcio/Potasio	7,71	
Potasio/Magnesio	0,44	
Sodio (cmol/Kg)	0,08	
Aluminio (cmol/Kg)	0,8	
Cap. Int. Catiónico	4,52	
Sat. de Aluminio (%)	NaN	
Carbono (%)	2,1	
Area: 9.999% Limo: 9.999% Arella: 9.999%		
Análise	Fertilización	Simulador
Exportar		

Fertilización recomendada en función das características do solo

PARCELA 020

ANO 2021

Valores de fertilización estimados pola EVEGA en función da analítica de solo do ano correspondente.

APORTACIÓN	CANTIDADE
Materia Orgánica	30 UF
Calcio	2153 UF
Nitrógeno	55 UF
Fósforo	45 UF
Potasio	92 UF
Magnesio	30 UF

También se puede mostrar una visión de análisis, en forma de panel de control, mediante la que se representan gráficamente todos los parámetros registrados para cada parcela en las diferentes campañas.

7



8



ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN

Si se activa la capa de visualización de "suelo" se dispondrá de dos herramientas para optimizar la fertilización:

Fertilización recomendada: aplicación mediante la cual se calculan a través de unas ecuaciones, las UF necesarias para cada parcela, a partir de los resultados de las analíticas de suelo de cada año.

Simulador: se trata de una aplicación interactiva que permite estimar cual será la producción estimada de la parcela en función de los parámetros analizados en las muestras tomadas en suelo, junto con la previsión de fertilización que se prevé aplicar. Para esta aplicación se desarrolló un algoritmo basado en inteligencia artificial, que se describe a continuación.

Se ha desarrollado un sistema basado en inteligencia artificial con el objetivo de anticipar la producción de cada parcela de viñedo, considerando las particularidades de su suelo y la fertilización aplicada. La arquitectura se basa en redes neuronales artificiales, en donde la red neuronal se compone de múltiples capas, destacando una capa de entrada, una capa oculta con 8 neuronas y una capa de salida con una única neurona, y se ha optado por emplear el algoritmo de optimización Adam, una técnica de optimización eficiente para el aprendizaje de modelos de redes neuronales simples. Además, la función de pérdida (loss) se ha ajustado a un valor de 0.1, buscando optimizar la precisión del modelo. Con todo eso, la estimación de producción tiene una imprecisión en torno a 2500 kg/ha, dependiendo de la Denominación de Origen en la que se aplique.

Simulador de fertilización basado en Inteligencia Artificial

PARCELA 020
ANO 2021

Materia Orgánica (UF)
30

Calcio (UF)
2153

Nitrógeno (UF)
55

Fósforo (UF)
45

Potasio (UF)
92

Magnesio
0

Estimar producción Rendemento: 14793 kg/ha

Simulador de fertilización basado en Inteligencia Artificial

PARCELA 020
ANO 2021

Materia Orgánica (UF)
30

Calcio (UF)
2153

Nitrógeno (UF)
55

Fósforo (UF)
45

Potasio (UF)
92

Magnesio
1

Estimar producción Rendemento: 14907 kg/ha

En el proceso de construcción de la red neuronal, se ha trabajado con conjuntos de datos recopilados durante tres campañas agrícolas diferentes: 2021, 2022 y 2023. Esa colección de datos está formada tanto por los análisis de suelo realizados, datos productivos históricos de las parcelas y fertilizaciones necesarias. Es importante destacar que cada red neuronal se ha entrenado de manera independiente para cada Denominación de Origen, lo que permitió

obtener modelos específicos y adaptados a las características únicas de cada región vitivinícola.

El desarrollo de este sistema se ha llevado a cabo utilizando TensorFlow, una biblioteca de código abierto especializada en aprendizaje profundo. TensorFlow, con su versatilidad y robustez, proporciona una infraestructura sólida para construir y entrenar modelos de redes neuronales. En el contexto de la integración del sistema como una aplicación web, se ha aprovechado TensorFlow.js, una extensión de TensorFlow diseñada para ejecutar modelos de aprendizaje profundo directamente en navegadores web. Este enfoque no solo garantiza una interactividad rápida y fluida para los usuarios, sino que también descarga la carga computacional del servidor, mejorando así la eficiencia del sistema.

9 Consideraciones finales de carácter general

La evaluación del microbioma de suelos de viñedos en los que se incorporan restos de poda frente a aquellos en los que se retiran y se queman, mostró diferencias en la abundancia y diversidad de comunidades fúngicas y bacterianas en el suelo de ambos tipos de tratamientos. Además, los resultados observados sugieren que el suelo puede representar un reservorio de patógenos. Se han identificado en mayor medida patógenos implicados en diferentes enfermedades de madera de la vid en las parcelas en las que se incorporaron restos de poda; mayoritariamente la presencia de *Diaporthe*, causante de excoriosis. Por lo tanto, las nuevas vides trasplantadas, que sustituyan a las sintomáticas en un viñedo infectado, podrían estar expuestas a un riesgo potencial de enfermedades, si bien es necesario determinar en qué medida estos patógenos presentes en el suelo se incorporan a la planta, o si tal como apuntan distintos estudios, estos patógenos son endófitos de las plantas y se desarrollan como consecuencia de situaciones de estrés bióticos y abióticos a los que están sometidas.

El proceso de transformación del bagazo en humus de lombriz a partir del proceso de vermicompostaje. Como resultado se obtuvo en 7 meses una enmienda orgánica apta para fertilizar o plantar un viñedo. Es necesario confirmar con más ensayos que el vermicompost final es una enmienda cuya aplicación mejora las propiedades fisicoquímicas y aumenta la

actividad microbiana del suelo, favoreciendo la capacidad de absorción de nutrientes de la vis. Teniendo en cuenta lo anterior, el vermicompostaje es una tecnología de gestión de residuos de bagazo eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Destacar que mediante el proceso de valorización y en paralelo a la obtención de vermicompost, también se pueden obtener compuestos bioactivos de alto valor para la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria.

Las características químicas y organolépticas de los vinos elaborados con uvas procedentes de las parcelas en la que se aplicaron estos dos tipos de residuos no ha mostrado grandes diferencias con las parcelas con fertilización convencional, por lo que se pueden considerar como dos buenas estrategias para la obtención de vinos más sostenibles.

10 Divulgación

11 Referencias bibliográficas utilizadas en la redacción del proyecto.

- Agrawal, G., Kang, D. K. (2018). Wine Quality Classification with Multilayer Perceptron. International Journal of Internet, Broadcasting and Communication, 10(2), 25-30.
- Almagro, M.; Garcia-Franco, N.; Martínez-Mena, M. 2017. The potential of reducing tillage frequency and incorporating plant residues as a strategy for climate change mitigation in semiarid Mediterranean agroecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 246, 210–220.
- iBavaresco, L. 2005. La fertilizzazione della vite. In Manuale di Viticoltura; Marengi, M., Ed.; Edagricole: Bologna, Italy, pp. 93–114.
- Câmara-Salim, I., Almeida-García, F., González-García, S., Romero-Rodríguez, A., Ruíz-Nogueiras, B., Pereira-Lorenzo, S., Feijoo, G., Moreira, M. T. (2020). Life cycle assessment of autochthonous varieties of wheat and artisanal bread production in Galicia, Spain. Science of The Total Environment, 713, 136720.
- Dominguez, J.; Sánchez-Hernández, J.C.; Lores, M. 2017. Vermicomposting of winemaking by products. In Handbook of Grappe Processing by Products, pp. 55-78. Academy Press.
- Esteve-Llorens, X., Moreira, M. T., Feijoo, G., González-García, S. (2019). Linking environmental sustainability and nutritional quality of the Atlantic diet recommendations and real consumption habits in Galicia (NW Spain). Science of The Total Environment, 683, 71-79.
- Fandiño, M., Vilanova, M., Caldeira, I., Silvestre, J. M., Rey, B. J., Mirás-Avalos, J. M., Cancela, J. J. (2020). Chemical composition and sensory properties of Albariño wine: Fertigation effects. Food Research International, 137, 109533.

- Frac, M.; Oszust, K.; Lipiec, J. 2012. Community level physiological profiles (CLPP), characterisation and microbial activity of soil amended with dairy sewage sludge. *Sensors*, 12 (3), 3253-3268.
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Cardoso, R. M., Soares, P. M., Cancela, J. J., Pinto, J. G., Santos, J. A. (2014). Integrated analysis of climate, soil, topography and vegetative growth in Iberian viticultural regions. *PLoS One*, 9(9), e108078.
- Giese, G.; Wolf, T.K.; Velasco-Cruz, C.; Roberts, L.; Heitman, J. 2015. Cover crop and root pruning impacts on vegetative growth, crop yield components, and grape composition of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 66, 212–226.
- González-García, S., Silva, F. J., Moreira, M. T., Pascual, R. C., Lozano, R. G., Gabarrell, X., Rieradevall, J., Feijoo, G. (2011). Combined application of LCA and eco-design for the sustainable production of wood boxes for wine bottles storage. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(3), 224-237.
- Guerra, B.; Steenwerth, K. 2012. Influence of floor management technique on grapevine growth, disease pressure, and juice and wine composition: A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 63, 149–164.
- Gullón, P., Gullón, B., Dávila, I., Labidi, J., Gonzalez-Garcia, S. (2018). Comparative environmental Life Cycle Assessment of integral revalorization of vine shoots from a biorefinery perspective. *Science of the total environment*, 624, 225-240.
- Laguna, L.; Bartolomé, B.; Moreno-Arribas, M.V. 2017. Mouthfeel perception of wine: Oral physiology, components and instrumental characterisation. *Trends in food science & technology*, 59,49-59
- Lijó, L., González-García, S., Lovarelli, D., Moreira, M. T., Feijoo, G., Bacenetti, J. (2019). Life cycle assessment of renewable energy production from biomass. *Life Cycle Assessment of Energy Systems and Sustainable Energy Technologies*, 81-98.
- Mirás-Avalos, J. M., Fandiño, M., Trigo-Córdoba, E., Rey, B. J., Orriols, I., Cancela, J. J. (2017). Influence of irrigation on consumer acceptability of Albariño and Godello wines. *LWT-Food Science and Technology*, 85, 345-352.
- Morugán-Coronado, A.; Linares, C.; Gómez-López, M.D.; Faz, Á.; Zornoza, R. 2020. The impact of intercropping, tillage and fertilizer type on soil and crop yield in fruit orchards under Mediterranean conditions: A meta-analysis of field studies. *Agric. Syst.* 178, 102736
- Nkoa, R. 2014. Agricultural benefits and environmental risk of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 473-492.
- Pellegrini, E., Rovere, N., Zaninotti, S., Franco, I., De Nobili, M., Contin, M. (2021). Artificial neural network (ANN) modelling for the estimation of soil microbial biomass in vineyard soils. *Biology and Fertility of Soils*, 57(1), 145-151.
- Pérez-Álvarez, E.P.; Pérez-Sotés, J.L.; García-Escudero, E.; Peregrina, F. 2013, Cover Crop Short-Term Effects on Soil NO₃ -N Availability, Nitrogen Nutritional Status, Yield, and Must Quality in a Calcareous Vineyard of the AOC Rioja, Spain. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 44, 711–721
- Pisciotta, A.; Di-Lorenzo, R.; Novara, A.; Laudicina, V.A.; Barone, E.; Santoro, A.; Gristina, L.; Barbagallo, M.G. 2021 Cover crop and pruning residue management to reduce nitrogen mineral fertilization in mediterranean vineyards. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010164>

- Severa, W., Vineyard, C. M., Dellana, R., Verzi, S. J., Aimone, J. B. (2019). Training deep neural networks for binary communication with the whetstone method. Nature Machine Inte