

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA VARIEDAD TANNAT
FRENTE A DIFERENTES COBERTURAS VEGETALES EN LA FILA COMO
ALTERNATIVA AL USO DE HERBICIDAS**

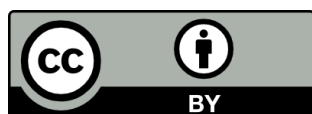
por

**Gisella Beatriz HERNÁNDEZ FRÍAS
Paula Carolina RODRÍGUEZ DA ROSA**

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2025**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

Ing. Agr. (Dr.) Gerardo Echeverría

Co-director:

Ing. Agr. (Dr.) Andrés Coniberti

Tribunal:

Ing. Agr. (Dr.) Gerardo Echeverría

Ing. Agr. (MSc.) Carolina Munka

Ing. Agr. (MSc.) Néstor Merino

Fecha:

25 de abril de 2025

Estudiantes:

Gisella Beatriz Hernández Frías

Paula Carolina Rodríguez Da Rosa

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a nuestro tutor Ing. Agr. Gerardo Echeverría por confiar en nosotras y acompañarnos durante todo este trayecto. Así mismo, un agradecimiento especial al Ing. Agr. Bruno Izquierdo, quien nos acompañó de forma incondicional.

Al establecimiento Bouza, quien nos permitió realizar los ensayos en su predio ubicado en “Las Violetas”. Así como a todo el personal que trabaja allí por su colaboración en diversas labores y a nuestro cotutor Ing. Agr. Andrés Coniberti quien hizo posible que este proyecto se llevara a cabo.

Dentro de los docentes de la Facultad de Agronomía, agradecemos a la Ing. Agr. Florencia Alliaume por colaborar en el estudio de suelos, y a la Ing. Agr. Carolina Munka por su asesoramiento en la realización de los balances hídricos, así como brindarnos los datos meteorológicos necesarios. También agradecer al laboratorio de suelos, enología y viticultura por permitirnos usar sus instalaciones.

Al Ing. Agr. Néstor Merino por aportarnos múltiples datos del predio donde se llevó a cabo el ensayo, así como asesoramiento basado en su experiencia en el rubro.

De manera personal, estamos agradecidas de todo corazón a nuestras familias y amigos por estar a nuestro lado durante este trabajo y en toda la carrera en general. Sabemos que, sin su apoyo y compañía, el camino no hubiera sido el mismo.

Además, queremos mostrar nuestra gratitud a todas esas otras personas que de una forma u otra se nos cruzaron en el camino, ayudando a enriquecer nuestro trabajo y fortaleciendo el amor por el rubro.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUCCIÓN	12
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 LA VITICULTURA NACIONAL Y LA VARIEDAD TANNAT.....	14
2.2 CONTEXTO CLIMÁTICO ACTUAL.....	14
2.3 MANEJO TRADICIONAL DE SUELOS.....	16
2.4 IMPORTANCIA DE LOS SUELOS EN EL VIÑEDO.....	17
2.4.1 Sistema radicular de la vid.....	18
2.5 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES	19
2.5.1 Fertilización nitrogenada.....	20
2.6 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS	22
2.6.1 Riego	23
2.6.2 Efectos del estrés hídrico en las diferentes etapas fenológicas..	23
2.7 EQUILIBRIO FISIOLÓGICO DE LA PLANTA: RELACIÓN FUENTE/FOSA.....	25
2.8 EFECTOS DEL USO DE HERBICIDAS.....	27
2.9 EFECTOS DEL USO DE CUBIERTAS VEGETALES.....	27
2.9.1 Tipos de cubiertas vegetales	29
2.9.2 Manejo de las cubiertas vegetales.....	29
2.10 COMPARACIÓN ENTRE EL USO DE HERBICIDAS Y CUBIERTAS VEGETALES	30
2.11 FACTORES QUE MODIFICAN LA COMPOSICIÓN DE LA BAYA....	31
2.11.1 Condiciones edafo - climáticas	31
2.11.2 Estado hídrico de la vid.....	32
2.11.3 Implantación de cobertura vegetal en la fila.....	33
2.11.4 Fertilización nitrogenada.....	34
3 MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1 DESCRIPCIÓN DEL VIÑEDO.....	36
3.2 SEGUIMIENTO DE PASTURAS.....	36

3.3	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	36
3.4	DATOS CLIMÁTICOS Y BALANCE HÍDRICO	37
3.5	DISEÑO EXPERIMENTAL	37
3.6	TRATAMIENTOS DE COBERTURAS VEGETALES	38
3.7	TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN	38
3.8	RIEGO: FRECUENCIA Y CAUDAL	39
3.9	INDICADORES FISIOLÓGICOS.....	39
3.9.1	Crecimiento vegetativo.....	39
3.9.2	Rendimiento.....	40
3.9.3	Composición	40
3.10	ÍNDICES DE RESPUESTA.....	41
3.10.1	Índice de Ravaz	41
3.10.2	Potencial hídrico	41
3.10.3	Superficie foliar y rendimiento.....	41
3.10.4	Producción de materia seca.....	41
3.11	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42
4	RESULTADOS	43
4.1	DESCRIPCIÓN DE SUELO	43
4.2	ESTUDIO DE RAÍCES	43
4.3	CONDICIONES CLIMÁTICAS	46
4.3.1	Temperatura	46
4.3.2	Precipitaciones.....	47
4.4	BALANCE HÍDRICO	49
4.5	MONITOREO DEL ESTADO HÍDRICO A LO LARGO DEL CICLO... 51	
4.6	SEGUIMIENTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA FILA	52
4.7	DESARROLLO VEGETATIVO Y COMPOSICIÓN MINERAL DE LA VID 53	
4.7.1	Superficie foliar expuesta potencial (SFEp).....	53
4.7.2	Peso de poda, número y peso de pámpanos.....	54
4.7.3	Análisis de composición mineral foliar	54
4.8	DESARROLLO REPRODUCTIVO Y COMPOSICIÓN DE LA BAYA. 56	
4.8.1	Sólidos solubles totales, acidez total, ratio, pH, antocianos fácilmente extraíbles e índice de polifenoles totales	56
4.8.2	Evolución de la maduración	57

4.8.3	Nitrógeno fácilmente asimilable	60
4.8.4	Peso de baya y racimos.....	61
4.8.5	Rendimiento.....	61
4.8.6	Enfermedades y compacidad del racimo	62
4.9	ÍNDICES FISIOLÓGICOS	63
4.9.1	Superficie foliar expuesta potencial por carga	63
4.9.2	Índice de Ravaz	64
4.9.3	Producción de materia seca.....	65
5	DISCUSIÓN	66
5.1	CONDICIONES EDAFO-CLIMÁTICAS.....	66
5.2	MONITOREO Y EFECTOS DEL ESTADO HÍDRICO	67
5.3	DESARROLLO VEGETATIVO.....	70
5.4	DESARROLLO REPRODUCTIVO.....	73
5.5	ÍNDICES FISIOLÓGICOS.....	78
5.6	ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN ENTRE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS EN ESTUDIO	79
6	CONCLUSIONES.....	82
7	BIBLIOGRAFÍA	84

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Análisis de suelo: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, composición mineral y granulometría	43
Tabla 2 Temperaturas promedio del ciclo de crecimiento e históricas de los últimos 30 años.....	47
Tabla 3 Precipitación efectiva del ciclo de crecimiento e histórica de los últimos 30 años.....	48
Tabla 4 Índice de bienestar hídrico de la vid para los distintos balances hídricos	50
Tabla 5 Superficie foliar expuesta potencial según cobertura vegetal.....	53
Tabla 6 Peso de poda y de pámpanos según cobertura vegetal.....	54
Tabla 7 Nitrógeno foliar según combinación de tratamientos entre cobertura vegetal y fertilizantes	55
Tabla 8 Niveles de magnesio, potasio y su relación en hoja según cobertura vegetal en la fila	56
Tabla 9 Valores de composición de baya en cosecha según cobertura vegetal	57
Tabla 10 Nitrógeno fácilmente asimilable según combinación de tratamientos y promedios.....	60
Tabla 11 Pesos de baya y racimo según cobertura vegetal.....	61
Tabla 12 Rendimiento según combinación de tratamientos entre coberturas vegetales y fertilizantes.....	62
Tabla 13 Compacidad de racimos según cobertura vegetal	63
Tabla 14 Superficie foliar expuesta potencial por carga de fruta según cobertura vegetal.....	64
Tabla 15 Índice de Ravaz según combinación de tratamientos entre cobertura vegetal y fertilizantes.....	64
Tabla 16 Producción de materia seca por planta según cubierta vegetal	65
Tabla 17 Producción de materia seca por planta según tratamiento de fertilizante.....	65
Tabla 18 Concentración óptima de nutrientes minerales en hoja durante el envero vs valores según cobertura vegetal	72
Tabla 19 Datos de referencia en la variedad Tannat para componentes del rendimiento y composición de baya	73
Figura 1 Diseño experimental: distribución de los tratamientos.....	38
Figura 2 Observación de raíces mediante calicata en el tratamiento festuca de alta densidad	44
Figura 3 Distribución de las raíces a diferentes profundidades según porcentaje	45
Figura 4 Número de raíces a diferentes profundidades	46
Figura 5 Distribución anual en el ejercicio 22 -23 de temperatura promedio, precipitación efectiva y ETP	49
Figura 6 Potencial hídrico de tallo medido a mediodía durante el ciclo de crecimiento	51
Figura 7 Evolución de la acidez total durante la maduración de la baya según cobertura vegetal	58
Figura 8 Evolución de los sólidos solubles totales durante la maduración de la baya según cobertura	59

Figura 9 Fotos de racimos de todos los tratamientos de cobertura vegetal el 19 de enero	60
Figura 10 Gráfico de componentes principales de las variables analizadas según cobertura vegetal	80

RESUMEN

Dado los efectos del cambio climático sobre la producción vitivinícola, se considera prudente buscar alternativas al manejo actual de los viñedos, para lograr producciones sostenibles en el tiempo que permitan al productor cumplir con sus objetivos productivos.

En el presente trabajo se plantea como alternativa al manejo tradicional de viñedos el uso de pasturas bajo la fila acompañado de riego. Utilizando, a su vez, diferentes fuentes y formas de aplicación de nitrógeno. Buscando medir el efecto de estos en la variedad Tannat, a través del estudio del rendimiento, equilibrio fisiológico de la planta y la composición final de las bayas.

Las prácticas fueron llevadas a cabo en la zafra 2022 - 2023, en un viñedo ubicado en el departamento de Canelones. El cuadro bajo estudio estaba conducido en una espaldera tradicional, con poda guyot unilateral. La densidad de plantación es de 4000 plantas por hectárea y filas orientadas de Norte – Sur.

Las entrefilas se mantuvieron empastadas como es habitual, mientras que en las filas se probaron diferentes tratamientos, los cuales fueron trébol blanco (*Trifolium repens*), festuca (*Festuca arundinacea*) de uno y dos años, y herbicida.

A su vez, se utilizaron tres métodos de fertilización, los que consistían en urea al suelo, urea foliar y coron (fertilizante foliar nitrogenado), además de un testigo sin fertilizar. También se utilizó riego con el objetivo de mantener control del estrés hídrico que se pudiera ocasionar por la competencia con las pasturas.

Dentro de los resultados obtenidos se debe resaltar que los datos se encuentran influenciados por un efecto año importante, dado que se trató de un año atípico en cuanto a precipitaciones y temperaturas. Esto se ve reflejado en el potencial hídrico que, a su vez, influyó de manera significativa en varios parámetros como el crecimiento vegetativo y desarrollo reproductivo, enmascarando las posibles diferencias entre los tratamientos de herbicida y coberturas vegetales.

Según las diferentes pasturas utilizadas, en el tratamiento con trébol, se obtuvieron resultados promisorios respecto a los niveles de nitrógeno foliar y nitrógeno fácilmente asimilable. Alcanzando valores significativamente superiores al resto de los tratamientos en ambos parámetros, aunque sin reflejarse en otros, como la superficie foliar expuesta potencial (SFEp) o el rendimiento.

Los diferentes métodos de fertilización no proporcionaron datos claros. Pero, en general, se observaron mejores resultados en los tratamientos con fertilizantes foliares. Teniendo en cuenta que, en estos métodos se aplicaron menos unidades de nitrógeno, se indicaría una mayor eficiencia de uso por parte de las plantas de vid.

Palabras clave: estrés hídrico, equilibrio vegetativo, Tannat, cobertura vegetal en la fila, FAN

ABSTRACT

Given the effects of climate change on vitiviniculture, it is prudent to seek alternatives to current vineyard management to achieve sustainable production over time that allows producers to meet their production objectives.

In the present work, the use of pastures under the row accompanied by irrigation is proposed as an alternative to traditional vineyard management. Using, in turn, different sources and forms of nitrogen application. Looking to measure the effect of these on the Tannat variety, through the study of yield, physiological balance of the plant and the final composition of the berries.

The practices were carried out in the 2022 - 2023 harvest, in a vineyard located in the department of Canelones. The vineyard under study was trained on a vertical shoot positioning system, with unilateral guyot pruning. The planting density is 4000 plants per hectare and rows oriented north-south.

The inter-rows were kept with grass cover as usual, while in the rows different treatments were tested, which were white clover (*Trifolium repens*), one and two years old fescue (*Festuca arundinacea*) and herbicide.

Three fertilization methods were used, consisting of urea applied to the soil, foliar urea and coron (foliar nitrogen fertilizer), in addition to a control without fertilization. Irrigation was also used in order to maintain control of water stress that could be caused by competition with pastures.

In the results obtained, it should be noted that the data are influenced by an important year effect, since it was an atypical year in terms of rainfall and temperatures. This is reflected in the water potential which, in turn, had a significant influence on several parameters such as vegetative growth and reproductive development, masking the possible differences between herbicide and cover crop treatments.

According to the different pastures used, in the clover treatment, promising results were obtained with respect to the levels of foliar nitrogen and yeast assimilable nitrogen. Values significantly higher than the rest of the treatments were achieved in both parameters, although they were not reflected in other parameters, such as the potential exposed leaf area or yield.

The different fertilization methods did not provide clear data. But, in general, better results were observed in the treatments with foliar fertilizers. Considering that, in these methods, less nitrogen units were applied, this would indicate a higher efficiency of use by the vine plants.

Keywords: water stress, vegetative balance, Tannat, cover crop in the row, YAN

1 INTRODUCCIÓN

La vitivinicultura uruguaya tiene como objetivo destacar mediante la calidad del vino producido para poder competir internacionalmente. Esto conlleva un gran desafío en el contexto climático del país, sobre todo actualmente con el cambio climático global. El régimen de precipitaciones, así como las temperaturas, los suelos predominantes y la humedad relativa, requieren de un manejo intensivo del viñedo para lograr obtener uva de alta calidad enológica (Coniberti, 2018).

La zona donde tradicionalmente se realiza la viticultura, es el sur del país. Allí predominan los suelos profundos y pesados, con alta capacidad de retención de agua y alto contenido de materia orgánica (MO) (Altamirano et al., 1976). Lo que implica un gran desarrollo vegetativo de la vid, así como altos rendimientos. Sumado a esto, el régimen pluviométrico existente en el país es elevado para los requerimientos de la viña (Barreiro et al., 2019; Deloire & Pellegrino, 2021). Por lo que se considera relevante encontrar estrategias que permitan controlar de alguna manera el crecimiento de la viña, tanto vegetativo como reproductivo.

Actualmente, las filas del viñedo se mantienen libres de la competencia por parte de pasturas y malezas. Inicialmente esta práctica se realizaba a través de la eliminación mecánica y, luego, con el surgimiento del herbicida, este pasó a ser la herramienta más utilizada. Esto es llevado a cabo porque la mayoría de los viñedos del país no cuentan con un sistema de riego, siendo necesario mantener la competencia controlada, principalmente en las etapas iniciales de crecimiento de las vides, para evitar un bajo vigor.

Como consecuencia, el suelo permanece desnudo durante el resto del ciclo de la vid, perdiendo la posibilidad de que la pastura contribuya a extraer los excesos de agua que se pudiesen ocasionar en la etapa de maduración de baya, los cuales son perjudiciales para la calidad final. Además, puede ocurrir un excesivo crecimiento vegetativo, llevando a las plantas a un desequilibrio. Una canopia muy densa genera problemas de aireación de racimos, lo que conlleva muchas veces a grandes pérdidas de rendimiento por ataque de patógenos como *Botrytis*. Sobre todo, en aquellas variedades que son más susceptibles como es el caso de Tannat (Ferrer et al., 2011).

Actualmente, el uso de herbicidas y productos de síntesis está en retroceso en la agricultura en general, debido a la exigencia de los consumidores por productos más amigables con el ambiente. El rubro vinícola no escapa a esto. Un ejemplo de ello es el programa de viticultura sostenible llevado a cabo por el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INAVI, s.f.), donde se promueve una disminución del uso de agroquímicos, basado en mitigar el riesgo para la salud de los trabajadores y la obtención de una materia prima inocua para la elaboración de vinos de alta calidad.

En un año típico en Uruguay, donde las precipitaciones rondan los 1300 mm anuales (Barreiro et al., 2019), se espera obtener plantas vigorosas, con un alto rendimiento potencial y presencia de podredumbres. Sobre todo, en viñedos implantados sobre suelos profundos, con elevada fertilidad natural y alta capacidad de retención hídrica.

Teniendo en cuenta lo antes planteado, se cree necesaria la búsqueda de estrategias que permitan mantener un crecimiento equilibrado de las plantas de vid, para lograr uvas de buena calidad enológica. Así como la reducción del uso de agroquímicos dentro del viñedo.

El objetivo de este trabajo es explicar la respuesta de la variedad Tannat, a distintas situaciones de competencia con pasturas, una de tipo gramínea y una leguminosa, como alternativas al manejo actual de la fila. Así como a diversas fuentes y formas de aplicación de nitrógeno (N). Todos los casos, acompañados de riego por goteo para, de esta forma, ejercer un mayor control del estado hídrico de las plantas. Se busca estudiar el efecto de la combinación de estas variables, tanto en rendimiento, como en el equilibrio fisiológico de la viña y en la composición final de las bayas.

El objetivo del uso de riego es permitir un buen desarrollo de la planta desde el inicio de la brotación, garantizando que la misma no sufra estrés hídrico hasta el envero. Mientras que las pasturas en la fila estarán encargadas de remover parte del agua del suelo, para permitir generar niveles crecientes de estrés hídrico en la vid hasta la maduración. Logrando, a través de este mecanismo, una concentración de los componentes de la uva. A su vez, el riego en este momento puede ser necesario en casos de sequía, donde la extracción de agua del suelo por parte de las pasturas sea mayor al necesario.

El uso de dos tipos de pasturas se justifica porque estas poseen diferentes sistemas radiculares. La festuca, tiene una mayor exploración de suelo, por lo que genera una competencia más importante durante todo el ciclo. En cambio, el trébol posee un sistema radicular más superficial, lo que lo hace menos restrictivo en épocas con menor disponibilidad hídrica. A su vez, al tratarse de una leguminosa, se pretende estudiar su capacidad de aportar nitrógeno mediante fijación biológica.

En tanto, las diferentes formas y fuentes de fertilización nitrogenada se utilizan para evaluar la más eficiente y con mayor capacidad de ser aprovechada por las plantas de vid. Tanto a nivel vegetativo como a nivel enológico.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 LA VITICULTURA NACIONAL Y LA VARIEDAD TANNAT

Si bien la viticultura uruguaya se encuentra en expansión hacia nuevas zonas no tradicionales, todavía cerca del 80 % de la superficie vitícola está ubicada en el sur del país. Fundamentalmente en el departamento de Canelones, donde se desarrolla el 66,5 % de la misma (INAVI, 2023).

El 26,5 % de la superficie vitícola nacional está ocupada por Tannat. Encontrándose el 67,7 % de dicha variedad, ubicada en el departamento de Canelones y, a su vez, también es la principal en la mayoría de los departamentos del país. Entre los años 2020 - 2023, obtuvo rendimientos promedio de 16.185 kg/ha, siendo una de las variedades que logra mayor producción (Instituto Nacional de Vitivinicultura [INAVI], 2023).

Tannat es considerada emblema de los vinos uruguayos, ya que tiene un potencial enológico que le permite aportar originalidad y tipicidad a los vinos. Está adaptada eco fisiológicamente al clima del país, teniendo el mayor contenido de polifenoles totales, azúcares y antocianos, en comparación con otras variedades de importancia nacional. Cabe aclarar que, la composición de las bayas y, por ende, el tipo de vino que es posible obtener, depende de las condiciones climáticas (González-Neves et al., 2006).

Se debe tener presente que, a pesar de estas cualidades, un problema o desventaja de la variedad Tannat es su compacidad de racimo, la cual se correlaciona positivamente con una alta susceptibilidad a podredumbres de racimo (Ferrer et al., 2011). No obstante, todas las características antes mencionadas hacen de esta una variedad muy valiosa para la investigación nacional.

2.2 CONTEXTO CLIMÁTICO ACTUAL

Las condiciones climáticas actuales están siendo modificadas por el cambio climático. Estos cambios se expresan fundamentalmente a través de las precipitaciones, la radiación y la temperatura. La combinación de estos factores conduce a un escenario complicado para la producción, puesto que, asociado a los aumentos de temperatura, se espera un incremento en la transpiración de las plantas. Con ello, una mayor evaporación del agua del suelo y, por ende, un menor reservorio (Schultz, 2000).

Ferrer et al. (2007) determinaron que la mayoría de las zonas delimitadas en Uruguay se encuentran dentro del índice de sequía moderado (IS1). Por otro lado, a lo largo del trabajo realizado por Fourment et al. (2013), donde se estudiaron distintos índices bioclimáticos en un período de 16 años, se hallaron cambios interesantes en estos y, a su vez, una repercusión en el comportamiento de la variedad Tannat. Dentro de los índices estudiados, se encontraron cambios notorios en el índice de sequía, donde existe una gran variabilidad interanual, desde años húmedos hasta otros con sequía moderada; predominando los años de clima húmedo y subhúmedo.

Actualmente, las precipitaciones en Uruguay suelen alcanzar los 1300 mm al año, distribuidos de manera equitativa en las cuatro estaciones (300 - 350 mm por

trimestre). Aun así, existen diferencias en la distribución de estas, tanto en el tiempo como en el espacio, siendo menor el contenido y la variabilidad en la zona sur del país. A su vez, existe una gran variabilidad interanual, que se ve más marcada al norte del Río Negro, pudiendo triplicar la cantidad de lluvia de un año a otro (Barreiro et al., 2019). Históricamente, la precipitación media anual registrada para la zona de Canelones se encuentra alrededor de 1100 mm (Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], s.f.).

Asimismo, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Bidegain et al., 2013), se espera un incremento en la precipitación anual de un 10 - 20 %, sobre todo en las estaciones cálidas, también con un incremento de la variabilidad interanual. Sumado a esto, Barreiro et al. (2019), plantean que existe una gran tendencia al incremento en las precipitaciones más marcado en el sur del Río Negro, siendo de un 15 - 20% en total. Este mismo autor señala que para los días con precipitaciones por encima del promedio, considerados eventos extremos, se prevé un incremento del 5 al 10 % a nivel país, fundamentalmente en otoño.

El clima cálido y un buen régimen de precipitaciones en la estación de crecimiento, promueven altas tasas de crecimiento vegetativo, convirtiéndose en canopias densas y desequilibradas con facilidad (Coniberti, 2018). Las variaciones en las condiciones climáticas, generan cambios en el ciclo anual, pudiendo afectar, la composición final de las bayas, el desarrollo vegetativo, la duración de maduración y, por ende, el rendimiento y sus componentes. La temperatura y el componente hídrico son los aspectos que tienen mayor influencia en la modificación del ciclo del cultivo; fundamentalmente el balance hídrico, la cantidad de precipitaciones durante el crecimiento vegetativo y los grados días durante maduración (Ferrer et al., 2011).

El incremento de las precipitaciones es importante dado a que tiene efecto negativo en la composición de las bayas y en el aspecto sanitario del viñedo. Implicando un cambio en el manejo, puesto que los problemas a enfrentar serán diferentes. Según lo estudiado por Fourment et al. (2013), las condiciones climáticas actuales son buenas para la composición y calidad de la producción, pero se debe tener en cuenta que se tiende a un clima con temperaturas más cálidas, lo cual traerá aparejado un cambio en la composición de las bayas.

Según Martínez de Toda (2019), el cambio climático afecta la viticultura por los aumentos en la temperatura que se ven reflejados en la composición del vino, entre otras cosas, por aumentos en el contenido de alcohol. Las temperaturas entre 25 y 30°C son óptimas para la fotosíntesis, y permiten incrementos en la acumulación de azúcares. Mientras que Van Leeuwen et al. (2018) señalan que, si las bayas maduran muy temprano en un clima cálido, tendrán alto contenido de azúcar y bajo contenido de ácidos, generando que el vino carezca de complejidad y frescura.

Todos los aspectos resaltados por estos autores, llevan a la conclusión de que es necesario adoptar medidas diferentes de manejo, principalmente del suelo. Ya que incrementos en la temperatura, harán aumentar la evapotranspiración y disminuir el contenido de agua y MO del mismo. Se debe procurar que esto no se convierta en un problema mayor. Así mismo, asociado a los incrementos en precipitaciones y su variabilidad, se evidencia la necesidad de hallar medidas de control del estatus hídrico y crecimiento vegetativo de la vid.

Para enfrentar la variabilidad, por ejemplo, en el caso de las precipitaciones, se deben adoptar medidas de manejo que sean flexibles y se puedan adaptar año a año a las situaciones establecidas, ya que las estrategias rígidas aumentan las probabilidades de fracaso (Coniberti, 2018).

2.3 MANEJO TRADICIONAL DE SUELOS

La producción tradicional de uvas en Uruguay está enfocada a manejos que conserven el agua del suelo (Coniberti, 2018), esto es consecuencia de que aproximadamente un 70% del cultivo se desarrolla en secano (N. Merino, comunicación personal, 14 de mayo, 2023).

Como práctica generalizada se mantiene empastada la entrefila, ya sea con alguna pastura sembrada o con vegetación espontánea. Pero siempre se realizan algunas pasadas de rotativa en momentos clave, para mantener el microclima del viñedo y también para facilitar la operativa de cosecha. Mientras que en la fila lo más común es la aplicación de una faja de herbicida que abarca entre 0,8 y 1 metro bajo las plantas, manteniendo el suelo descubierto principalmente durante el ciclo de crecimiento de la vid (A. Coniberti, comunicación personal, 6 de abril, 2022).

El herbicida se aplica en julio - agosto, con el fin de que la vid comience el ciclo sin ninguna competencia. A su vez, pueden realizarse otras aplicaciones si las malezas no fueron correctamente eliminadas con la primera aplicación, o para aquellas malezas que nacieron posteriormente (N. Merino, comunicación personal, 19 de setiembre, 2024).

Los principios activos utilizados y recomendados por las normas para la producción integrada de uva para vino (Imperiale et al., 2023) son el Glifosato y Glufosinato de Amonio, este último utilizado como herramienta desecante y para malezas resistentes al Glifosato. A su vez, existen otros que se pueden utilizar por única vez en cada temporada de crecimiento como pre-emergentes.

Otra opción es mantener una cubierta vegetal total, esta también puede ser manteniendo la vegetación espontánea o mediante siembras de pasturas, ya sean anuales en momentos estratégicos, o perennes (A. Coniberti, comunicación personal, 6 de abril, 2022). Esta práctica está siendo incentivada por ser una alternativa más amigable con el ambiente.

En cuanto a las fertilizaciones, según las normas de producción integrada, se debe realizar un plan anual de fertilización, el cual posee un límite máximo de 100 unidades de nitrógeno por hectárea por año. Este podría ser superior si se reporta sintomatología de déficit. Las fertilizaciones son realizadas tanto con fertilizantes químicos como orgánicos. Estos primeros pueden ser aplicados tanto al suelo como de forma foliar, acompañando las curas realizadas. A su vez, se recomienda que el plan de fertilización anual sea en base al peso de poda, con el fin de tener viñedos equilibrados y, por ende, cosechas de buena calidad. Según las normas, no está permitido fertilizar con nitrógeno en ausencia de datos de desarrollo vegetativo (Imperiale et al., 2023).

2.4 IMPORTANCIA DE LOS SUELOS EN EL VIÑEDO

Los suelos son el sostén de los viñedos, aportando nutrientes y agua para el crecimiento de la vid. En la región de Montevideo rural y Canelones, predominan los suelos profundos y de texturas medias a pesadas, como son los Brunosoles y Vertisoles, con gran capacidad de retención de agua. Echeverría et al. (2017a) establecen que suelos profundos y de textura fina generan mayores crecimientos vegetativos y rendimientos, pero también más problemas sanitarios. El tipo de suelo tiene efecto en el desarrollo radicular y, particularmente en el caso de los vertisoles, estos son suelos muy profundos con un alto contenido de arcilla, poseen una gran microporosidad, por lo que la penetración de las raíces se ve afectada, así como el movimiento del agua (Tomaz et al., 2015).

La capacidad de retención de agua del suelo es un aspecto clave a la hora de analizar el suministro de agua que tendrá el viñedo a lo largo del ciclo de crecimiento, ya que tiene efecto no solo en la composición, sino también en otros aspectos como la duración de las etapas fenológicas y en componentes del rendimiento (Ferrer et al., 2011).

Según Deloire y Pellegrino (2021), esta capacidad de retención de agua depende en gran medida de la profundidad de arraigamiento, la textura del suelo y la proporción de material grueso. Suelos con texturas más pesadas tienen mayor capacidad de retención hídrica, pero pueden tener estratos impermeables que dificulten el crecimiento de raíces de la vid.

Según Echeverría et al. (2017a), la profundidad del suelo es el factor más determinante en el parámetro agua disponible, junto con la textura, y ambos se deben al origen geológico. Otro parámetro que está implicado en la determinación del agua disponible es el contenido de materia orgánica, puesto que afecta diversos aspectos del suelo como la estructura y porosidad, permitiendo almacenar mayor contenido de agua y mejorar la fertilidad y microbiología del suelo (Echeverría et al., 2017a).

El agua que las plantas tienen disponible, es la que se encuentra en la zona de las raíces absorbentes. Si el suelo tiene gran profundidad, pero las raíces no son capaces de acceder, la cantidad de agua disponible se reduce considerablemente (Lakso & Pool, 2005; Smart et al., 2006). Esta se correlaciona positivamente tanto con aspectos de rendimiento y composición de baya, así como con el vigor de las plantas (Echeverría et al., 2017a).

Es clave remarcar la influencia que tienen los manejos del suelo en la modificación de la microbiota, tanto a nivel de biomasa como de la propia actividad. Manejos que promuevan el incremento de materia orgánica, también promueven el aumento de biomasa y actividad microbiana (Volpiano et al., 2022). Van Leeuwen et al. (2018) establecen que para considerar que un suelo está sano, debe poseer un nivel mínimo aceptable de actividad microbiana y destacan el papel que tienen los microorganismos en la mineralización de la materia orgánica, dejando disponibles nutrientes importantes como el nitrógeno.

Un suelo empobrecido en nutrientes tiene como consecuencias una disminución en la actividad microbiana, estando más expuesto al ataque de patógenos y a un desbalance de nutrientes, teniendo repercusión directa en el crecimiento de las plantas ya que, a nivel general, se entiende a la comunidad microbiana y al suelo como promotor del crecimiento de las plantas (Volpiano et al., 2022).

Las condiciones químicas del suelo son las que determinan el nivel de nutrientes disponibles para el crecimiento de la planta; siendo el pH un aspecto determinante para la absorción de los mismos. Serra-Stepke y Carey (2010) lo señalan como un factor limitante tanto en el crecimiento de raíces como en la disponibilidad de nutrientes, destacando que, en pH ácidos, se ve comprometida la capacidad de absorción.

Según Hidalgo (1999) el nitrógeno es fácilmente absorbido en valores neutros, mientras que el fósforo, potasio y magnesio son mejor absorbidos de suelos ligeramente alcalinos. Niveles muy bajos de pH pueden generar deficiencias de nutrientes como calcio, fósforo y magnesio, e incluso toxicidad por elementos como aluminio o manganeso. Asociado a esto, Spring et al. (2003) señalan que valores de pH entre 5,3 y 5,8 se consideran ácidos para el crecimiento de la vid y los pH menores a 5,8 conllevan problemas en la descomposición de la materia orgánica, debido a la alteración biológica.

2.4.1 Sistema radicular de la vid

La estructura radicular de la vid está determinada por el portainjerto y el tipo de suelo en el que se desarrolle, dado que este determina el suministro de agua y nutrientes, así como la profundidad a la que se establecerán las raíces (Deloire et al., 2004). Además de la textura y profundidad del suelo, es clave tener una buena estructura del mismo para garantizar un crecimiento adecuado de las raíces (Echeverría et al., 2017a).

Las raíces se pueden agrupar según su diámetro y función principal. Las de mayor diámetro (> 2 mm), son consideradas principales. Estas representan un gran porcentaje de la biomasa radicular y tienen funciones estructurales, de transporte y almacenamiento. Mientras que, las finas (≤ 2 mm) tienen como función la absorción de nutrientes y agua (De Herralde et al., 2010).

Según Smart et al. (2006), en los primeros 60 cm de suelo se encuentran alrededor del 63% de las raíces de la vid, y dentro del primer metro, está aproximadamente el 80% de las mismas. De igual forma, Tomaz et al. (2015) hallaron que la mayoría de las raíces se encontraban en los primeros 20 a 50 cm de profundidad. Las raíces finas se destacan por su gran capacidad de desarrollo vertical, logrando alcanzar profundidades de hasta 2,5 m. El nivel de desarrollo de estas raíces se ajusta año a año en función del estado hídrico del suelo.

Van Leeuwen et al. (2018) señalan que vides con arraigamiento profundo, pueden tener mayor acceso a agua y nitrógeno, lo que repercutiría negativamente en la calidad del vino, por un incremento en el rendimiento y vigor de la planta. A su vez, tampoco sería recomendable contar con raíces abundantes en los primeros 20 cm del suelo, ya que podría provocar un efecto de dilución si hay lluvias cercanas a la fecha de cosecha.

Además de la distribución radicular es importante conocer los patrones de crecimiento y desarrollo de las raíces. Según lo observado por Ibacache y Lobato (1995, como se cita en Ferreyra et al., 2001), se determinaron dos picos de crecimiento. El primero y de mayor magnitud ocurre post brotación y alcanza el máximo crecimiento al final de la floración. Mientras que, el segundo pico de crecimiento se da entre poscosecha y caída de hojas. De esta forma se constituye un crecimiento del tipo bimodal; sin embargo, Radvile et al. (2016) exponen en su trabajo que el crecimiento radicular varía año a año, y no se puede predecir de forma certera en base a las fases fenológicas aéreas.

Por lo tanto, el patrón bimodal comúnmente utilizado no siempre es confiable. En este mismo trabajo, se observó que el mayor crecimiento de raíces ocurrió entre la floración y el envero o la maduración, siendo un período fuera del patrón bimodal.

De acuerdo con esto, Keller (2015) señala que, si bien existe una competencia por fotoasimilados, las raíces pueden crecer mientras se da un crecimiento vigoroso de la vid, siempre y cuando haya nutrientes y agua no limitantes. Además, advierte que una disminución en la cantidad de área foliar, repercute directamente en el crecimiento del sistema radicular, inhibiéndolo más que una competencia con brotes o frutos.

2.5 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

Es fundamental determinar cuáles son los nutrientes necesarios y en qué cantidades son requeridos, para lograr mantener el equilibrio de la planta en cuanto a crecimiento vegetativo/reproductivo y cantidad/calidad de uva deseada. La fertilización es una de las tareas de mayor trascendencia en cuanto a los cuidados culturales que se deben realizar anualmente, ya que este factor influye, entre otras cosas, de forma directa en el rendimiento (Ferraro Olmos, 1983).

De los elementos minerales del suelo, la vid extrae cantidades relativamente importantes de algunos nutrientes considerados macronutrientes, como son el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio; y extrae pequeñas cantidades de los micronutrientes. El déficit de cualquiera de estos en el suelo puede generar carencias en la planta, así como un exceso puede producir toxicidad (Hidalgo, 1999). Para poder controlar los niveles nutricionales en planta, es recomendable realizar un muestreo de hojas durante el envero, ya que es el momento donde los elementos se encuentran más estables a nivel foliar (Spring et al., 2003).

La capacidad de absorción de nutrientes dependerá no solo del contenido que pueda existir en el suelo, sino también del régimen hídrico, la profundidad de enraizamiento, la estructura del suelo y la actividad biológica que haya en el mismo, por ende, a la hora de analizar la nutrición de la vid, es importante poder tener un estudio conjunto de los niveles de minerales en el suelo, así como de los niveles minerales foliares (Spring et al., 2003).

El suelo influye con la textura, estructura, pH y fertilidad natural. La materia orgánica aporta al suelo macro y micronutrientes a través de la descomposición. Para que esto ocurra, se debe contar con oxígeno, humedad y temperaturas adecuadas, así como con la presencia de microorganismos. Suelos con altos contenidos de materia

orgánica son menos adecuados para la producción de uva de calidad (Hidalgo, 1999). Spring et al. (2003) plantean que en suelos con contenidos de arcilla mayores a 30 %, se considera como valor normal de materia orgánica un 2,9 %, a su vez, estos retienen más intensamente el fósforo y el potasio, mientras que los suelos arenosos facilitan las pérdidas de nitrógeno y magnesio por percolación (Hidalgo, 1999).

Una disminución en el contenido de humedad del suelo puede afectar la actividad microbiana, por ende, reducir la descomposición de la materia orgánica, así como dificultar el transporte y la absorción de nutrientes por parte de las raíces. Esto hace que una mayor parte de la demanda de nutrientes que tienen las distintas partes de la planta, sean resueltas a través de la movilización de reservas, por ejemplo, ante un estrés hídrico (Keller, 2015).

2.5.1 Fertilización nitrogenada

Al momento de fertilizar hay que tener presente que el fertilizante aplicado se ve inicialmente reflejado en la formación de tejidos leñosos y radicales, así como en la acumulación de reservas y, por último, se manifiesta en la producción (Ferraro Olmos, 1983). Así mismo, es importante considerar que no solo se afecta la cosecha del año, sino también la del año siguiente a través de la formación de yemas y de la acumulación de reservas (Hidalgo, 1999).

Dentro de los elementos nutritivos, el nitrógeno es un nutriente muy importante para todos los cultivos. En particular los niveles de fertilización nitrogenada influyen sobre la vid en su vigor, rendimiento, así como en el contenido de metabolitos primarios y secundarios (Ferraro Olmos, 1983; Keller, 2010).

La falta de nitrógeno trae como consecuencias un debilitamiento general de la planta, amarillamiento por disminución de la clorofila, corrimiento por una deficiente fecundación y una disminución en el rendimiento. Mientras que un exceso provoca un crecimiento vegetativo vigoroso, dificulta el agostamiento de los pámpanos, retraso en el envero y la maduración. Al incrementar el rendimiento, la calidad se ve afectada por un menor contenido de azúcares y mayor susceptibilidad de la piel a los patógenos y a la manipulación en cosecha (Hidalgo, 1999).

Las vides contienen aproximadamente 1,5 % de nitrógeno como parte de su peso seco. Este nutriente tiene un rol clave en el desarrollo de la planta, ya que forma parte de las proteínas, aminoácidos y la clorofila (Verdenal et al., 2021). Pero las sobre-fertilizaciones nitrogenadas, implican una mayor demanda de manejos en verde por excesivo vigor, además de tener un efecto negativo en la calidad de baya y, por ende, en la calidad del vino. Es por ello que se considera fundamental la optimización de la fertilización nitrogenada, para obtener producciones que sean de calidad y sostenibles en el tiempo (Coniberti, 2018; Van Leeuwen et al., 2018).

Conradie (1980) en sus ensayos detectó que la vid tiene dos períodos de absorción de nitrógeno. El primero se da luego de la brotación, por lo que el autor recomienda no realizar aplicaciones de fertilizantes muy temprano en la primavera, ya que se corre el riesgo de que el nutriente quede fuera del alcance de las raíces. El

segundo pico de absorción se da en la poscosecha, acompañado de un crecimiento radicular.

Al momento de fertilizar las vides, hay que tener presente que estas se benefician de la aplicación de nitrógeno sólo en dos circunstancias, por un lado, para aliviar deficiencias y, por otro lado, cuando el aporte que se realiza es para equiparar las extracciones. Si no existe una necesidad de fertilización, la aplicación de esta puede generar efectos contraproducentes como excesivo desarrollo vegetativo y mayor susceptibilidad a hongos (Bell & Henschke, 2005). La utilización de fertilizantes sintéticos de manera excesiva, podría incrementar la susceptibilidad de las plantas a enfermedades, por un efecto indirecto de modificación de la biomasa microbiana (Volpiano et al., 2022).

2.5.1.1 Tipos de fertilización

La fertilización del viñedo se puede realizar de distintas formas. El tipo de fertilización más común es la incorporación de nutrientes al suelo. El método de aplicación varía dependiendo del tipo de abono utilizado y su forma de presentación (líquido, granulado, etc.), pudiendo ser fertilización directa al suelo o a través de fertirriego. Asimismo, teniendo en cuenta que las raíces no son el único órgano capaz de absorber nutrientes, también se pueden realizar fertilizaciones foliares (Ferraro Olmos, 1983).

Algunas de las ventajas de la fertilización foliar son su rápida absorción y translocación de los nutrientes en la planta, evitar la inmovilización en el suelo y la competencia por parte de las malezas. Además de que se independiza de las características intrínsecas del suelo que, en ciertas ocasiones, pueden influir de forma negativa en la asimilación y absorción de los nutrientes. Otra ventaja de este tipo de fertilizaciones, es que se puede aplicar en cualquier momento del ciclo donde haya follaje, teniendo presente que las hojas jóvenes son las que absorben los nutrientes más rápidamente (Ferraro Olmos, 1983).

La urea es un fertilizante que puede utilizarse tanto para aplicar al suelo como de manera foliar. El nitrógeno aplicado se transforma en amoniacal y nítrico luego de un proceso de hidrólisis, por lo que es necesario que haya algo de humedad en el suelo para el correcto aprovechamiento por parte de la planta (Hidalgo, 1999).

Existen fertilizantes especialmente diseñados para ser aplicados de forma foliar. Un ejemplo de fertilizante foliar nitrogenado es el Controlled Release Nitrogen (CoRoN), el cual tiene una liberación controlada del nutriente, permitiendo nutrir a las plantas durante semanas. Una ventaja de los fertilizantes foliares en general, es que las aplicaciones pueden realizarse de forma conjunta con la de otros tratamientos fitosanitarios, permitiendo realizar un mayor aprovechamiento de la mano de obra y maquinaria (Hidalgo, 1999).

En el caso particular del nitrógeno, cuando es aportado de manera foliar, se absorbe más rápidamente que cuando se aplica al suelo y es mejor aprovechado en las épocas de mayor demanda de la vid (Ferraro Olmos, 1983). Según estudios realizados por Verdenal et al. (2015), el 90 % del nitrógeno orgánico presente en las bayas al

momento de la cosecha proviene de fuentes diferentes a la fertilización foliar aplicada durante el ciclo, por ejemplo, del suelo o de las reservas. Asimismo, en un ensayo posterior, se encontró que un 48 % de la urea foliar aplicada había sido asimilada por las plantas de vid, siendo un resultado superior a los antes reportados (Verdenal et al., 2016).

La repartición del N foliar aplicado se podría vincular con la relación fuente/fosa (rel F/F). Según Verdenal et al. (2016) cuando las plantas tienen 0,5 m²/kg o menos, aproximadamente el 50 % del N foliar aplicado es dirigido a las bayas, mientras que cuando la rel F/F es de 1,5 m²/kg o superior, solo el 23 % del nitrógeno se utiliza por los racimos. Esto señala la importancia del equilibrio fisiológico, dado que se pueden producir mostos deficientes en nitrógeno fácilmente asimilable (FAN), pese a tener alta disponibilidad de nitrógeno en suelo, cuando se parte de vides vigorosas.

El contenido de FAN en mosto es muy importante ya que es la fracción de nitrógeno utilizada por las levaduras en la fermentación, afectando la velocidad del proceso y, por lo tanto, la calidad del vino resultante. Bell y Henschke (2005), luego de una revisión de varios autores, concluyeron que una concentración promedio de 140 mg/L es el valor mínimo de FAN adecuado para que se lleve a cabo una fermentación completa del mosto.

Siguiendo con esto, las aplicaciones de urea foliar en envero demostraron tener un efecto positivo sobre el contenido de FAN, sin afectar el vigor de la planta (Cheng et al., 2020; Verdenal et al., 2016). En estudios posteriores, se vieron los mismos efectos cuando se hacían aplicaciones de N foliar en plantas sobre suelos con deficiencia de este nutriente (Cheng et al., 2022).

A su vez, Pérez-Álvarez et al. (2016), encontraron que las aplicaciones foliares no tienen efecto sobre el rendimiento, pH, alcohol probable y acidez total (AT). Posteriormente, Portu et al. (2017), demostraron que tampoco tiene efectos sobre el Índice de Ravaz (peso de uva/peso de poda), indicando que no se afecta el equilibrio entre el rendimiento y el crecimiento vegetativo. Cheng et al. (2022) atribuyen estos resultados a que las cantidades de nitrógeno aplicadas en la fertilización foliar no son suficientes para provocar cambios en el rendimiento.

También se debe tener presente que existe un aprovechamiento diferencial según el momento de aplicación del nitrógeno. Por ejemplo, cuando la aplicación del fertilizante foliar se realiza durante la floración existe mayor competencia entre los órganos reproductivos y vegetativos. Infiriendo que los racimos aprovechan más cuando el nitrógeno es aplicado en el envero (Verdenal et al., 2015).

2.6 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

Como todo cultivo, la vid tiene requerimientos hídricos mínimos para funcionar y producir. Estos se deben tener cubiertos ya que, dependiendo del momento fenológico donde ocurra un estrés hídrico, se puede afectar de manera severa a la planta. Según Deloire y Pellegrino (2021) la vid requiere entre 450 y 550 mm durante el ciclo de crecimiento. Estos requerimientos varían durante las diferentes etapas fenológicas. La

etapa de mayores requerimientos es entre floración y envero, período donde se da el máximo desarrollo de las bayas (Martínez et al., 2016).

Estudios realizados por Van Leeuwen et al. (2004) permiten entender que aspectos relacionados a la alimentación hídrica tienen gran influencia en modificar el vigor de las plantas, así como en el potencial enológico de las mismas. Esto lo relaciona fundamentalmente con la capacidad de retención hídrica del suelo en el que se encuentren. A su vez, algunos autores señalan que, según el estado de hidratación de la planta, se puede determinar un balance óptimo entre rendimiento, crecimiento vegetativo y composición de la uva. Es decir, fuente, fosa y composición (Dry & Loveys, 1998).

Según Lakso y Pool (2005), para un vino de calidad, es necesario garantizar un suministro de agua suficiente para establecer el área foliar en el período de crecimiento vegetativo, acompañado de un estrés hídrico posterior, que permita una detención del crecimiento, pero sin afectar la fotosíntesis para una maduración adecuada de las bayas.

2.6.1 Riego

Ojeda (2007) plantea la utilización de diferentes estrategias de riego en función de los objetivos del viñedo. Para la planificación de estos, se deben tener presentes algunos puntos fundamentales, entre ellos el tiempo o duración del riego. Este determina el volumen de agua que se va a aportar, el cual debe alcanzar para cubrir las pérdidas generadas por evapotranspiración desde el último riego o lluvia. A su vez, la frecuencia de los riegos se determina a partir del contenido de humedad disponible entre un riego y otro (Buitrago, s.f.).

Coniberti (2018) en su tesis de doctorado, propone el uso de riego como herramienta frente a eventos climáticos extremos, como pueden ser las sequías estivales. Además, en el caso de la utilización de cubiertas vegetales, el riego y la fertilización permiten regular el efecto de competencia, ayudando a evitar pérdidas de rendimiento y calidad en casos de estrés severo.

2.6.2 Efectos del estrés hídrico en las diferentes etapas fenológicas

Lo primero que se ve afectado ante un estrés hídrico es el crecimiento vegetativo (Ojeda, 2007). Esto se da por una reasignación de la energía hacia las raíces, con el fin de lograr aumentar el crecimiento de las mismas y conseguir más agua. Como consecuencia de esto, hay un menor crecimiento del dosel, es decir, menor superficie foliar, por lo cual se aprecian disminuciones en la fotosíntesis (Levin, Matthews et al., 2020).

El período de mayor exigencia hídrica, es el de floración – envero, donde la planta absorbe el 48,2 % del agua total. Garantizar el acceso hídrico en esa fase, es determinante para el rendimiento y la calidad de la baya, puesto que un déficit hídrico influye en la diferenciación de flores, cuajado de flores y frutos, así como en el tamaño de bayas (Keller, 2010).

De los componentes del rendimiento, el peso por baya es el parámetro que primero se afecta ante un déficit hídrico, seguido por el número de racimos por planta, y en tercer lugar el número de bayas por racimo, por lo que este parámetro sería más determinado por factores genéticos (Levin, Matthews et al., 2020).

Según Levin, Matthews et al. (2020), los déficits hídricos previos al envero afectan el rendimiento por dos ciclos de crecimiento. En el ciclo en curso por disminuciones en el peso de baya y en el ciclo siguiente por la disminución en el número de racimos por planta. Cabe aclarar que el déficit hídrico alrededor de la etapa de floración es raro, salvo en regiones áridas o semiáridas con precipitaciones menores a los 500 mm anuales (Levin, Deloire et al., 2020).

Post floración un déficit hídrico moderado es deseado para reducir el crecimiento vegetativo excesivo, pero sin llegar a afectar la asimilación de carbono (C) (Vanden Heuvel & Centinari, 2021). Entre cuajado y envero, una restricción hídrica moderada podría significar una reducción en el tamaño de bayas y, por ende, una concentración de los polifenoles. Cabe destacar que un estrés severo en esta misma etapa, podría implicar una disminución irreversible y afectar de sobremanera la biosíntesis de compuestos de gran importancia enológica. A su vez, se puede ver afectada la absorción de nutrientes por parte de las raíces, puesto que la mayor absorción ocurre en este período (Keller, 2005).

Durante el período de maduración, el estado hídrico afecta fundamentalmente el rendimiento y la calidad enológica de las bayas. Un estrés moderado originaría vinos de carácter equilibrados, mientras que la ausencia de estrés puede conducir a vinos herbáceos con una dilución de los compuestos, y un estrés severo podría implicar vinos tánicos y astringentes (Ojeda, 2007).

En tanto, en la etapa de poscosecha también tiene consecuencias, según Prats-Llinás et al. (2019), se observó una caída de hojas anticipada en vides con estrés en esta etapa frente a plantas que no lo padecieron. Esto tiene implicancias en el nivel de acumulación de carbohidratos, así como en la formación de nuevas raíces, impactando en el ciclo de crecimiento posterior. También se puede afectar al siguiente ciclo a través de una disminución de la fertilidad de yemas y, por consiguiente, el rendimiento del año consecutivo al déficit (Levin, Deloire et al., 2020). Además de la disminución del cuajado de frutos, el déficit hídrico puede provocar millerandage en el ciclo siguiente (Deloire & Pellegrino, 2021).

Gambetta et al. (2020) establecen que niveles de potencial hídrico de tallo de -1,2 a -1,4 MPa, son los frecuentemente utilizados cuando se manejan déficits hídricos controlados en los viñedos. Con estos, se logra disminuir la conductancia estomática, la transpiración, la fotosíntesis y el rendimiento. Mientras que con niveles mayores de estrés (-1,6 MPa) se pueden ver pérdidas de turgencia y problemas de cavitación, generando caída de hojas, hasta incluso muerte de plantas. Aun así, señala que la vid presenta una estrategia que le permite, ante un estrés hídrico severo, preservar la estructura perenne (tronco y sarmientos), generando una caída de hojas.

En resumen, el efecto de un estrés hídrico varía según el momento del ciclo en el que ocurre, la duración del mismo y la severidad; influyendo de manera diferencial en

el rendimiento final, tanto a nivel tamaño de baya como en la composición de la misma. A su vez, la respuesta de la vid también varía en función de estos parámetros. Dada la plasticidad celular que posee, su respuesta está dirigida a cambiar la partición de asimilados en función de los órganos que tengan mayor capacidad de adquirir el recurso limitante. Por ende, ante un estrés hídrico la planta tiende a desarrollar más las raíces, a expensas del crecimiento foliar o reproductivo (Keller, 2015).

Sumado a esto, es de destacar que, en caso de que el estrés sea revertido, la partición de asimilados se modificará nuevamente, apuntando al crecimiento de órganos capaces de adquirir otro recurso más limitante. Con esto, se entiende que las respuestas de la vid están más dirigidas a una redirección del crecimiento que a una disminución del crecimiento general (Keller, 2015).

Esta redirección del crecimiento está asociada al contenido y balance hormonal en los distintos órganos de la planta; siendo el ácido abscísico (ABA) la hormona referente del estrés. Ante una situación de estrés abiótico, como el estrés hídrico, lo primero que se detiene son la expansión y división celular. A mayor severidad del estrés, la planta tiende a incrementar el contenido de ABA, así como a acumular solutos en las células, generando una deshidratación que promueve la absorción de agua o bien, disminuye la pérdida excesiva de la misma (Keller, 2015).

Es de destacar que ante la presencia de fosas en activo crecimiento cuando ocurre la situación de estrés, puede ocurrir, si la absorción radicular es insuficiente, la removilización de nutrientes de otras partes de la planta, iniciando la senescencia. Esto dependerá de la capacidad de fosa de los distintos órganos en crecimiento, pero, la removilización puede ser destinada a hojas jóvenes, raíces o racimos (Keller, 2015).

2.7 EQUILIBRIO FISIOLÓGICO DE LA PLANTA: RELACIÓN FUENTE/FOSA

La rel F/F, medida como área foliar expuesta por cantidad de frutos (m^2/kg). Es un parámetro que mide, por un lado, la fuente de nutrientes, es decir, la cantidad de carbohidratos que quedan disponibles luego del proceso de fotosíntesis para el crecimiento de la vid, tanto vegetativo como reproductivo. Por otro lado, los racimos, son quienes consumen esos nutrientes para lograr su crecimiento y maduración (Kliewer & Dokoozlian, 2005).

Diversos autores citan la relación entre la superficie foliar y el rendimiento como un indicador del equilibrio fisiológico de la planta. Este es clave dado que afecta aspectos como la calidad y cantidad de uva que es capaz de producir una planta y, por ende, su potencial enológico (Ferrer et al., 2008). En un ensayo llevado a cabo por Salvarrey (2016) se observó que los compuestos primarios (azúcares y ácidos) y secundarios (polifenoles totales), se vieron favorecidos por modificaciones (aumento) en la rel F/F a través del raleo en envero. En particular, el azúcar mostró un aumento en la síntesis y acumulación.

De acuerdo con Echeverría et al. (2017b), tanto el manejo de la canopia, como la rel F/F deben ser adaptadas a cada entorno particular y a los requerimientos de los diferentes cultivares. En un estudio realizado por estos mismos autores, determinaron que esta relación mostró una influencia lineal con la síntesis de componentes primarios

de las bayas. Se vio que valores crecientes de fuente/fosa, hasta 0,80 m²/kg de uva, generaban aumentos en la síntesis de sólidos solubles, con disminuciones en la acidez total. Mientras que, cuando la rel F/F es mayor a dicho valor, la tendencia es inversa, y la concentración de acidez total alcanza su punto máximo.

En cuanto a los compuestos fenólicos, específicamente las antocianinas, muestran un aumento con valores crecientes de superficie foliar/rendimiento, hasta el valor de 0,80 m²/kg. Sobrepasando este valor, hay un aumento del follaje, lo cual disminuye los racimos que quedan expuestos al sol, reduciendo de esta forma la síntesis y acumulación de las antocianinas. En este mismo estudio, se determinó que los niveles de rel F/F que lograron los mejores resultados en cuanto a composición de baya, generaron menores rendimientos con similares valores de superficie foliar expuesta potencial (SFEp) (Echeverría et al., 2017b).

En cuanto a la SFEp, niveles de 1,63 m²/pl, en conjunto con rel F/F entre 0,60 y 0,80 m²/kg, para la variedad Tannat plantada en espaldera garantizan, en general, la correcta maduración de las bayas (Echeverría et al., 2017b), además de una cantidad de FAN adecuada para la fermentación, así como reponer la acumulación de reservas en los diferentes órganos de la planta (Verdenal et al., 2016).

Para conseguir vinos de alta calidad se requiere partir de viñedos equilibrados. Estos se podrían definir teniendo en cuenta indicadores como el índice de Ravaz, donde en general valores más bajos se relacionan con uva para vinos de calidad (Coniberti et al., 2014). Kliewer y Dokoozlian, (2005) y Ferrer et al. (2011) señalan que las vides equilibradas son aquellas que presentan valores entre 4 y 10.

Otro indicador frecuentemente utilizado es el área foliar por carga (área foliar / carga de fruta), el cual se relaciona de forma inversa con Ravaz (Coniberti et al., 2014). En una serie de experimentos, sobre varios cultivares, se determinó que se necesitaban entre 0,8 y 1,2 m² de área foliar por kg de fruta, para lograr la correcta maduración en espalderas, es decir, para alcanzar el máximo de sólidos solubles totales (SST), peso y coloración de baya (Kliewer & Dokoozlian, 2005).

Coniberti, Ferrari, Disegna, García Petillo et al. (2018) señalan que, para las condiciones climáticas de Uruguay, se obtiene un crecimiento óptimo de la vid con un peso de poda entre 0,5 - 0,6 kg/m. Con estos valores se logra alcanzar un equilibrio entre rendimiento, maduración de fruto y susceptibilidad a Botrytis.

Se debe tener presente que estos índices no consideran qué proporción de esas hojas son funcionales. Es decir, que dichos indicadores se encuentren en valores óptimos, habla del equilibrio de la planta, pero no de la distribución del follaje. Por lo tanto, se podrían encontrar áreas excesivamente sombreadas, las cuales no son beneficiosas para la óptima maduración de las bayas (Coniberti et al., 2014).

Según Reynolds (2000, como se cita en Coniberti et al., 2014) el microclima de la canopia está determinado por parámetros como el portainjerto, el sistema de poda, el manejo del suelo y la fertilización, entre otros aspectos que ayudan a determinar la composición final de la uva. Salvarrey (2016) afirma que el raleo de racimos, cuando no

se presentan restricciones hídricas durante la maduración, es la técnica más efectiva para modificar el microclima de la canopia.

2.8 EFECTOS DEL USO DE HERBICIDAS

En un principio, la eliminación de malezas se hacía por laboreo. Luego de la creación de los herbicidas, estos sustituyeron las labores mecánicas ya que permiten disminuir el costo de mano de obra y el tiempo empleado. A su vez, elimina otros problemas como la formación de suelo de arado, germinación de semillas de algunas malezas, corte de raíces y heridas en tronco, entre otros (Hidalgo, 1999).

Pero, con el uso de herbicidas se incorporan algunos nuevos problemas como el riesgo de fitotoxicidad en los casos donde la dosificación, el método o momento de aplicación no sean los adecuados. Además, cada vez es más frecuente el problema de la presencia de variedades resistentes (Hidalgo, 1999). Es por estos y otros motivos, que se buscan alternativas al uso de agroquímicos, enfocándose en una producción vitícola más sostenible.

El uso de herbicida está muy extendido en la producción vitícola, principalmente aplicado en la fila, para evitar competencia de la vid con malezas. Según Lennartz et al. (1997), esto puede implicar grandes problemas a largo plazo, tales como contaminación de aguas superficiales y subterráneas, como su acumulación en el suelo y daño de raíces de la viña.

Las aplicaciones de herbicida generan en el suelo pérdidas de materia orgánica, así como del carbono orgánico (COS) (Vanden Heuvel & Centinari, 2021). También producen compactación del suelo; en un ensayo se comparó la resistencia a la penetración entre coberturas vegetales de leguminosas, gramíneas y aplicación de herbicida. El primer tratamiento fue el que presentó los valores más bajos de resistencia a la penetración, mientras que, en el caso de las parcelas tratadas con herbicida, se obtuvieron los valores más elevados, demostrando una compactación del suelo en los dos años del ensayo debido a una disminución de los macroporos (Orduz-Rodríguez et al., 2011).

Según Pinamonti et al. (1996, como se cita en Tesic et al., 2007), una buena estructura del suelo, asociada a un alto contenido de materia orgánica y mayor actividad microbiana, generan un incremento en la capacidad de retención de agua, así como una reducción en la persistencia y lixiviación de los herbicidas.

2.9 EFECTOS DEL USO DE CUBIERTAS VEGETALES

Pensando en lo que es la viticultura destinada a la producción de vinos VCP, donde se prioriza la calidad de la uva frente a la cantidad, es de gran importancia mantener un crecimiento equilibrado de las plantas. Según estudios realizados por Coniberti, Ferrari, Disegna, García Petillo et al. (2018) la utilización de cubiertas vegetales totales (cobertura en la fila y entrefila), en conjunto con la utilización del riego, permitiría reducir el crecimiento excesivo de las vides, controlar la absorción de nitrógeno, reducir la incidencia de podredumbres e impactar de forma positiva sobre la composición de la baya.

El equilibrio se ve modificado a través de una reducción en el vigor y el rendimiento, esto es debido principalmente a la competencia que se establece por dos factores fundamentales: agua y nutrientes (Coniberti, 2018; Ibáñez, 2013). El nivel de competencia entre las pasturas y la vid dependerá de varios factores, entre ellos, la profundidad del suelo y su capacidad de retención hídrica. En las regiones donde la disponibilidad hídrica no suele ser un problema, como podría ser el caso de Uruguay, la competencia por nutrientes podría ser más relevante. En suelos profundos y con elevados contenidos de materia orgánica, la competencia ejercida por la cubierta vegetal sobre la vid se considera un beneficio (Vanden Heuvel & Centinari, 2021).

Un dato relevante es que se ha determinado que las competencias por nutrientes son menores cuando las cubiertas vegetales son plantadas anualmente (Karl et al., 2016). Mientras que, en cuanto a la competencia por agua, esta es mayor durante la etapa de floración y post floración, siendo el momento en el que la vid puede ver más afectado su desarrollo (Lakso & Pool, 2005). Esta es una de las principales razones por las que los productores muchas veces se muestran reacios a utilizar cultivos de cobertura, en sustitución de los herbicidas (García et al., 2018).

Es de destacar que el efecto provocado por las cubiertas varía según la edad del viñedo. En viñedos jóvenes, el efecto en la reducción del crecimiento tanto vegetativo como reproductivo suele ser mayor. Mientras que, en viñedos ya establecidos, el impacto puede ser menor debido probablemente a que el sistema radicular está más desarrollado, contando con mayor acceso a agua y nutrientes (Vanden Heuvel & Centinari, 2021).

Otra de las utilidades planteadas para la vegetación dentro del viñedo, es frente a eventos de precipitaciones excesivas. Este fenómeno está dado por las precipitaciones que se producen de forma errática, debido al ya mencionado cambio climático. Lo cual trae como consecuencias la lixiviación de nutrientes y una mayor incidencia de enfermedades de racimo (Vanden Heuvel & Centinari, 2021).

Es de sentido común suponer que donde se instalan cultivos de cobertura, el consumo de agua se verá incrementado. Pero según los datos recabados por Prichard (1998), el efecto negativo generado por el consumo hídrico de la pastura, se ve minimizado por efectos positivos en su presencia como son el aumento de la velocidad de infiltración y disminución de la escorrentía superficial. De acuerdo con esto, en un ensayo realizado por Celette et al. (2008), se logra almacenar hasta 60 mm adicionales en el invierno, dependiendo del año y las precipitaciones ocurridas.

A su vez, esto es acompañado por un aporte de materia orgánica y mayor estabilidad de los agregados del suelo, incrementando de esta forma la capacidad de almacenamiento de agua en los primeros centímetros del perfil (Prichard, 1998). Se debe tener presente que, de todas formas, estos aumentos del contenido hídrico no compensan, en la mayoría de los casos, el consumo que hacen las cubiertas vegetales, pero sí ayudan a realizar un manejo del contenido de agua en el suelo (Linares, 2009).

2.9.1 Tipos de cubiertas vegetales

Existen diferentes tipos de cubiertas vegetales que se pueden utilizar. Una de las formas de clasificarlas es según su temporalidad. De esta forma se pueden dividir en dos grupos, por un lado, las permanentes y, por otro, las temporales. Dentro de las primeras, la cobertura se mantiene a lo largo de todo el año. Estas provocan una mayor competencia al viñedo por presentar un mayor nivel de enraizamiento y una buena implantación. Dado esto, se consideran aptas sólo en aquellos viñedos ubicados en zonas donde el régimen hídrico es mayor a 700 - 800 mm/año. Son especies con estas características: *Lolium perenne* y *Festuca arundinacea* (Ibáñez, 2013).

Mientras que las de tipo temporal, como su nombre lo indica, permanecen vegetativas solo una parte del año para luego pasar a ser mulch, ya sea por cumplir su ciclo vegetativo o por ser eliminadas químicamente. Estas permanecen activas generalmente durante la etapa de crecimiento vegetativo de la vid, donde permite un mayor control del vigor. En la etapa reproductiva no interfieren en la acumulación de fotoasimilados siendo, de esta forma, menos restrictivas para el viñedo. Ejemplos de pasturas que cumplen con estas características son *Trifolium repens*, *Trifolium subterraneum* y *Bromus catharticus* (Ibáñez, 2013).

Los criterios a tener en cuenta al momento de elegir qué especies utilizar para la cobertura vegetal deben considerar el momento y la cantidad de competencia que se desea ejercer sobre las plantas, así como la capacidad de la pastura de establecerse en el lugar y sus manejos requeridos (Vanden Heuvel & Centinari, 2021).

En el caso particular de optar por leguminosas, se puede pretender explotar su capacidad como fijadoras de nitrógeno atmosférico. Pero, la cantidad de este nutriente que pueden liberar al suelo bajo viña, así como el momento en el que lo hacen, no están del todo claros. En un estudio realizado por Karl et al. (2016), donde se analizaron por tres años plantas de vid instaladas con una cobertura vegetal de trébol blanco en la fila y plantas con herbicida, no se hallaron evidencias de que las vides hayan aprovechado cantidades importantes del nitrógeno liberado por la leguminosa. Dado que, se detectaron pesos de poda entre 30 y 57 % menores en las plantas con cobertura. Tampoco se hallaron grandes diferencias a nivel de contenido de N foliar ni FAN.

Por otro lado, Vanden Heuvel y Centinari (2021) midieron aumentos en el nitrógeno total de 37 y 19 % para 1 - 20 y 21 - 40 cm de profundidad respectivamente, en filas con una cobertura vegetal de *F. rubra* durante 3 años, comparado con el suelo desnudo. Es decir, que las leguminosas no parecen contribuir con cantidades de nitrógeno superiores a las que puede aportar cualquier otra pastura bajo la fila.

2.9.2 Manejo de las cubiertas vegetales

El uso de cubiertas vegetales requiere de cortes para el mantenimiento de la misma. Durante la primavera y verano esto es necesario para evitar una competencia excesiva, mientras que durante la época de heladas tardías también es muy importante para evitar efectos mayores de las mismas (Ibáñez, 2013). A su vez, estos cortes realizados de forma periódica permiten lograr un mayor reciclado del nitrógeno (Rodríguez-Lovelle et al., 1999).

El momento, frecuencia y cantidad de cortes a realizar sobre las pasturas debe contemplar los niveles de estrés hídrico que se desean manejar en el viñedo, la cantidad de extracción de agua realizada por la pastura, es decir, su evapotranspiración, y el nivel de riego que se pueda emplear (Ibáñez, 2013). También se debe regular la altura que alcanzan las pasturas, ya que no deben sombrear el área donde se ubican los racimos porque puede perjudicar el proceso de maduración, además de interferir con la operativa de cosecha (Vanden Heuvel & Centinari, 2021).

2.10 COMPARACIÓN ENTRE EL USO DE HERBICIDAS Y CUBIERTAS VEGETALES

Como se observa en los estudios realizados por Coniberti, Ferrari, Disegna, García Petillo et al. (2018), la cobertura vegetal total en el cultivo de la vid permite reducir el crecimiento vegetativo en las condiciones ambientales de Uruguay. Según lo recabado por Vanden Heuvel y Centinari (2021), las reducciones suelen ser mayores para el crecimiento vegetativo que para el rendimiento, por lo que resultan en un aumento del Índice de Ravaz.

Karl et al. (2016) cuantificaron un aumento del Índice de Ravaz del 102 % en vides con cubierta vegetal comparado con plantas que tenían herbicida en la fila. En cuanto al rendimiento, estos mismos autores, identificaron que las cubiertas vegetales, comparado con el uso de herbicidas, generaron una disminución del rendimiento de entre 29 y 41 %. Las diferencias se debieron, en gran medida, a que en el tratamiento bajo herbicida los racimos eran más grandes, con mayor cantidad de bayas más pesadas.

Además de restringir el vigor aéreo, puede alterar el contenido y desarrollo espacial de las raíces en el suelo, haciendo que tiendan a crecer en profundidad por la competencia, pudiendo llegar a afectar la absorción de nutrientes y agua (Celette et al., 2008; Morlat & Jacquet, 2003; Vanden Heuvel & Centinari, 2021). Respecto a esto, en algunos ensayos se ha encontrado mayor densidad de raíces finas (≤ 1 mm) y medias (1 a 5 mm) de vid en tratamientos con pasturas frente a tratamientos con laboreo o herbicida (Linares et al., 2018).

Morlat y Jacquet (2003) plantean que la aplicación de herbicida puede fomentar el desarrollo radicular de la vid en los primeros 20 cm del suelo, mientras que la cobertura total del suelo, obliga a las raíces de la vid a modificar sus patrones de enraizamiento. Por lo que, en suelos profundos, las raíces de la vid se pueden desarrollar por debajo de las de la pastura, disminuyendo la competencia (Vanden Heuvel & Centinari, 2021). Cabe destacar que, esta modificación en el crecimiento, ocurre tanto en el plano vertical como horizontal, gracias a la gran plasticidad que presenta esta especie. Lo cual le permite absorber agua de capas más profundas cuando se instala con cultivos de cobertura (Celette et al., 2008).

En concordancia con esto, Smart et al. (2006) exponen que estas modificaciones en el patrón de enraizamiento de la vid por la presencia de pasturas se deben, además de la competencia, a una disminución de la humedad del suelo. Esto conlleva que, en suelos profundos como los vertisoles, generen un incremento en los ciclos de

humectación - desecación, provocando microfisuras que permiten la penetración de las raíces y mejorar la absorción (Tomaz et al., 2015).

Otro beneficio de mantener el suelo cubierto son los incrementos en el contenido de materia orgánica ocasionados por la presencia de las pasturas. Estas generan una mayor cantidad de biomasa vegetal y, por ende, una mayor actividad y riqueza microbiológica, lo que modifica la dinámica de la MO (Belmonte et al., 2018). Según Vanden Heuvel y Centinari (2021) los aumentos que se pueden dar de la MO son debidos a la incorporación de biomasa y rizodepósitos, por lo que varían dependiendo de si la cubierta vegetal es incorporada al suelo (especies anuales) o permanece activa durante varios años (especies perennes). En este mismo trabajo se encontró que la cubierta vegetal, comparado con el suelo desnudo, incrementó el COS un 56 y un 44 % para profundidades entre 1 - 20 y 21 - 40 cm respectivamente.

Estudios realizados por Gattullo et al. (2020) señalan que un cultivo de cobertura de *Festuca arundinacea* mejora las propiedades químicas y microbiológicas del suelo. Al incrementar el contenido de carbono orgánico, nitrógeno y la biomasa radicular, se estimula el crecimiento y la actividad microbiana. Mejorando así, los ciclos de los nutrientes y apuntando a una reducción en la fertilización a largo plazo. También destaca que pueden existir mermas en el rendimiento cuando hay alta competencia hídrica, es decir, ante una sequía; en años donde el contenido hídrico no fue limitante, no se hallaron grandes diferencias de rendimiento.

A su vez, también se ha encontrado un aumento en la colonización de hongos micorrízicos arbusculares cuando se utilizan cubiertas vegetales completas. La asociación con estos hongos permite una mejora en la eficiencia de absorción de nutrientes por parte de la vid, principalmente en las capas más profundas de suelo donde no se encuentran raíces de la cubierta vegetal (Vanden Heuvel & Centinari, 2021).

2.11 FACTORES QUE MODIFICAN LA COMPOSICIÓN DE LA BAYA

La composición de las bayas se puede ver afectada por múltiples factores como son el suelo, clima, el nivel hídrico y nutricional de la vid, entre otros. A continuación, se realizará un resumen de cómo estos parámetros pueden modificar los componentes para idear estrategias de manejo que permitan alcanzar niveles deseados en las variables enológicas, vigor de plantas, sanidad y demás factores de relevancia en la vitivinicultura.

2.11.1 Condiciones edafo - climáticas

En el trabajo realizado por Echeverría et al. (2017b), se verificó que el suelo tiene influencia sobre la composición de las bayas. En suelos poco profundos, de texturas gruesas, se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a sanidad de racimo, concentración de antocianos, taninos y sólidos solubles. En el caso particular del pH en mosto, estos mismos autores, definieron que la interacción año-suelo fue el principal factor determinante. Por un lado, el año influye sobre la síntesis y degradación de los ácidos orgánicos, a través de la radiación solar y la temperatura. Mientras que la

disponibilidad hídrica varía, según el año y el suelo, modificando el equilibrio energético y la respuesta de la planta.

La tendencia de temperaturas cada vez más elevadas, provocan un aumento de la concentración de azúcares y una disminución en el contenido de ácidos, es decir, un aumento del pH y una disminución de la acidez, además de modificar la formación de los compuestos aromáticos (Martínez de Toda, 2019). Asimismo, el proceso de maduración de las bayas se ve acelerado y, en el caso de temperaturas excesivamente elevadas, se puede incluso inhibir dicho proceso o provocar síntomas de quemaduras de sol. Esto trae como consecuencia un mayor riesgo de fermentaciones incompletas (Keller, 2010).

La temperatura óptima para las bayas es de alrededor de 25°C. Temperaturas por encima de los 30°C o por debajo de los 15°C, pueden disminuir el número de células en la baya, si esto ocurre durante la etapa de crecimiento de las mismas. Esto también puede ser provocado en una situación con baja luminosidad durante el mismo período (Ibacache, 2009). A su vez, temperaturas superiores a 30°C durante la maduración, pueden generar incrementos de los sólidos solubles, probablemente debido a la concentración de azúcares por evaporación del agua de las bayas (Keller, 2010).

Por otro lado, los contenidos de polifenoles y antocianos, también están relacionados con las temperaturas, dado que se modifican las vías de síntesis y degradación de estas moléculas. Algo similar ocurre con otros tipos de compuestos relacionados al aroma y sabor (González-Neves et al., 2006). Niveles bajos de radiación solar, o temperaturas superiores a los 30°C, disminuyen la síntesis de antocianos. Además, el color de las bayas es perjudicado por una excesiva exposición a la radiación solar (Ibacache, 2009).

Resumiendo, el suelo y el clima afectan diversos factores de la composición, el clima influyendo más en aspectos de la fenología y, respecto a la composición de baya, en la acidez. Mientras que el suelo tiene mayores repercusiones sobre el rendimiento y, dentro de la baya, en los niveles de nitrógeno y antocianos (Van Leeuwen et al., 2018).

2.11.2 Estado hídrico de la vid

El crecimiento vegetativo de las plantas se ve afectado por el estatus hídrico en el que se encuentra el viñedo, junto con otros parámetros como la temperatura ambiente (Deloire et al., 2004). El estrés hídrico afecta en general de forma irreversible el tamaño de baya, cuando este sucede entre antesis y envero, a pesar de que durante la maduración no ocurran limitantes hídricas. Esto se debe a que se reduce la tasa de división celular que tiene lugar en la fase I de crecimiento de baya (Lakso & Pool, 2005; Ojeda et al., 2001).

En un ensayo realizado por Tregoat et al. (2002) encontraron una correlación de $r = 0,92$ entre el peso de baya y el potencial hídrico. Mientras que, en un trabajo de Canoura et al. (2018), se constató para la variedad Syrah un 20% de disminución en el peso y tamaño de baya en secano respecto a vides bajo riego.

Algunos componentes de la baya como azúcares, acidez titulable y compuestos fenólicos (taninos y antocianinas) dependen del estado hídrico de la vid, asociado al microclima y desarrollo vegetativo de la misma (Ojeda et al., 2002). Según Tregoat et al. (2002) los contenidos de azúcar logrados en vides bajo estrés hídrico moderado son mayores (potencial de tallo entre -0,7 y -0,9 MPa), mientras que niveles más restrictivos, generan mayores compuestos fenólicos y una mayor reducción del ácido málico. Esta reducción del ácido málico, junto con una mayor concentración de potasio, generan un aumento del pH del vino resultante (Deloire & Pellegrino, 2021).

Según Deloire et al. (2004) existe un efecto del déficit hídrico reduciendo la actividad fotosintética de las vides, lo cual implica, por consiguiente, una reducción en el contenido de azúcar de las bayas. Aun así, las bayas tienden a concentrar el azúcar debido a la pérdida de agua que implica un déficit hídrico. Por tanto, el estado hídrico de la vid y la fotosíntesis, son los principales factores que influyen en el contenido de azúcares de la baya.

Lakso y Pool (2005) sostienen que un estrés fuerte y tardío podría frenar la fotosíntesis, por ende, generar una parada en la maduración. Las bayas podrían aumentar sus °Brix a causa de la deshidratación o bien por la utilización de reservas, pero no por efecto del área foliar en funcionamiento.

Según estudios realizados por Salvarrey (2016), prácticas como el raleo en envero favorecen los componentes de calidad de la uva, a través de una disminución de la incidencia del factor hídrico. Esta misma autora, registró una mejor partición de fotoasimilados a los racimos que continuaron en la planta, permitiendo una mayor síntesis y acumulación de compuestos primarios. Mientras que, si se analizan los metabolitos secundarios, el déficit hídrico es considerado un promotor, dado que se han encontrado incrementos en antocianinas y taninos, tanto en baya como en mostos, frente a un déficit moderado a severo (Deloire & Pellegrino, 2021; Mirás-Avalos & Intrigliolo, 2017).

En contraste con lo anteriormente planteado, Gambetta et al. (2020) exponen que puede darse el efecto contrario en las antocianinas, dependiendo de cómo el déficit hídrico afecta el microclima y el nivel de exposición solar de los racimos. De existir una mayor exposición, la temperatura en el área del racimo se vería incrementada, promoviendo la degradación de las antocianinas. En cuanto a los efectos de un déficit hídrico moderado a severo, coinciden con lo reportado por Mirás-Avalos e Intrigliolo (2017), quienes dicen que la concentración de azúcar y el pH se ven incrementados mientras que la acidez total disminuye.

2.11.3 Implantación de cobertura vegetal en la fila

En algunos estudios con coberturas vegetales en la fila, no se han encontrado diferencias respecto al manejo tradicional en cuanto a la composición de baya (Giese et al., 2015; Karl et al., 2016). Mientras que, en otros, se han reportado aumentos en el contenido de SST y antocianos, pero disminuciones en el contenido de FAN por debajo de los niveles deseados para una correcta fermentación (Coniberti, Ferrari, Disegna, Dellacasa et al., 2018).

Según la revisión sistemática realizada por Abad et al. (2021) sobre el impacto de las cubiertas vegetales en la composición de baya, se encontró en el 68 % de los casos que los SST no se vieron afectados, mientras que en un 18 % mostraron un aumento y solo en el 9 % se reportó una disminución. En la mayoría de los casos que se detectó aumento, se debió a la reducción del rendimiento y del tamaño de baya. En tanto que, las disminuciones se asocian a un fuerte debilitamiento general del viñedo por parte de las pasturas, que también incluyó pérdidas en el rendimiento.

Dos ejemplos de disminución en los SST fueron reportados por Ripoche et al. (2011) en un viñedo bajo *F. Arundinacea*; y por Palliotti et al. (2007) donde utilizaron una cobertura 70 % *F. arundinacea* - 30 % *L. perenne*. Mientras que en Uruguay se reportó un aumento de los SST con cobertura vegetal de *F. rubra* (Coniberti, Ferrari, Disegna, García Petillo et al., 2018).

En cuanto a la acidez, el 90 % de los casos no detectó cambios en el pH y el 72 % no reportó cambios en la acidez titulable. Por otro lado, el FAN se consideró uno de los parámetros más afectados, ya que se encontró una disminución en el 50 % de los casos. Respecto a esto, llegaron a la conclusión de que el contenido de FAN puede disminuir, pero que en general, al aplicarse coberturas con leguminosas por varios años sucede el efecto contrario (Abad et al., 2021).

Las cubiertas vegetales tienen un rol importante en la disminución de la incidencia de podredumbres del racimo. Esto es explicado por la reducción en el vigor de las plantas, lo que permite una mayor aireación, mejorando de forma general el microclima del dosel. También, una reducción en el rendimiento y compacidad de los racimos. La menor susceptibilidad al ataque de *Botrytis cinerea*, permite alcanzar la madurez de la uva, y no adelantar la cosecha por causa de la podredumbre, como ocurre frecuentemente en Uruguay en los tratamientos convencionales con herbicida (Coniberti, Ferrari, Disegna, García Petillo et al., 2018).

2.11.4 Fertilización nitrogenada

Niveles de fertilización nitrogenada elevados actúan retardando la parada del crecimiento vegetativo y aumentando el peso de baya, dando como resultado menores contenidos de sólidos solubles y un mayor contenido de ácido málico. Aun así, también se debe tener en cuenta que el efecto ejercido por la fertilización nitrogenada, está supeditado al régimen hídrico del año (Tregoat et al., 2002). Sin embargo, en un ensayo realizado por Canoura et al. (2018), no se encontraron diferencias en el contenido de azúcar entre los diferentes niveles de fertilización y riego o seco.

Tregoat et al. (2002) comparan dos parcelas evaluadas en un año seco, con un estrés hídrico moderado y diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Como resultado se observa que, la parcela con el menor nivel de nitrógeno, produjo uvas de mayor calidad enológica en cuanto a azúcar, antocianinas, compuestos fenólicos y ácido málico. Mientras que Choné et al. (2001) reportan que, en años sin restricciones hídricas, también se obtienen mejores características enológicas con bajos contenidos de nitrógeno.

El contenido de FAN medido en mosto está correlacionado tanto con el aporte de nitrógeno, como con el estado hídrico de la planta (Tregoat et al., 2002). Una fertilización y área foliar excesiva, puede generar una deficiencia de FAN en el mosto, perjudicando la fermentación y la composición aromática del vino (Verdenal et al., 2016).

Las fertilizaciones nitrogenadas se pueden utilizar para modificar el contenido de FAN en baya (Bell & Henschke, 2005). El momento en el que se realiza la fertilización influye sobre la acumulación de FAN. En el caso del ensayo realizado por Verdenal et al. (2015), detectaron que se produjo un aumento mayor del FAN cuando la fertilización foliar se realizaba en enero, mientras que el aumento era menor cuando se hacía en floración.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL VIÑEDO

Las prácticas fueron llevadas a cabo en la zafra 2022 - 2023, en un viñedo perteneciente a la bodega Bouza, ubicado en el departamento de Canelones. Más precisamente en la localidad denominada Las Violetas (34°34'03"S 56°16'57"W), a 6 km de la capital departamental.

El cuadro bajo estudio está conformado por plantas de la variedad Tannat (*Vitis Vinifera* L.) injertadas sobre SO4 (*Vitis Berlandieri* P. x *Vitis Riparia* M.). Estas se conducen en espalderas de 1,75 m de altura con cuatro alambres distribuidos 1-2-2-1. Los mismos se encuentran cada 35 cm aproximadamente, ubicándose el alambre de poda a 55 cm del suelo. El tipo de poda que se realiza es Guyot o poda larga unilateral de diez yemas por cargador.

El marco de plantación de esta parcela es de 2,5 m entre filas y 1,0 m entre plantas, estableciendo de esta forma una densidad de plantación de 4000 plantas por hectárea. La orientación de las filas es Norte - Sur con una pendiente del 2 - 3 % y un largo de 75 m. El ensayo está ubicado dentro de un cuadro donde se realiza el manejo sanitario por parte de la empresa bajo las normas de producción integrada.

3.2 SEGUIMIENTO DE PASTURAS

Mediante la apreciación visual se realizó un reconocimiento y descripción detallada de las malezas presentes en los distintos tratamientos. A su vez, en cada visita al viñedo, se observó el desarrollo de las distintas pasturas, así como la evolución de estas y el nivel de infestación de malezas en cada tratamiento. Se hizo un seguimiento de estos, haciendo recortes cuando se consideró necesario, utilizando una desmalezadora Sthil FS 55. También se realizó una re-aplicación de herbicida en el tratamiento correspondiente, por parte de los trabajadores del establecimiento.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL SUELO

Según la carta de reconocimiento de suelos 1/1.000.000 (Altamirano et al., 1976), el ensayo se encuentra ubicado sobre la unidad Tala Rodríguez (TI-Rd). En esta predominan los suelos de tipo Brunosoles éutricos típicos/lúvicos y Vertisoles rúpticos lúvicos. Para profundizar en este aspecto, se hizo una calicata en la etapa de caída de hojas y se tomaron muestras de suelo que se analizaron en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía. Estos estudios fueron realizados en una fila bajo el tratamiento de festuca de alta densidad. Con los datos obtenidos se pudo hacer una descripción del suelo más detallada.

A su vez, se aprovechó la apertura de la calicata para realizar un estudio de la distribución de las raíces en el perfil. Para esto se fueron descubriendo las raíces de una planta, luego se pintaron de blanco para facilitar su visualización y con una grilla se determinó la distribución y clasificación de raíces según el diámetro de las mismas.

3.4 DATOS CLIMÁTICOS Y BALANCE HÍDRICO

En cuanto a la temperatura, precipitaciones y evapotranspiración potencial (ETP) se tomaron como referencia los datos que brinda la estación meteorológica del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) “Las Brujas”, situada a aproximadamente a 12,5 km del viñedo. Se tomaron en cuenta datos entre julio 2022 y junio 2023, así como una serie histórica de 30 años (1993 - 2022) (INIA, s.f.). Estos datos se complementaron con los registros pluviométricos del establecimiento (N. Merino, comunicación personal, 19 de septiembre, 2024).

Con el objetivo de analizar comparativamente las distintas situaciones que pudieron haber sucedido en el período de crecimiento, se realizaron tres balances hídricos. La metodología empleada para los cálculos, es la planteada por el INUMET (2020). Mientras que, para categorizar el índice de bienestar hídrico (IBH) se utilizaron los rangos planteados por Cruz et al. (2014).

Un primer balance se planteó como “base”, empleando únicamente la ETo, a modo de tener una referencia de lo que sucedería en una pastura ideal. Los otros dos balances tienen en consideración tanto la viña como la pastura en cobertura. Para ello, se utilizó un Kc dual, donde se tenía en cuenta el Kc de la vid en las diferentes etapas de desarrollo y un Kc para pastura de crecimiento intermedio. La diferencia entre estos últimos dos balances radica en la presencia o ausencia de riego por goteo.

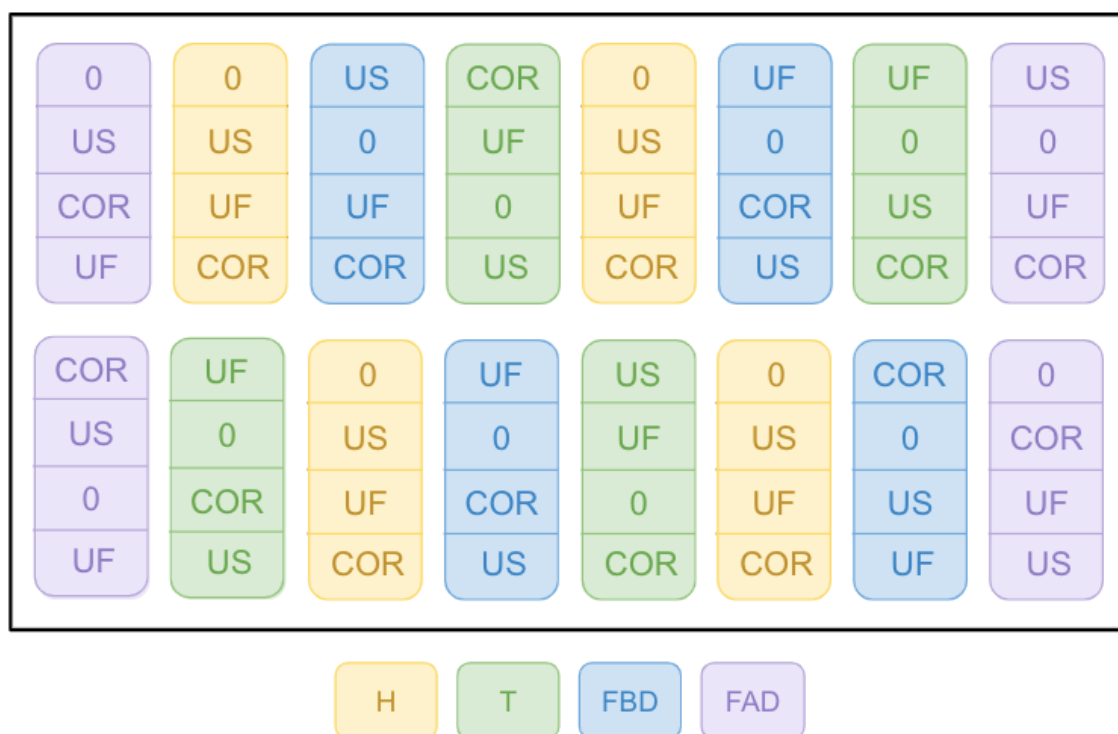
Los valores usados para Kc fueron extraídos de la serie FAO Riego y Drenaje N° 56 (Allen et al., 2006). Se tomó como supuesto una cobertura total del suelo por parte de la pastura, con el fin de evaluar la situación de mayor estrés a la que se sometieron las plantas de vid.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento estaba instalado al momento de comenzar este proyecto. El año anterior ya se habían llevado a cabo en el mismo cuadro estudios por parte de otra tesis de grado.

El diseño de este fue planteado como completo al azar (DCA), tanto para las pasturas como para los tratamientos de fertilización. Mientras que el riego se aplicó sobre todos los tratamientos de igual forma.

Para el caso de las pasturas se usaron cuatro tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones de veintiocho plantas. A su vez, estos se cruzan con cuatro tratamientos de fertilización, con dieciséis repeticiones dispuestas una por centro, es decir siete plantas por repetición (Figura 1).

Figura 1*Diseño experimental: distribución de los tratamientos*

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida; 0: Cero nitrógeno; US: Urea al suelo; UF: Urea foliar; COR: CoRoN.

3.6 TRATAMIENTOS DE COBERTURAS VEGETALES

Herbicida (H): Tratamiento utilizado como testigo. Se realiza en la fila el mismo manejo del establecimiento que, a su vez, es el habitualmente llevado a cabo en la mayoría de los viñedos del país.

Festuca alta densidad (FAD): *Festuca arundinacea* que tiene más de dos años de implantación en la fila al momento de realizarse este ensayo.

Festuca baja densidad (FBD): *F. arundinacea* sembrada en la fila, en cobertura y al voleo luego de una aplicación de herbicida en abril 2022.

Trébol (T): Pastura de trébol blanco (*Trifolium repens*) implantada en la fila dos años previo al inicio de este ensayo.

3.7 TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN

Cero nitrógeno (0): Este tratamiento se considera testigo, donde no se realizó ningún tipo de aplicación de fertilizante.

Urea al suelo (US): Se realizó una aplicación de Urea al suelo en la etapa de cuajado, esta fue al voleo lo más próximo posible al tronco, la misma fue de 25 kg de nitrógeno por ha.

Urea foliar (UF): Urea diluida al 1 %, aplicada sobre las hojas con una atomizadora de mochila marca Stihl® (Sr200), utilizando agua de calidad controlada y estimando un volumen de 300 l/ha. En total se hicieron cuatro aplicaciones, desde cuajado hasta inicio de envero, con una dosis de 1,4 kg de nitrógeno por hectárea en cada aplicación.

CoRoN foliar (COR): Este es un fertilizante líquido nitrogenado de liberación controlada. Fue aplicado en igual tiempo y forma que la urea foliar, con tres aplicaciones. La dosis fue de 1,5 kg de nitrógeno por hectárea en cada aplicación. Se utilizó un volumen de agua equivalente a 300 l/ha.

3.8 RIEGO: FRECUENCIA Y CAUDAL

Se realizaron aplicaciones de riego pre floración de forma esporádica según el requerimiento de las plantas. Estos tuvieron una duración de 5 horas, aportando 16,5 l/pl. Post floración el riego se realizó una vez por semana, por intervalos de 12 horas (39,6 l/pl). Esto siguió hasta aproximadamente una semana previo a la cosecha. El caudal del riego aplicado fue de 3,3 l/h/pl.

3.9 INDICADORES FISIOLÓGICOS

3.9.1 Crecimiento vegetativo

3.9.1.1 Superficie foliar expuesta potencial (SFEp)

El método utilizado para la medición de la superficie foliar fue propuesto por Carboneau (1995, como se cita en Echeverría et al., 2017a). Con la ayuda de una pantalla blanca ubicada detrás de las plantas, se realizó un registro fotográfico en post envero. Posteriormente, utilizando Photoshop y el software CobCal, se procesaron dichas imágenes con el fin de determinar el porcentaje de área ocupada por la canopia y la porosidad.

3.9.1.2 Peso de poda

Para evaluar el peso de poda se procedió a podar veinticuatro plantas por tratamiento de pastura, teniendo en cuenta la fertilización, siendo cuatro repeticiones de seis plantas cada una. Se separó la madera producida en el año y esta fue pesada con una balanza Ranger™ 3000 Ohaus.

3.9.1.3 Análisis de composición mineral de hoja

Durante envero se tomaron muestras de cincuenta hojas de vid por tratamiento de pasturas, realizando tres repeticiones de los mismos. Las hojas se secaron y molieron para un posterior análisis de nitrógeno, potasio y magnesio, realizado en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía.

3.9.2 Rendimiento

3.9.2.1 Peso de racimos

Durante la cosecha se cuantificó el peso de racimos por planta, medido con ayuda de la balanza Ranger™ 3000 Ohaus. Este procedimiento fue realizado sobre las mismas plantas evaluadas durante la poda.

3.9.2.2 Sanidad y raleo de racimos

Se realizó un raleo de racimos a cargo del establecimiento luego del envero, dejando un racimo por pámpano. Además, mediante apreciación visual durante la cosecha se hizo una distinción entre racimos sanos y enfermos, contemplando la presencia o ausencia de *Botrytis cinerea*.

3.9.2.3 Compacidad

Para la medición de compacidad se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento, de diez racimos cada una. Se realizó una clasificación de los racimos de manera visual, utilizando la escala propuesta por Ipach et al. (2005, como se cita en Evers et al., 2010).

3.9.3 Composición

3.9.3.1 Evolución de la maduración

Una vez comenzado el envero se procedió a realizar un seguimiento de la maduración de las bayas semanalmente. Se tomaron doscientas bayas al azar para cada repetición, efectuando tres repeticiones por tratamiento de pastura. Se realizaron los análisis de rutina: sólidos solubles totales (SST), acidez total (AT) y pH en el Laboratorio de Viticultura de la Facultad de Agronomía. También se constató el número de bayas verdes, enveradas y maduras, así como su peso con una balanza digital de precisión (Ohaus Scout, Ohaus Crop., USA).

- Sólidos solubles totales: Para su medida se utilizó un refractómetro (ATAGO® Japón). La determinación es en °Brix.
- Acidez total: Se midió con la ayuda del refractómetro de acidez (Atago Pal Easy Acid 2®).
- pH: Este se evaluó con un pHmetro (Hanna Instruments, modelo HI8521 Villafranca Padovana, Italy).

3.9.3.2 Nitrógeno fácilmente asimilable (FAN)

Para la medición del nitrógeno asimilable en frutos, se tomaron dieciséis muestras de cien bayas cada una por tratamiento de pasturas, discriminando por dosis de fertilizante. El análisis se realizó en el Laboratorio de Viticultura de la Facultad de Agronomía y se utilizó el método de Sorensen propuesto por Zoecklein et al. (1999).

3.9.3.3 Polifenoles

El análisis de polifenoles se realizó utilizando la técnica propuesta por Glories (1984, como se cita en González-Neves, 2005). Esta consiste en utilizar la espectrofotometría (Modelo Shimadzu UV-1240 Mini: Shimadzu Crop., Japón) y medir la absorbancia a 420 nm para cuantificar los antocianos fácilmente extraíbles. Para estimar el índice de polifenoles totales (IPT), se utilizó la absorbancia a 280 nm.

Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Enología de la Facultad de Agronomía. Para ello, se utilizaron muestras de doscientas cincuenta bayas, con un total de cuatro repeticiones por tratamiento de pasturas.

3.10 ÍNDICES DE RESPUESTA

3.10.1 Índice de Ravaz

Para medir este índice se utilizó la relación planteada por Ravaz (1909, como se cita en Champagnol, 1984). A través de este, se puede ver el equilibrio de la planta, ya que estima la proporción entre la producción de fruta y madera del año.

3.10.2 Potencial hídrico

Basándose en la metodología planteada por Scholander et al. (1965), se midió el potencial hídrico de xilema a mediodía desde pre floración hasta cosecha, con la ayuda de la cámara de presión modelo 1505D (PMS Instrument Company, Albany Or. USA). Esto permite evaluar el estatus hídrico de la planta en las diferentes etapas fenológicas.

Las mediciones se realizaron sobre 2 hojas por repetición, totalizando 8 hojas por tratamiento en cada medida. Estas se cubrían una hora antes de la medición con material aislante (sobres de papel aluminio y nylon) para pausar la evapotranspiración. Esto fue complementado con observaciones de campo, haciendo un seguimiento visual del estado del viñedo, a lo largo del ciclo.

3.10.3 Superficie foliar y rendimiento

A través de la relación entre la superficie foliar expuesta y el rendimiento, se estimó la relación fuente/fosa, permitiendo evaluar la capacidad de la planta de producir fotoasimilados y su partición. Este indicador es planteado por Carbonneau (1995, como se cita en Echeverría et al., 2017a).

3.10.4 Producción de materia seca

Para estimar la materia seca producida en el año, se suma lo generado en cosecha y vegetación, suponiendo un contenido de agua de 80 y 50 % para racimos y sarmientos, respectivamente (Carbonneau, 1996, como se cita en Ferrer et al., 2008).

3.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para realizar el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa InfoStat. Mediante el mismo, se hizo un análisis multivariado de componentes principales con el fin de entender la distribución y relación entre las variables. También se efectuó un análisis de varianza (ANAVA) y pruebas de comparación múltiple de Tukey, para poder descubrir las posibles diferencias entre tratamientos los resultados se evaluaron con un intervalo de confianza del 95 %.

4 RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DE SUELO

Al realizar la calicata se encontró un suelo profundo y de naturaleza fértil, con colores oscuros que denotaban la materia orgánica presente. Según el análisis de suelo en los primeros 15 cm hay 4,5 % de materia orgánica, mientras que, de 15 a 30 cm de profundidad, el contenido disminuye a 2,9 % (tabla 1).

Además, se constataron contenidos elevados de calcio, representando aproximadamente un 75 % de las bases totales presentes. Los contenidos de magnesio también son elevados, sobre todo en comparación con los contenidos de potasio. La cantidad de bases totales es de 25,9 meq/100g en los primeros 15 cm, y un 20 % es explicado por el contenido de magnesio.

El pH medido a diferentes profundidades es importante ya que, dependiendo de su nivel será la disponibilidad de nutrientes que haya en el suelo. En este caso se registró un pH de 5,64 y 5,58 para 0 - 15 y 15 - 30 cm respectivamente, ambos valores considerados ligeramente ácidos a ácidos.

Tabla 1

Análisis de suelo: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, composición mineral y granulometría

Prof.	pH	CE	MO	P	Ca	Mg	K	Na	Arena	Limo	Arcilla
cm	H ₂ O	uS/cm	%	ppm		meq/100g			%	%	%
0-15	5,64	324	4,5	16	19,49	5,34	0,50	0,60	9	49	42
15-30	5,58	372	2,9	9	21,75	6,73	0,51	0,87	7	46	47

Nota. Prof.: profundidad; CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica.

A campo se observó una diferenciación textural importante entre horizontes y una transición clara entre el A y el Bt. Luego, con el análisis textural del suelo, se halló que esta no era tan diferente como se pensó a priori. Como se puede observar en la tabla 1, desde el horizonte A hay grandes contenidos de arcilla, que superan el 40 %. Esto incrementa un poco hacia el Bt, pero la diferencia es mínima, teniendo ambos horizontes una textura arcillo-limosa. La estructura observada fue granular media en ambos horizontes.

4.2 ESTUDIO DE RAÍCES

En el horizonte superficial se encontraron una gran cantidad de raíces, tanto de la vid como de la pastura, ya que la calicata se realizó bajo el tratamiento FAD. Mediante apreciación visual y fotografías (figura 2), se clasificaron las raíces de la vid según su

diámetro y se realizaron gráficas de disposición de las mismas. En la gráfica de distribución de las raíces según porcentaje (figura 3) se ve que la totalidad de raíces de anclaje ($> 4,5$ mm) se sitúan entre los 20 y 70 cm de profundidad. Pero más precisamente el 60 % de las mismas se sitúan en los primeros 30 cm del suelo, lo que se podría explicar por la presencia de un Bt muy desarrollado, donde se observó la tendencia a la lateralización de este tipo de raíces. Sumado a esto, se encontraron evidencias de oxidorreducción en dicha profundidad, así como algunas raíces muertas.

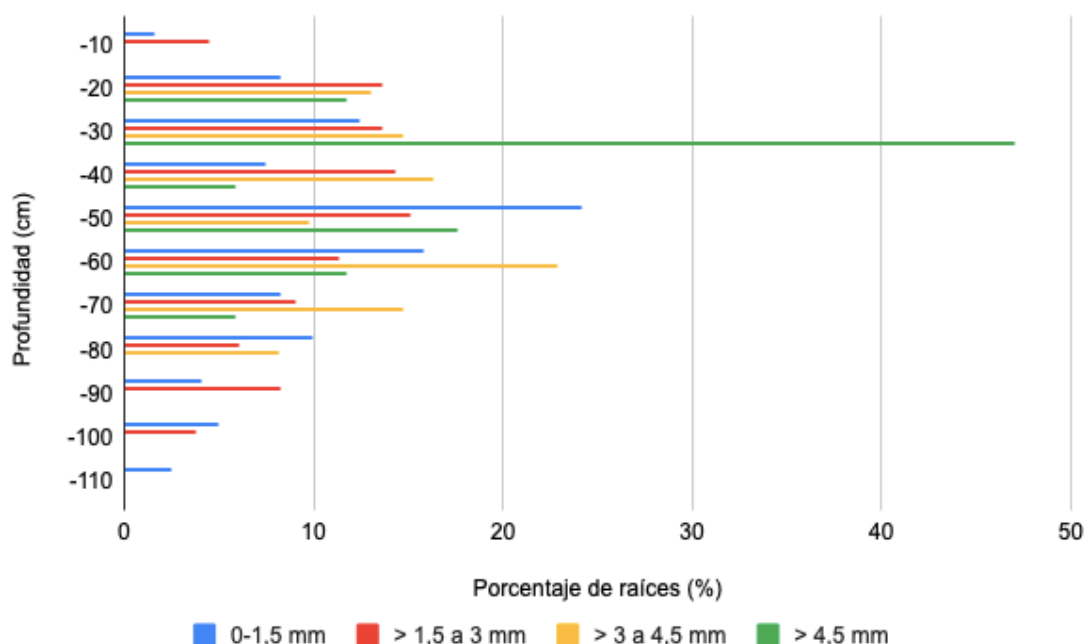
Figura 2

Observación de raíces mediante calicata en el tratamiento festuca de alta densidad



Figura 3

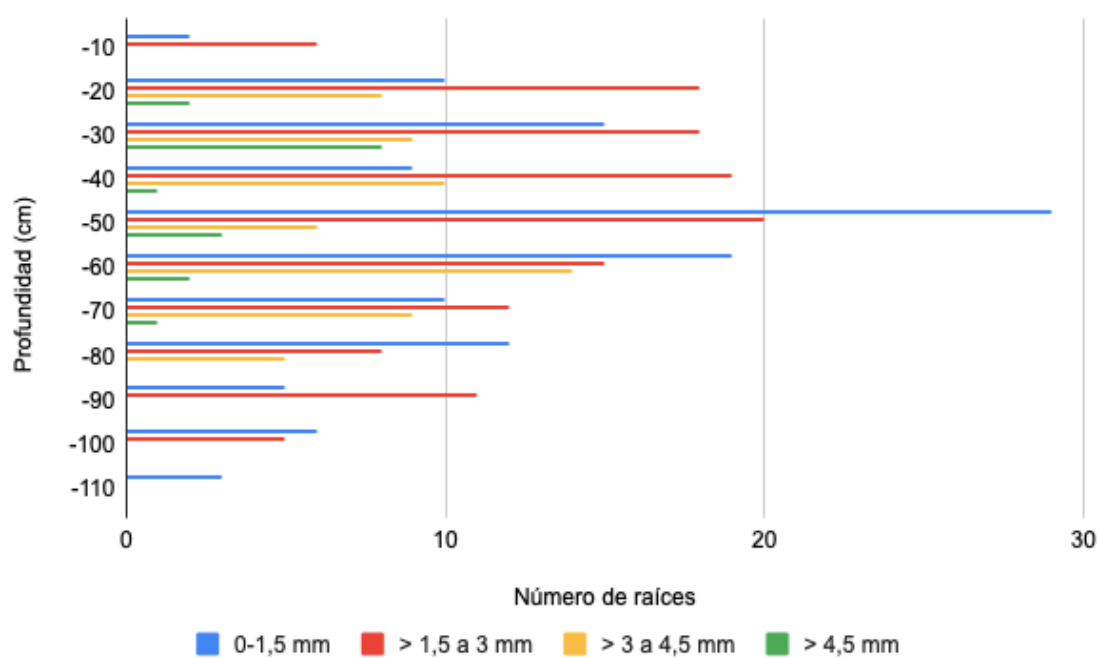
Distribución de las raíces a diferentes profundidades según porcentaje



Pese al horizonte Bt y a la cantidad de arcilla existente en el suelo, se encontró la presencia de raíces absorbentes (< 3 mm) hasta el final de la calicata (110 cm). La distribución de las mismas es homogénea entre los 20 y 60 cm del suelo, situándose allí el 60% de dichas raíces.

Al mirar la gráfica de distribución de raíces según abundancia (figura 4), se ve claramente que la mayoría de las raíces de la vid son de < 3 mm. También se puede observar que las de diámetro entre 3 y 4,5 mm, se distribuyen de manera similar entre los 20 y 70 cm. Mientras que, para el caso de las raíces de 1,5 a 3 mm, se presentan en mayor abundancia de 20 a 60 cm y disminuyen entre los 70 y 100 cm. Algo similar ocurre con las raíces de > 4,5 mm, las cuales están presentes entre los 20 y 70 cm, pero disminuyen a medida que avanza la profundidad.

Figura 4
Número de raíces a diferentes profundidades



4.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS

4.3.1 Temperatura

En la tabla 2 se pueden observar los valores de temperatura promedio, ocurrida en el período de crecimiento de la vid y la histórica de los últimos 30 años. Como se aprecia en la misma, existe una leve diferencia en cuanto a la temperatura registrada en el período bajo estudio. A partir del mes de noviembre y hasta marzo, las temperaturas del período en estudio son más elevadas que el promedio histórico. Lo contrario ocurre entre los meses de agosto - octubre, donde las temperaturas promedio son levemente inferiores a las históricas.

Tabla 2*Temperaturas promedio del ciclo de crecimiento e históricas de los últimos 30 años*

Mes	Temperatura promedio (°C)	Temperatura promedio 30 años (°C)*
Agosto	11,36	11,99
Setiembre	13,01	13,35
Octubre	15,45	16,08
Noviembre	20,89	18,91
Diciembre	22,15	21,42
Enero	24,78	22,99
Febrero	23,93	22,39
Marzo	24,44	20,65

Nota. *Adaptado de INIA (s.f.). Estación experimental Las Brujas; Período: 1/1/1993 – 31/12/2022; Variable: Temperatura media.

4.3.2 Precipitaciones

Tal como se observa en la tabla 3, el año bajo estudio presentó una gran diferencia en cuanto a precipitaciones. En ningún mes del período analizado se alcanzó la media mensual de los últimos 30 años. En promedio, estas se sitúan 50 mm por debajo de las precipitaciones mensuales históricas. El déficit es más marcado en los meses de setiembre, octubre y diciembre a febrero, donde los niveles de precipitaciones son inferiores al 50 % del promedio histórico. Esto tiene como consecuencia que en el año se registraron apenas 654 mm totales en la estación meteorológica de INIA Las Brujas, recordando que la media anual es de 1100 mm. A su vez, las precipitaciones del año 2020 y 2021 (años previos) también fueron escasas, totalizando 786 y 904 mm respectivamente (INIA, s.f.).

Tabla 3*Precipitación efectiva del ciclo de crecimiento e histórica de los últimos 30 años*

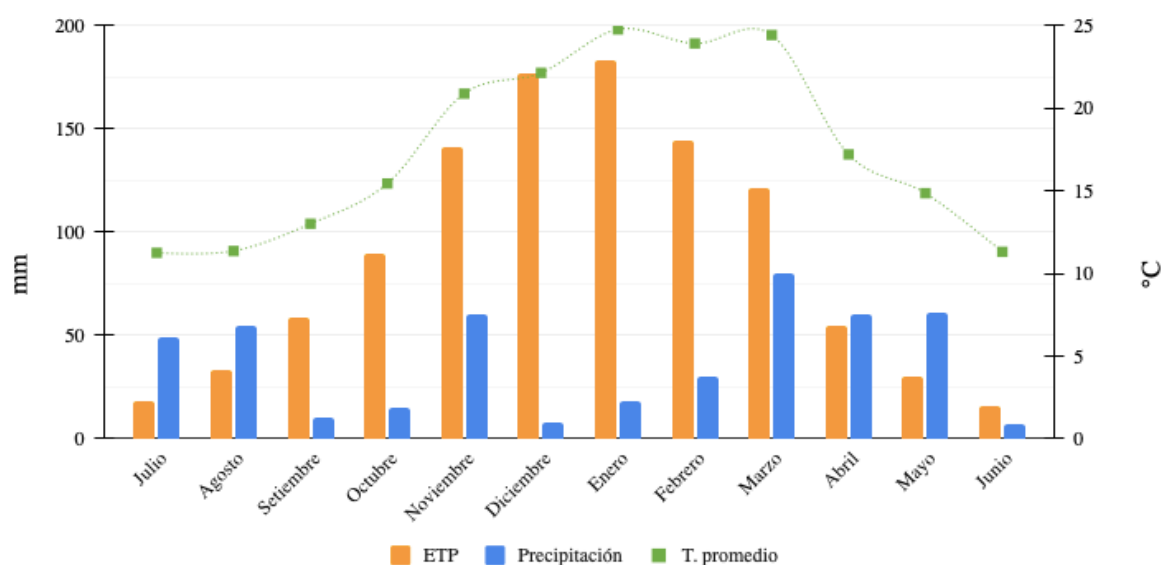
Mes	Precipitación efectiva (mm)	Precipitación efectiva 30 años (mm) ²
Agosto	55,0 ¹	79,5
Setiembre	10,0 ¹	86,5
Octubre	15,0 ¹	90,5
Noviembre	60,0 ¹	89,4
Diciembre	8,0 ¹	84,6
Enero	18,0 ¹	80,4
Febrero	30,0 ¹	81,4
Marzo	79,8 ²	84,9

Nota. ¹ Datos proporcionados por el establecimiento. ² Adaptado de INIA (s.f.). Estación experimental Las Brujas; Período: 1/1/1993 – 31/12/2022; Variable: Precipitación efectiva en mm.

En la figura 5 se observa comparativamente la temperatura promedio, la precipitación efectiva y la evapotranspiración (ETP) dentro del año ejercicio (julio 2022 - junio 2023). Allí se puede observar que la precipitación llega a cubrir la ETP únicamente en los meses de abril, mayo, julio y agosto. En los meses más cálidos y donde se da el desarrollo de la vid (setiembre - marzo), la ETP es ampliamente superior que la precipitación registrada para dicho período.

Figura 5

Distribución anual en el ejercicio 22 -23 de temperatura promedio, precipitación efectiva y ETP



Nota. ETP: evapotranspiración potencial. Elaborado con base en INIA (s.f.) y datos proporcionados por el establecimiento. Estación experimental Las Brujas; Período: 1/7/2022 – 31/6/2023; Variables: Precipitación efectiva en mm; T máx; T mín; Evapotranspiración Penmann.

4.4 BALANCE HÍDRICO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el cálculo del índice de bienestar hídrico (IBH) para los distintos balances hídricos realizados (Tabla 4). Allí se puede observar cómo el déficit hídrico comienza a ser importante en los meses de mayor temperatura y demanda atmosférica.

Tabla 4*Índice de bienestar hídrico de la vid para los distintos balances hídricos*

Década/Mes	Base	Sin riego	Con riego
1° Setiembre	0,8	0,9	0,9
2° Setiembre	0,6	0,7	0,7
3° Setiembre	0,6	0,6	0,6
1° Octubre	0,5	0,6	0,7
2° Octubre	0,5	0,6	0,6
3° Octubre	0,7	0,6	0,8
1° Noviembre	0,3	0,4	0,5
2° Noviembre	0,7	0,7	0,7
3° Noviembre	0,3	0,3	0,5
1° Diciembre	0,4	0,4	0,4
2° Diciembre	0,3	0,3	0,7
3° Diciembre	0,5	0,4	0,7
1° Enero	0,1	0,1	0,1
2° Enero	0,1	0,1	0,3
3° Enero	0,1	0,1	0,5
1° Febrero	0,1	0,1	0,1
2° Febrero	0,2	0,2	0,4
3° Febrero	0,4	0,3	0,3

Nota. Niveles del índice de bienestar hídrico: 1 - 0,7: Escasez teórica; las plantas reciben agua de forma continua (color verde). 0,7 - 0,5: Restricción paulatina de la capacidad de satisfacer la demanda de agua (color amarillo). 0,5 - 0,2: Suministro de agua periódico y restrictivo; escasez que provoca pérdidas de biomasa (color naranja). <0,2: Estrés hídrico grave (color rojo). Elaborado con base en Cruz et al. (2014).

Se observa cómo claramente el riego tiene un efecto amortiguador sobre el déficit hídrico, principalmente en las etapas iniciales del ciclo hasta la época de cierre de racimo (diciembre). Mientras tanto, el IBH de base con respecto al sin riego, fueron muy similares.

Tal como se observa en la tabla, a partir de la tercera década de noviembre y durante todo el período de crecimiento de las bayas, las plantas sin riego se encontraron con un déficit hídrico severo, según el nivel de IBH. En tanto, en la situación bajo riego, este efecto fue menor y comenzó a ser más grave cuando el crecimiento ya estaba

avanzado. Durante el período de crecimiento vegetativo, el estrés estuvo más controlado, empeorando considerablemente post cuajado.

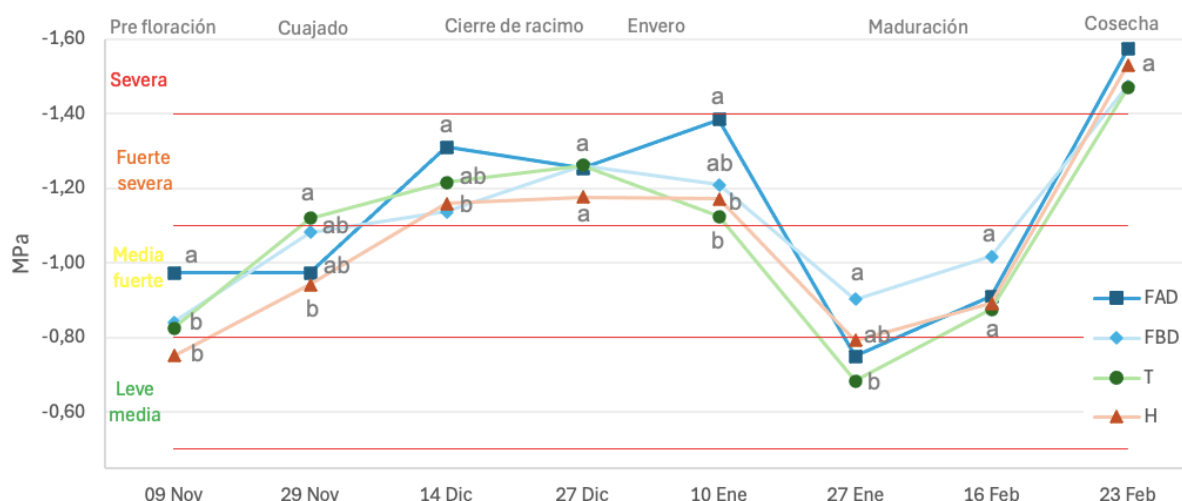
4.5 MONITOREO DEL ESTADO HÍDRICO A LO LARGO DEL CICLO

La evaluación del potencial hídrico demostró, en la etapa de prefloración, niveles de estrés leve para el tratamiento H, mientras que para los restantes tratamientos fue moderado. Esto estuvo acompañado también por bajas temperaturas, lo que, en conjunto, provocó un crecimiento pobre de las plantas, de acuerdo con las observaciones de campo. Tanto el estado de las plantas, como del suelo, denotó signos de déficit hídrico.

Para la fase de post cuajado, los tratamientos H, FAD y FBD se encontraban con estrés hídrico moderado. Mientras que el tratamiento T presentaba un rango de estrés fuerte, en el cual se sitúan de forma relativamente constante todos los tratamientos a partir de la siguiente medida y hasta la etapa de envero, como se observa en la figura 6.

Figura 6

Potencial hídrico de tallo medido a mediodía durante el ciclo de crecimiento



Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$). Niveles de restricción (MPa); 0 a -0,5: nula a leve. -0,5 a -0,8: leve a media. -0,8 a -1,1: media a fuerte. -1,1 a -1,4; fuerte a severa. < -1,4: severa. Elaborado con base en Ojeda (2007).

En el período de cuajado y post cuajado, a nivel visual, los distintos tratamientos presentaron una gran diferencia en cuanto al estado fenológico. Se encontraron algunos tratamientos con los racimos totalmente en flor, mientras que otros se encontraban ya cuajados en su totalidad. Siendo el tratamiento de H el más avanzado en todas las recorridas. Además, dentro de un mismo racimo, las bayas presentaban tamaños diferentes y algunas con fácil abscisión. A su vez, los tratamientos de FAD, FBD y T tenían nuevos crecimientos en desarrollo, lo cual es normal, pero las plantas bajo H, en general, no presentaron crecimiento en esta fase.

Previo al cierre de los racimos, seguía habiendo diferencias muy marcadas entre los tratamientos. Se hallaron diferencias en los largos de entrenudos, siendo más cortos en los tratamientos con pasturas. Sobre todo, en los tratamientos bajo trébol, se observó una gran heterogeneidad fenológica dentro de las distintas repeticiones: se podían encontrar plantas en estado de floración hasta otras con bayas en grano arveja.

A su vez, los efectos del déficit hídrico comenzaron a notarse a través de la caída de algunos ápices, así como en las pasturas. En estas se observaron puntas secas y nulo desarrollo. Llegando al envero, se notó un mayor crecimiento vegetativo y continuó siendo marcada la diferencia entre los tratamientos bajo H, en comparación con las pasturas. Las bayas eran de mayor tamaño y comenzaron a enverar antes. Pese a que el potencial hídrico no cambió, hubo una recuperación visual general del ensayo.

Pasado el envero, se observó una disminución del estrés hídrico dejando a T, FAD y H con estrés leve y a FBD con estrés moderado. Previo a esta medición, se había realizado un raleo de racimos a todas las plantas por parte del establecimiento. Posteriormente, se evidenció un nuevo aumento del estrés hídrico, lo que primero llevó a todos los tratamientos a un nivel moderado y, en la última medición, previo a la cosecha, se identificaron niveles de estrés hídrico severo.

Ya en la etapa de maduración, la variabilidad hallada entre el estado fenológico de los distintos tratamientos disminuyó considerablemente. A nivel visual, las bayas eran homogéneas en tamaño y color.

4.6 SEGUIMIENTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA FILA

Se realizó un seguimiento de las pasturas a lo largo del ciclo, para ello se llevó a cabo una observación detallada y reconocimiento de las malezas presentes en los distintos tratamientos.

El tratamiento H se encontró muy enmalezado, desde previo al envero hasta maduración, cuando se realizó una aplicación de Glifosato por parte del productor.

La maleza predominante en este tratamiento fue *Bromus sp.*, la cual estaba presente en todos los centros y en algunos sectores en gran abundancia. Otras malezas asociadas que se observaron fueron *Medicago lupulina*; *Conyza sp.*; *Paspalum dilatatum*; *Lolium multiflorum* y *Picris echioides*, todas ellas en menor medida y de forma esporádica en algunos centros.

En cuanto a FAD, se le realizaron cortes con desmalezadora para bajar la altura por riesgo de helada pre y post brotación; luego se realizó otro corte durante la maduración para disminuir la humedad en el área de racimos, ya que tenía una altura que llegaba a cubrirlos, y también para facilitar la cosecha. Este tratamiento tenía una excelente cobertura de la fila, lo cual impedía el crecimiento de malezas, aunque también se constató la presencia de algunas plantas de *Bromus sp.*, particularmente en una de las repeticiones del tratamiento con FAD.

La FBD no requirió cortes durante la etapa de heladas por encontrarse aún en crecimiento, pero sí se realizó despunte durante la maduración por los mismos motivos

que se hizo en FAD. En cuanto a las malezas asociadas a este tratamiento, se encontraron con bastante frecuencia *Bromus sp.*; *Lolium multiflorum*; *Medicago lupulina*; *Picris echinoides*; *Carduus acanthoides* y *Cirsium vulgare*, destacándose el porte y abundancia de estos últimos dos.

El tratamiento de T, con los mismos objetivos que en FAD, se cortó en la etapa de pre y post brotación. Posteriormente, el trébol semilló y se marchitó entre las etapas de floración y cuajado de la vid, dejando durante todo el crecimiento y maduración de bayas una capa de mulch orgánico sobre la fila y parte del suelo desnudo, como si se tratara de un tratamiento con herbicida.

Más hacia el final del ciclo, las filas ocupadas por trébol eran fundamentalmente conformadas por malezas y suelo desnudo, dado que el trébol no rebrotó hasta la poscosecha. Las malezas observadas en estas filas fueron principalmente *Bromus sp.*; *Paspalum dilatatum*; *Lolium multiflorum*; *Rumex spp.* y *Picris echinoides*. Además, en menor frecuencia, también se observaron *Carduus acanthoides*; *Cirsium vulgare*; *Festuca sp.* y *Conyza sp.*

Como es de notar, las malezas eran en general las mismas en todos los tratamientos, solo la abundancia y porte de estas variaba, dependiendo la cobertura que generaban las pasturas implantadas.

4.7 DESARROLLO VEGETATIVO Y COMPOSICIÓN MINERAL DE LA VID

4.7.1 Superficie foliar expuesta potencial (SFEp)

La superficie foliar expuesta medida en post envero muestra diferencias significativas entre el tratamiento utilizado como testigo (H) respecto a los demás. Dicho tratamiento logró la mayor superficie foliar con 0,86 m²/pl, como se ve en la tabla 5.

Tabla 5
Superficie foliar expuesta potencial según cobertura vegetal

Tratamiento	SFEp (m ² /planta)
FAD	0,64 a
FBD	0,63 a
T	0,58 a
H	0,86 b

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida; SFEp: Superficie foliar expuesta potencial. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$).

4.7.2 Peso de poda, número y peso de pámpanos

Se obtuvieron valores sin diferencias significativas en los parámetros de peso de poda, número y peso de pámpano en la interacción entre pastura y fertilizante (datos no mostrados). El número promedio de pámpanos por planta en todos los tratamientos fue de 7,6.

Al considerar únicamente los datos diferenciados por tratamientos de pasturas, se obtienen diferencias significativas para el peso de poda y peso por pámpano. Esto se puede observar en la tabla 6.

Tabla 6

Peso de poda y de pámpanos según cobertura vegetal

Tratamiento	Peso de poda (g/pl)	Peso pámpano (g)
FAD	103,3 a	14,53 a
FBD	143,3 a	17,40 ab
T	154,2 ab	19,88 ab
H	201,0 b	25,08 b

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$).

El peso de poda es significativamente diferente en H respecto a FBD y FAD, siendo el primero de 200,98 g, mientras que en los otros dos es de 143,25 g y 103,28 g, respectivamente. El tratamiento T constató un peso de poda de 154,23 g, y no se diferencia de ninguno de los mencionados anteriormente.

En cuanto al peso por pámpano, las diferencias son marcadas para FAD, que tiene el menor peso (14,53 g), en comparación con H (25,08 g), que es el de mayor peso. Los tratamientos FBD y T, por otro lado, presentan niveles de peso intermedios, sin diferenciarse entre sí, ni con los restantes tratamientos.

4.7.3 Análisis de composición mineral foliar

En el análisis de hoja, se aprecian diferencias significativas entre las interacciones de tratamientos en los contenidos de nitrógeno, mientras que en los de magnesio y potasio no hay diferencias. Como se puede ver en la tabla 7, la combinación de tratamientos con menor contenido de nitrógeno es FAD x 0 (1,88 %). Los que presentan una cantidad significativamente mayor de este nutriente, son las combinaciones de T con US (2,42 %), UF (2,41 %) y COR (2,40 %), es decir, todos los cruzamientos que contienen trébol y algún tipo de fertilizante.

Tabla 7

Nitrógeno foliar según combinación de tratamientos entre cobertura vegetal y fertilizantes

Tratamientos	0	US	UF	COR	Promedio ¹
FAD	1,88 a	1,97 ab	2,05 ab	2,02 ab	1,98 a
FBD	2,13 ab	2,08 ab	2,23 ab	2,21 ab	2,16 b
T	2,15 ab	2,42 b	2,41 b	2,40 b	2,35 c
H	1,96 ab	2,07 ab	2,17 ab	2,21 ab	2,10 ab
Promedio ²	2,03 a	2,14 ab	2,21 b	2,21 b	

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida; 0: Cero nitrógeno; US: Urea al suelo; UF: Urea foliar; COR: CoRoN. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$). Promedio¹: Cada valor representa la media de los cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada. Promedio²: Cada valor representa la media de los cuatro tratamientos de coberturas.

Al desglosar los datos de nitrógeno separando las interacciones entre los tratamientos, centrándonos en cada pastura y tratamiento de fertilización nitrogenada, las diferencias significativas son más marcadas. En el caso de las pasturas, la que aportó los niveles más elevados de nitrógeno fue T (2,35 %), mientras que H aportó niveles que no se diferenciaron de ninguno de los tratamientos con festuca. Sin embargo, entre ellas se notan diferencias, siendo la de menor aporte FAD (1,98 %).

En tanto, los fertilizantes que aportan niveles más elevados de nitrógeno fueron COR y UF, ambos con un valor de 2,21 %, aunque no se diferencian significativamente de los restantes tratamientos como se puede ver en la fila de promedio. En el caso de la ausencia de fertilización, se registran los menores niveles de nitrógeno foliar (2,03 %), pero no son significativamente diferentes a los de US (2,14 %).

Pasando a los aportes de magnesio, este nutriente tuvo diferencias significativas si se compara entre los diferentes tratamientos de pasturas, como es posible ver en la tabla 8. Las festucas tuvieron los niveles más bajos e iguales entre sí, en tanto T y H presentaron niveles significativamente más elevados que las anteriores, aunque no diferentes entre ellos.

Tabla 8

Niveles de magnesio, potasio y su relación en hoja según cobertura vegetal en la fila

Tratamiento	Mg (%)	K (%)	K/Mg
FAD	0,27 a	0,60 a	2,18 a
FBD	0,27 a	0,55 a	2,07 a
T	0,32 b	0,65 a	2,06 a
H	0,32 b	0,60 a	1,89 a

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$).

Para el caso de los contenidos de potasio, no se aprecian diferencias significativas entre los tratamientos. Al tener en cuenta la relación K/Mg, esta tampoco tiene diferencias significativas a pesar de que el contenido de magnesio es diferente entre los tratamientos. Una alta relación implica que el contenido de magnesio es menor respecto al de potasio.

4.8 DESARROLLO REPRODUCTIVO Y COMPOSICIÓN DE LA BAYA

4.8.1 Sólidos solubles totales, acidez total, ratio, pH, antocianos fácilmente extraíbles e índice de polifenoles totales

Respecto a los parámetros medidos durante la evolución de la maduración, mirando solo los valores a cosecha, se encontraron diferencias significativas en los sólidos solubles totales (°Brix) y el índice de polifenoles totales. Estos datos se pueden ver en la tabla 9.

Tabla 9*Valores de composición de baya en cosecha según cobertura vegetal*

Trat.	SST (°Brix)	AT (g/l H ₂ SO ₄)	Ratio (°Brix/AT)	pH	ApH 3,2 (mg/l)	IPT (g/l)
FAD	24,83 ab	4,10 a	6,06 a	3,46 a	1288,3 a	74,6 ab
FBD	23,95 a	4,13 a	5,82 a	3,48 a	1265,9 a	76,9 b
T	24,40 ab	3,98 a	6,14 a	3,40 a	1311,9 a	72,7 ab
H	26,00 b	4,05 a	6,42 a	3,43 a	1396,7 a	68,8 a

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida; SST: sólidos solubles totales; AT: acidez total; ApH 3,2: antocianos fácilmente extraíbles; IPT: índice de polifenoles totales. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$).

El tratamiento de H fue el que logró mayor contenido de SST con un valor de 26 °Brix, diferenciándose significativamente de FBD, la cual obtuvo el contenido de °Brix más bajo (23,95). Lo contrario ocurre con los polifenoles, ya que en este último tratamiento se logró el valor más elevado, registrando 76,9 g/l, mientras que en el H se obtuvieron 68,6 g/l.

Los niveles de antocianos fácilmente extraíbles no tienen diferencias significativas, pero existe una tendencia donde el tratamiento H fue el que obtuvo un mayor valor con 1396,7 mg/l. Contrastando con FBD, que obtuvo el valor más bajo con 1265,9 mg/l.

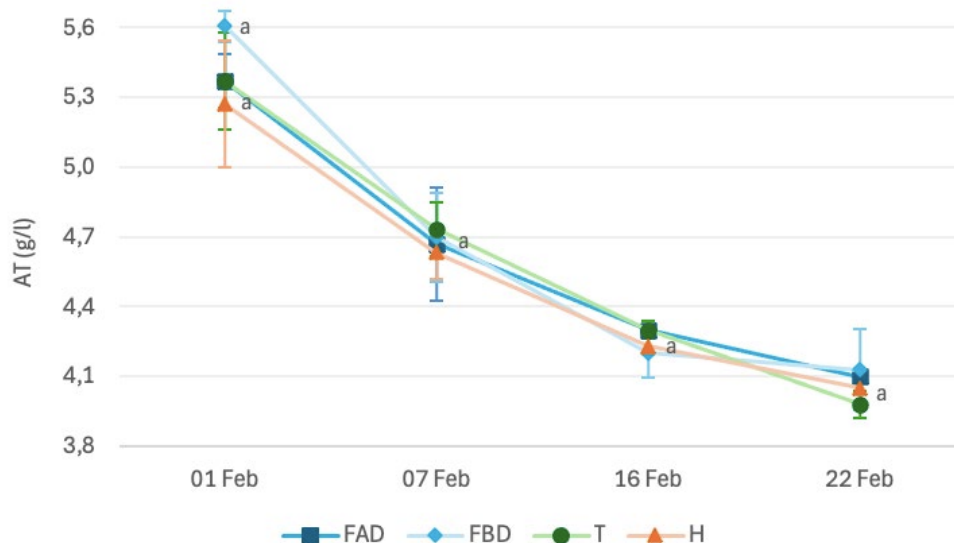
Con respecto a los niveles medidos de acidez total, ratio y pH, no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos cuantificados. A pesar de que los contenidos de SST mostraron diferencias significativas, esto no se reflejó en los valores de ratio.

4.8.2 Evolución de la maduración

Si bien los valores finales de acidez total no fueron significativamente diferentes dentro de una misma fecha, en la figura 7 se puede observar la evolución de este parámetro durante la etapa de maduración. Allí se nota cómo en la medición inicial, los tratamientos presentaban una mayor variabilidad de datos. Es destacable que la caída de la acidez fue más pronunciada al inicio, tendiendo a estabilizarse en las últimas mediciones. Entre el 1 y el 7 de febrero existe una caída de aproximadamente 0,7 g/l de la acidez, mientras que entre el 16 y el 22 de febrero la caída es de unos 0,2 g/l.

Figura 7

Evolución de la acidez total durante la maduración de la baya según cobertura vegetal



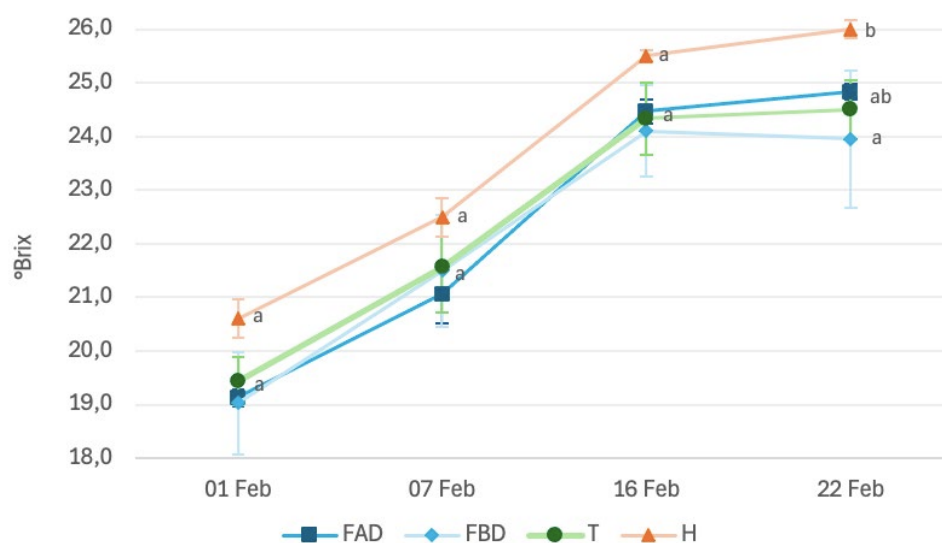
Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida; AT: acidez total. Letras iguales no muestran diferencia significativa dentro de una misma fecha (Tukey $\alpha=0,05$).

En el caso del contenido de SST, la evolución fue diferente. Como se puede apreciar en la figura 8 existe una clara tendencia sobre el tratamiento H, el cual siempre obtuvo valores mayores a los demás, pero sin diferencias significativas. En la última medición fue cuando hubo mayor variabilidad de datos, y se nota una diferencia significativa entre H y FBD. En el caso particular de FBD, se observa una leve disminución de los °Brix hacia la cosecha, acompañada de un aumento en la variabilidad de los datos.

A su vez, al igual que en el caso de la AT, la acumulación de SST evoluciona rápidamente hasta el 16 de febrero. Notándose un incremento de 2 °Brix entre el 1 y 7 de febrero, y de 3 °Brix del 7 al 16 de febrero, mientras que, entre el 16 y 22 de febrero el aumento es en promedio de 0,5 °Brix, marcando casi una detención de la acumulación de SST. Además, los valores iniciales de acidez total y SST demuestran una evolución más temprana de la maduración del tratamiento H.

Figura 8

Evolución de los sólidos solubles totales durante la maduración de la baya según cobertura

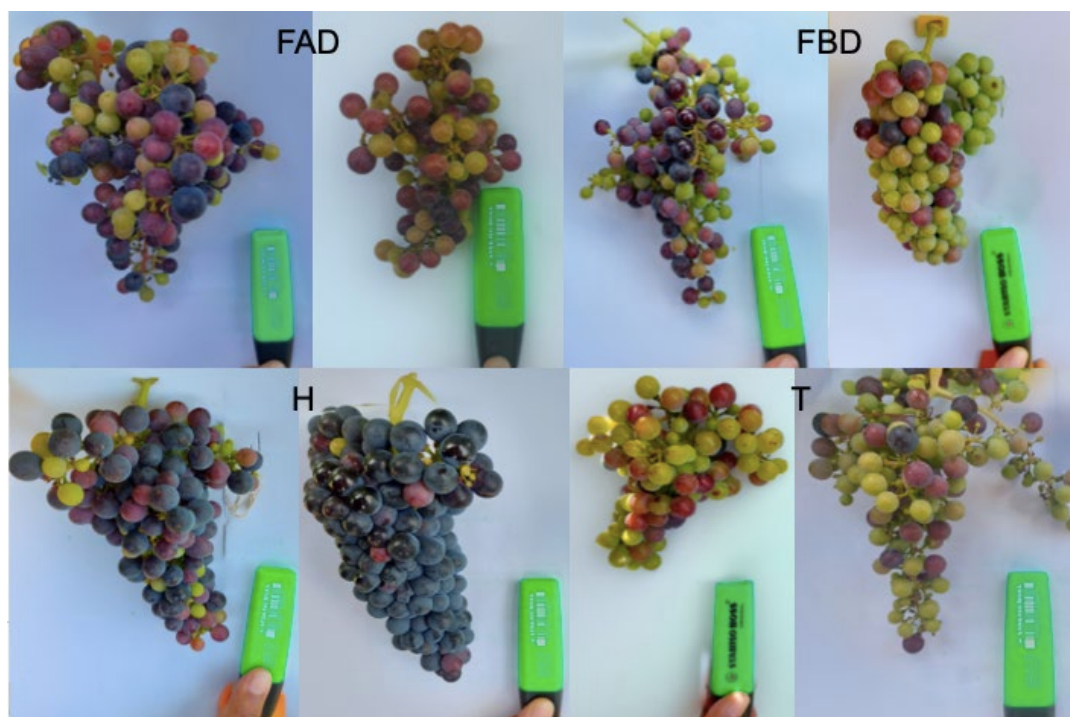


Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida. Letras iguales no muestran diferencia significativa dentro de una misma fecha (Tukey $\alpha=0,05$).

Al día 19 de enero, se encontraba una fuerte diferenciación visual en el avance del envero de los diferentes tratamientos. Como se aprecia en la figura 9, el tratamiento H posee más del 50 % de las bayas de color, mientras que en los otros tratamientos no es así. Principalmente, el tratamiento T, era el que se encontraba más atrasado en cuanto a pigmentación. También se aprecian diferencias en cuanto al tamaño de bayas, racimos y compacidad.

Figura 9

Fotos de racimos de todos los tratamientos de cobertura vegetal el 19 de enero



Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida.

4.8.3 Nitrógeno fácilmente asimilable

Acerca del FAN medido en mosto, se encontraron diferencias en las interacciones de tratamientos. Siendo los de menor contenido la urea al suelo tanto en FAD como en FBD, ambos con 61,6 mg/l. El tratamiento de T con COR, obtuvo valores de 102,2 mg/l como se puede ver en la tabla 10; mientras que la combinación de tratamientos que obtuvo los mayores resultados, destacándose significativamente de la mayoría de las combinaciones, fue la de T con UF, alcanzando 109,2 mg/l.

Tabla 10

Nitrógeno fácilmente asimilable según combinación de tratamientos y promedios

Tratamientos	0	US	UF	COR	Promedio ¹
FAD	70,0 ab	61,6 a	67,2 ab	65,8 ab	66,2 a
FBD	72,8 abc	61,6 a	77,0 abc	71,4 ab	70,7 a
T	79,8 abc	91,0 abc	109,2 c	102,2 bc	95,6 b
H	70,0 ab	72,8 abc	92,4 abc	74,2 abc	77,4 a
Promedio ²	73,2 ab	71,8 a	86,5 b	78,4 ab	

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida; 0: Cero nitrógeno; US: Urea al suelo; UF: Urea foliar; COR: CoRoN. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$). Promedio¹: Cada valor representa la media de los cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada. Promedio²: Cada valor representa la media de los cuatro tratamientos de coberturas.

Mirando los tratamientos de pastura y fertilizante analizados de forma individual, en el caso de T se observan los mayores valores de FAN, con 95,55 mg/l. Estos son significativamente superiores al resto. En el caso de la US se registran los valores más bajos, mientras que la UF reporta los más elevados con 86,45 mg/l. El 0, así como el COR, no difieren significativamente de US y UF. Esto se puede observar en la fila de promedio de la tabla 10.

4.8.4 Peso de baya y racimos

Las medidas de peso de baya y racimos se pueden apreciar en la tabla 11. En el caso de peso de racimo, se evaluó también la combinación de pastura con fertilizante, pero como estos no tuvieron diferencias significativas, se decidió tomar en cuenta sólo los valores en base a pasturas.

Tabla 11

Pesos de baya y racimo según cobertura vegetal

Tratamientos	Peso de baya (g)	Peso de racimo (g)
FAD	1,19 a	131,1 a
FBD	1,16 a	163,9 ab
T	1,21 a	163,6 ab
H	1,35 a	185,5 b

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$).

Los pesos de baya fueron muy similares, pero con una tendencia a favor de H. Los racimos más grandes se encontraron en las plantas bajo H, pesando 185,5 g, mientras que los racimos más pequeños fueron obtenidos en el tratamiento de FAD con 131,1 g. Entre ellos son significativamente diferentes, sin embargo, no se diferencian de los racimos de T y FBD.

4.8.5 Rendimiento

En cuanto a los rendimientos obtenidos por planta, no se observan diferencias significativas. Existe una predisposición a que los mayores pesos fueron obtenidos en el tratamiento de H con las diferentes combinaciones de fertilizante, siendo los valores 1902,4 g; 1888,0 g y 1866,7 g para US, COR y UF respectivamente. Los cruzamientos de pasturas con 0 fueron los que tuvieron una tendencia a producir los rendimientos más bajos, como se puede visualizar en la tabla 12. Al realizar una prueba menos exigente (Tukey $\alpha=0,10$), se obtienen diferencias significativas únicamente entre FAD x 0 con H x US (datos no mostrados).

Tabla 12

Rendimiento según combinación de tratamientos entre coberturas vegetales y fertilizantes

Tratamientos	0	US	UF	COR	Promedio ¹
FAD	834,8 a	1417,5 a	1246,2 a	1236,8 a	1181,4 a
FBD	881,0 a	1218,8 a	1227,5 a	1641,7 a	1239,7 a
T	1056,5 a	1579,2 a	1503,2 a	1573,3 a	1428,1 ab
H	1564,5 a	1902,4 a	1866,7 a	1888,0 a	1829,5 b
Promedio ²	1106,6 a	1553,8b	1435,9 ab	1582,3 b	

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida; 0: Cero nitrógeno; US: Urea al suelo; UF: Urea foliar; COR: CoRoN. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$). Promedio¹: Cada valor representa la media de los cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada. Promedio²: Cada valor representa la media de los cuatro tratamientos de coberturas.

Al mirar los datos de rendimiento por tratamientos de forma separada, se aprecia una diferenciación entre FAD y FBD respecto a H, donde se alcanza el mayor rendimiento con 1829,5 g/pl. Luego, al observar los datos según la fertilización, el tratamiento 0 tiene el peso más bajo (1106,6 g/pl), a su vez, este es significativamente diferente que los obtenidos con US y COR que lograron los mayores rendimientos con 1553,8 y 1582,3 g/pl respectivamente.

4.8.6 Enfermedades y compacidad del racimo

En cuanto al estatus sanitario, evaluado mediante apreciación visual en el momento de la cosecha, no se observó la presencia de enfermedades típicas de esta etapa en ninguno de los tratamientos. Entre las enfermedades comunes en este período se incluyen la podredumbre gris (*Botrytis cinerea*) y podredumbre ácida (complejo fungo bacteriano).

Se constató la presencia de bayas dañadas por abejas (*Apis mellifera*). Estos daños no pudieron cuantificarse durante la cosecha, pero fueron observados en los días previos. Aunque no se trata de una enfermedad en sí, las heridas provocadas en los hollejos pueden ser vía de entrada para algunos patógenos causantes de podredumbres.

Otro parámetro cuantificado de forma visual durante la cosecha fue la compacidad. Los valores obtenidos no poseen diferencias significativas, como se observa en la tabla 13. Este índice tiene un rango de 1 a 5, donde 1 corresponde a los racimos menos compactos y 5 a los de mayor compacidad. Se puede apreciar que los racimos más compactos tienden a ser obtenidos en el tratamiento de FBD, mientras que los de menor compacidad se observaron en FAD.

Tabla 13*Compacidad de racimos según cobertura vegetal*

Tratamiento	Índice de compacidad (1-5)
FAD	2,53 a
FBD	2,90 a
T	2,65 a
H	2,68 a

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$).

4.9 ÍNDICES FISIOLÓGICOS

Con los datos recabados durante la fase de campo, y con el fin de poder analizar más en profundidad los mismos, se calcularon algunos índices fisiológicos. Estos índices relacionan fundamentalmente lo que es el desarrollo vegetativo con el desarrollo reproductivo y sirven para tener una idea más aproximada del equilibrio de la planta en el ejercicio analizado.

4.9.1 Superficie foliar expuesta potencial por carga

En la tabla 14, se puede observar la distribución de la SFEp por carga de fruta. Allí se destacan diferencias significativas fundamentalmente entre el tratamiento de T y FBD, siendo T el de menor valor. Los tratamientos FAD y H no difieren significativamente de los otros dos ni entre sí. En orden creciente de SFEp/carga, se observa que los tratamientos FAD y FBD presentaron una mayor superficie vegetal para sostener el rendimiento obtenido, mientras que T y H tuvieron una menor área fotosintética en función de sus niveles productivos.

Tabla 14

Superficie foliar expuesta potencial por carga de fruta según cobertura vegetal

Tratamiento	SFEp/carga (m ² /kg)
FAD	0,64 ab
FBD	0,79 b
T	0,39 a
H	0,52 ab

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida; SFEp/carga: Superficie foliar expuesta potencial por carga de fruta. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$).

4.9.2 Índice de Ravaz

Al analizar el índice de Ravaz, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos, así como en las combinaciones de pasturas por fertilizantes (tabla 15). Existe una tendencia en los tratamientos combinados de COR y pasturas a brindar valores de Ravaz más elevados. Mientras que los índices más bajos fueron registrados en 0 fertilización. Además, H tuvo una predisposición a generar valores más equilibrados independientemente de la fertilización utilizada. En cambio, T y FBD tienden a generar valores dentro del equilibrio en ausencia de fertilización (0) o con US.

Tabla 15

Índice de Ravaz según combinación de tratamientos entre cobertura vegetal y fertilizantes

Tratamientos	0	US	UF	COR
FAD	10,7 a	12,7 a	11,2 a	13,8 a
FBD	6,7 a	10,2 a	11,2 a	13,6 a
T	6,8 a	9,6 a	11,3 a	11,2 a
H	8,6 a	8,5 a	10,2 a	10,0 a

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida; 0: Cero nitrógeno; US: Urea al suelo; UF: Urea foliar; COR: CoRoN. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$).

4.9.3 Producción de materia seca

Al mirar los tratamientos (tabla 16), el H tiene la mayor producción de materia seca (466,4 g/pl), diferenciándose significativamente de las pasturas, dentro de las cuales, FAD es proclive a tener el valor más bajo, con solo 287,9 g/pl. En la tabla 17 se pueden ver los datos obtenidos para las diferentes dosis de fertilizante. El valor más bajo (297,7 g/pl) es obtenido con 0 nitrógeno. Este no es diferente significativamente de los obtenidos con UR o COR, pero sí de US, con la cual se alcanzan valores de producción de materia seca de 391,5 g/pl.

Tabla 16

Producción de materia seca por planta según cubierta vegetal

Tratamiento	Prod. MS (g/pl)
FAD	287,9 a
FBD	319,6 a
T	362,7 a
H	466,4 b

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida; Prod. MS: Producción de materia seca. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$). Cada valor representa la media de los cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada.

Tabla 17

Producción de materia seca por planta según tratamiento de fertilizante

Tratamiento	Prod. MS (g/pl)
0	297,7 a
US	391,5 b
UF	358,5 ab
COR	388,9 ab

Nota. 0: Cero nitrógeno; US: Urea al suelo; UF: Urea foliar; COR: CoRoN; Prod. MS: Producción de materia seca. Letras iguales no muestran diferencia significativa (Tukey $\alpha=0,05$). Cada valor representa la media de los cuatro tratamientos de cobertura vegetal.

5 DISCUSIÓN

5.1 CONDICIONES EDAFO-CLIMÁTICAS

Las condiciones climáticas que primaron durante el ciclo en estudio fueron atípicas, en varios de los aspectos tomados en cuenta. Las temperaturas medias desde noviembre hasta marzo fueron en promedio 2 °C superiores a los valores de los últimos 30 años, coincidiendo con lo que plantean Barreiro et al. (2019) y Bidegain et al. (2013) sobre el cambio climático y el calentamiento global.

A su vez, el registro de precipitaciones para el mismo período estuvo muy por debajo de los valores normales esperables. En particular, durante los meses de setiembre, octubre, diciembre y enero, donde las precipitaciones fueron entre un 88 y un 90% inferiores al promedio de los últimos 30 años.

Las tendencias climáticas de Uruguay entre 1961 y 2017 indican un aumento en el promedio anual de precipitaciones de 200 mm en la región sur, así como un aumento en la frecuencia de eventos extremos de precipitaciones (Barreiro et al., 2019). El año en estudio correspondió al tercer año consecutivo bajo el efecto climático de “La Niña”, cuyos impactos sobre esta región se caracterizan por déficit en las precipitaciones, sobre todo de primavera e inicio de verano (Barreiro et al., 2019).

Desde setiembre hasta marzo la ETP fue superior a las precipitaciones. Esto explica que el balance de agua en el sistema suelo - planta - atmósfera fuese negativo, dado que hay un menor ingreso al sistema y una mayor salida. Esto se corresponde con lo planteado por Schultz (2000), quien señala que los aumentos en la temperatura traerán aparejados incrementos en la evapotranspiración y, por ende, existe un menor reservorio de agua en el sistema. Lo habitual es que esto ocurra durante los meses del verano (Barreiro et al., 2019), pero aquí se observó también durante toda la primavera. Además, al ser el tercer año de déficit hídrico, las reservas de agua en el suelo estaban muy limitadas.

Según los resultados obtenidos en el análisis químico y los aspectos observados a campo, se puede concluir que el suelo donde está instalado este ensayo es un Vertisol. Estos se caracterizan por tener texturas finas y presentar alta fertilidad natural, con contenidos de materia orgánica naturalmente muy elevados y colores muy oscuros. A su vez, una de sus características más particulares es que se agrietan cuando hay períodos de humedad alternante. Sumado a esto, presentan la capacidad de auto mezclado, debido a los tipos de arcillas presentes. Otro aspecto a resaltar es la alta capacidad de retención de agua que presentan, debido a la alta cantidad de arcilla (Altamirano et al., 1976).

Durante la calicata se llegó a una profundidad de 1,1 metros y se encontraron raíces en todo el perfil, lo cual fue llamativo dados los niveles de arcilla hallados, y por tratarse de un suelo con un Bt desarrollado. Esto podría verse explicado por la falta de agua y la competencia con la festuca; se podría suponer que las raíces tendieran a crecer en profundidad buscando disminuir la competencia con la pastura y hallar alguna fuente de agua (Celette et al., 2008; Morlat & Jacquet, 2003; Vanden Heuvel & Centinari,

2021). Aun así, se observó lateralización de algunas raíces a una profundidad de 15 - 30 cm.

Como explican Pereyra et al. (2023), una alta densidad de raíces se asocia con contenidos altos de humedad y nitrógeno. En este caso, si bien se observaron raíces en todo el perfil, estas no se consideran abundantes y podría explicarse por el contexto climático que transcurría. En el trabajo realizado por estos mismos autores, resaltan que, ante la falta de agua y nitrógeno, la planta tiende a alargar la vida útil de las raíces ya existentes y evitar el nuevo desarrollo.

Asociado a esto y como señalan los mismos autores, la falta de agua, así como una compactación del suelo, pueden alterar la actividad microbiana y la absorción de nitrógeno, limitando también el alargamiento de raíces y el vigor de la planta. Pese a que es un suelo naturalmente rico en nutrientes y con alta capacidad de retención de agua, la competencia con la pastura en un año con condiciones hídricas altamente deficitarias, hizo que se disminuyera mucho el vigor de la planta, tanto aéreo como subterráneo.

Los niveles de pH medidos son bastante bajos en general. Los 30 cm de suelo analizados se encuentran en un rango ácido, siendo de 5,64 en los primeros 15 cm y 5,58 en los siguientes 15 cm. Este es un valor de alerta para la producción de vid, dado que los efectos en la planta provocados de la acidez comienzan a hacerse visibles en un rango de pH de 5,5 - 6 (Porta Casanellas et al., 1999, Urbano, 2002 como se citan en Quiroga, 2014).

Como señala Quiroga (2014), estos bajos niveles de pH podrían perjudicar la absorción de algunos nutrientes como N, P, K y Ca, sobre todo considerando que tienden a disminuir en profundidad y con el tiempo. En el caso del potasio, su absorción también podría verse comprometida por la relación K/Mg, la cual es de 0,1. Mientras que los niveles de P obtenidos son los habituales para esta zona y tipo de suelos (N. Merino, comunicación personal, 19 de setiembre, 2024). Además, cabe destacar que el contenido de fósforo presente no implica que se encuentre disponible para las plantas en su totalidad, dado que generalmente se encuentra retenido por los coloides del suelo o formando otros compuestos.

En cuanto a los niveles de MO, estos son elevados, sobre todo en los primeros 15 cm donde el contenido es de 4,5 %. Esto podría atribuirse al lugar donde se realizó el análisis, ya que es un suelo que lleva 2 años cubierto por una pastura del tipo gramínea. Aun así, al tratarse de un vertisol, también podría deberse a su elevada fertilidad natural. Teniendo en cuenta lo planteado por Spring et al. (2003), y considerando que se trata de un suelo con un contenido de arcilla superior al 30 %, como este autor plantea, es normal encontrar un contenido de MO cercano a 2,9 %.

5.2 MONITOREO Y EFECTOS DEL ESTADO HÍDRICO

Con los tres balances hídricos realizados, se puede observar que principalmente, entre el de base y el sin riego, los resultados son muy similares. Cuando se aplicó riego, las plantas mantuvieron un nivel de confort más elevado durante casi todas las décadas. Es importante destacar que, cuando esto no se aprecia, es debido a ineficiencias en la

aplicación del riego, dada la baja disponibilidad de agua por la fuerte sequía que transcurría.

También es importante resaltar que el riego utilizado fue localizado (por goteo), cuyas aplicaciones deben ser de alta frecuencia. En este caso, el riego más frecuente fue de una vez por semana, por lo que la distribución del agua es diferencial. También, al observar la distribución de las raíces en el suelo, se aprecia que las raíces absorbentes se encuentran mayoritariamente a partir de los 20 cm de profundidad, por lo que es probable que no hayan podido aprovechar correctamente el agua proporcionada por el sistema de riego.

El desarrollo de raíces en niveles más profundos del suelo podría asociarse a la presencia del cultivo de cobertura, dada la competencia que establecen (Lakso & Pool 2005; Smart et al., 2006; Vanden Heuvel & Centinari, 2021). Por otro lado, podría atribuirse al alto nivel de estrés hídrico, ante el cual las plantas tienden a desarrollar raíces en profundidad con el fin de encontrar alguna fuente de agua. Esto termina repercutiendo en el desarrollo vegetativo, puesto que implica un cambio en la asignación de fotoasimilados (Levin, Matthews et al., 2020). De acuerdo con Smirnoff (1998), la relación raíz/brote se incrementa en condiciones de estrés hídrico para facilitar la absorción de agua.

Al realizar un análisis comparativo del IBH y el potencial hídrico del viñedo a lo largo del ciclo de crecimiento, se pueden apreciar grandes diferencias. Comenzando en la época de pre floración (inicios de noviembre), que es cuando se comenzaron a recabar datos de potencial. En ese momento el IBH era de 0,5 para el cálculo con riego, mientras que, el potencial estaba en un nivel de estrés medio - fuerte para todos los tratamientos, a excepción de H, el cual se encontraba en estrés leve.

Cabe destacar que los valores de IBH menores a 0,5 implican un nivel de escasez de agua que ya está generando pérdidas de biomasa en las plantas. Cuando este se hace menor a 0,2, el estrés hídrico ya se considera grave. Por encima de 0,5, la restricción es más paulatina, y se entiende que con valores superiores a 0,7 las plantas reciben agua de forma continua, por lo que no se vería afectado su desarrollo (Cruz et al., 2014).

A partir de la primera medición de potencial hídrico, este fue en descenso, llegando a alcanzar un nivel de estrés fuerte a severo en la época de cierre de racimos y continuó estable en dicho nivel de estrés hasta envero. Mientras tanto, el IBH de la situación con riego se mantuvo en un rango de confort hídrico sin efectos sobre el desarrollo de la planta, siendo contrastante con el potencial. Por otra parte, los IBH de base y sin riego, indican valores de escasez de agua con riesgo de pérdida de biomasa ($< 0,5$), acercándose más a la realidad del estatus hídrico de la planta, indicado por el potencial.

Es importante resaltar que un estrés hídrico en niveles moderados, fuertes y severos, en el período de floración - envero, puede repercutir en el rendimiento y la calidad de la uva, afectando particularmente el tamaño de baya y alterando la biosíntesis de compuestos de relevancia enológica. Este es el período de mayor exigencia hídrica

y de mayor absorción por parte de las raíces en todo el ciclo de crecimiento (Keller, 2005; 2010).

Durante el inicio de maduración (fines de enero), se vio un incremento sustancial del potencial hídrico, situándolo en nivel medio. Esto podría explicarse por haber realizado la medición en un día nublado y posterior a una lluvia. Considerando que según Van Leeuwen et al. (2010), las condiciones climáticas particulares del día (temperatura, radiación solar, etc.) pueden impactar sobre el potencial hídrico, este podría haber sido un factor que influenció dicho valor en ese día particular.

A su vez, el IBH para esa fecha se situó en 0,5, lo que podría justificarse por la distribución de los datos de riego en el cálculo del IBH, acumulando dos riegos en esta década, además de la lluvia. Es de destacar que este valor representa una mejoría respecto a los valores previos y posteriores, los cuales implican niveles de estrés medio - fuerte.

Respecto a los diferentes niveles de estrés en la etapa de maduración, estos provocan diferencias en los vinos resultantes. Como señala Ojeda (2007), un estrés moderado durante esta etapa permite obtener vinos de carácter equilibrado mientras que, por el contrario, con uvas que atravesaron un estrés severo durante la maduración, los vinos resultantes serían tánicos y astringentes.

Cabe resaltar que, si bien hubo algunas diferencias significativas de potencial hídrico entre los tratamientos, estos en general se encontraban dentro de los mismos rangos de estrés hídrico. Hasta post envero, el tratamiento de H presentó los menores niveles de estrés, contrastando con FAD. Luego, T pasa a ser el tratamiento con menor estrés y FBD el de mayor.

El cambio del potencial hídrico en las plantas bajo H se podría atribuir al enmalezamiento que sufrió dicho tratamiento en un determinado momento del ciclo, pasando a comportarse como un tratamiento con cobertura vegetal espontánea. Esto sumado a una mayor superficie foliar desarrollada en primavera, es capaz de provocar más estrés a la planta. En los otros tratamientos, el follaje era menor pero la demanda hídrica podría ser similar, dado que tenían las pasturas en la fila.

Esto hizo que los tratamientos, con y sin pasturas, se encontraran en los mismos rangos de estrés hídrico. Por otro lado, las condiciones climáticas de altas temperaturas e importante déficit hídrico provocaron una floración y senescencia anticipada del trébol, lo que podría explicar el menor estrés provocado en las plantas de vid luego del envero. Como plantea Ibáñez (2013), el trébol puede ser utilizado como una cobertura temporal, ejerciendo competencia a la vid solo durante la etapa de crecimiento vegetativo dadas las características del ciclo de vida.

Según Lakso y Pool (2005) las restricciones hídricas a inicios de crecimiento no son beneficiosas, ya que estas perjudican el crecimiento vegetativo. En cambio, durante la maduración de baya, un déficit que permita frenar el crecimiento, sin disminuir la fotosíntesis, es lo ideal para obtener vinos de calidad. Gambetta et al. (2020) mencionan que los niveles de potencial hídrico de tallo utilizados con dichos fines son de entre -1,2

y -1,4 MPa y, a su vez, niveles que superen -1,6 MPa ya son perjudiciales, pudiendo incluso llegar a provocar la caída de hojas.

Teniendo en cuenta lo dicho en ambas publicaciones, el problema radicaría principalmente en que hubo déficit hídrico sostenido desde inicios del crecimiento vegetativo y no solo durante la maduración, que es el momento adecuado. Incluso en esta etapa se registraron valores más bajos de potencial que los ocurridos entre cierre de racimo y envero. Estos valores de potencial hídrico estuvieron por debajo de los niveles considerados adecuados para la obtención de vinos de calidad.

Los niveles de estrés sostenidos durante todo el ciclo de crecimiento de la vid son sumamente perjudiciales, ya que no permiten alcanzar los niveles óptimos de desarrollo de la planta. El estrés hídrico cuando se instala tempranamente genera impactos negativos irreversibles, impactando, como ya fue mencionado, en el desarrollo aéreo (Lakso & Pool, 2005; Ojeda, 2007) y del sistema de raíces (Levin, Matthews et al., 2020), en el proceso de floración - cuajado (Keller, 2010), en la multiplicación celular y en el crecimiento de la baya (Keller, 2005, 2010; Lakso & Pool, 2005; Ojeda et al., 2001).

A lo largo de este ensayo se evidenciaron detenciones del crecimiento en los tratamientos con pasturas. Las hojas eran pequeñas, los pámpanos finos y los racimos pequeños. Esto se pudo ver a simple vista y se logró medir, aunque no en todos los parámetros se obtuvieron diferencias significativas.

Además de los efectos ya mencionados, un nivel de estrés severo sostenido durante todo el ciclo de crecimiento, puede repercutir finalmente en la senescencia de células y órganos. Trayendo como consecuencia el aborto de los mismos lo que, según Keller (2015), implica una estrategia adaptativa para enfrentar situaciones de estrés. Se entiende que esto termina teniendo un impacto no solamente en el ciclo presente, sino en los ciclos futuros, dado que existió un gasto de reservas y nutrientes en órganos que terminan siendo abortados.

Se debe tener presente que no fue el primer año en que las plantas estuvieron sometidas a estas situaciones de estrés, considerando que fue el tercer año consecutivo de sequía y, a su vez, los tratamientos estaban en su segundo año de ensayo. Esto implica que probablemente las plantas, principalmente las que tenían pasturas, hayan sufrido un estrés hídrico en la fase de poscosecha anterior a este ensayo. Contando así con un menor nivel de carbohidratos y menor formación de nuevas raíces, las cuales serían encargadas de la absorción de agua y nutrientes para este ciclo (Prats-Llinás et al., 2019). A su vez, para el ciclo posterior se prevén efectos similares, por encontrarse las plantas con un estrés hídrico severo al momento de la cosecha.

5.3 DESARROLLO VEGETATIVO

El desarrollo vegetativo demuestra haber sido fuertemente afectado, en primer lugar, por la sequía, pero también por las pasturas. Las disminuciones en las medidas de los parámetros vegetativos están en concordancia con los datos recabados de potencial hídrico, y coinciden con lo planteado por Ojeda (2007), quien explica que el crecimiento vegetativo es el primer indicador afectado por el estrés hídrico.

A nivel visual se observaron grandes diferencias en el vigor, explicado sobre todo por el largo y grosor de los pámpanos. Estos eran mucho más cortos en los tratamientos con pasturas y algunos no alcanzaban los 20 cm. Asociado a esto, se halló un acortamiento de entrenudos y se detectó caída de ápice próximo a cierre de racimo. Dichas apreciaciones coinciden con Coniberti (2018) e Ibáñez (2013), quienes plantean que las vides bajo cobertura vegetal ven reducido su vigor por la competencia ocasionada por las pasturas.

A su vez, se registraron nuevos crecimientos vegetativos en los tratamientos de pasturas en el período de cuajado y post cuajado, mientras que en herbicida no. Esto podría verse explicado por el mayor vigor alcanzado hasta ese momento en las plantas sobre herbicida, donde una mayor cantidad de fosas vegetativas y mayor superficie de evapotranspiración provocaron un mayor estrés que impedía su crecimiento durante dichas etapas.

Esto se vio reflejado en los datos de SFEP y peso de poda, donde se observaron diferencias significativas del tratamiento H respecto a los demás; este alcanzó 0,86 m²/planta. Si bien este valor fue el más elevado de todo el ensayo, se encontraba muy por debajo de la medida reportada como equilibrada para Tannat conducida en espaldera, la cual es de 1,63 m²/planta, según lo reportado por Echeverría et al. (2017b).

En cuanto al peso de poda, a nivel general también se vio afectado negativamente en todo el ensayo con niveles muy por debajo de lo reportado por Coniberti, Ferrari, Disegna, García Petillo et al. (2018) para la variedad Tannat. Al igual que en la SFEP, el tratamiento H tuvo un peso de poda significativamente mayor que FBD y FAD, siendo estos de 0,20, 0,14 y 0,10 kg/m respectivamente, muy por debajo del óptimo reportado por estos autores de 0,5 - 0,6 kg/m. La reducción de los pesos de poda generada por las cubiertas vegetales, coincide con lo planteado por Karl et al. (2016). Mientras que, al observar el efecto de los tratamientos de fertilización y pasturas en conjunto, no se encuentran diferencias significativas.

A nivel de composición mineral foliar, en cuanto a nitrógeno, todos los tratamientos se encuentran dentro del rango aceptado como óptimo según Fregoni (2005) (tabla 18), a excepción de T, quien se encuentra por encima del mismo con un promedio de 2,35 %. Sin embargo, esto no se vio reflejado en un mayor vigor aéreo, ya que la SFEP fue la más baja de todos los tratamientos, pese a no presentar diferencias significativas con FAD y FBD. Cabe destacar que sí hubo una diferencia significativa en cuanto al FAN, donde T reportó el nivel más elevado.

Tabla 18

Concentración óptima de nutrientes minerales en hoja durante el envero vs valores según cobertura vegetal

	N (%)	K (%)	Mg (%)	K/Mg
Óptimos	1,41 - 2,20 ¹	0,62 - 1,24 ¹	0,20 - 0,43 ¹	1,62 - 5,56 ¹
FAD	1,98	0,60	0,27	2,18
FBD	2,16	0,55	0,27	2,07
T	2,35	0,65	0,32	2,06
H	2,10	0,60	0,32	1,89

Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida. Tomado de ¹ Fregoni (2005).

En cuanto a los demás nutrientes analizados, el Mg de todos los tratamientos se encuentra dentro del rango óptimo, reportando el mayor contenido en T y H. En el caso del K, los valores se encuentran por debajo del límite inferior, a excepción de T que está dentro del rango óptimo. Aun así, esto no repercute en una mala relación K/Mg.

Los bajos niveles de K reportados en hoja podrían estar explicados por la baja relación K/Mg medida en el suelo, ya que esto puede implicar una menor capacidad de absorción. Pese a que los valores medidos están por debajo del nivel óptimo de K para todos los tratamientos, a excepción del T, no se encontraron síntomas de deficiencia. Asimismo, en los análisis, tampoco se halló un desequilibrio en la relación K/Mg.

Si bien todos los tratamientos se encuentran dentro o próximos al rango óptimo de nutrientes foliares, esto no se vio reflejado en una canopia más densa. Esto podría estar explicado porque el factor limitante más marcado durante todo el ciclo de crecimiento fue la falta de agua, por lo que la planta pudo haber priorizado un crecimiento subterráneo en busca de mitigar esta deficiencia.

En cuanto a los niveles de N medidos en hoja, no se encontraron diferencias según los tipos de fertilizantes utilizados. Aunque existe una tendencia de un aporte mayor de este nutriente por parte de los fertilizantes foliares, respecto a la US. También es de destacar, que las diferencias entre US y 0 no fueron significativas y, a su vez, la no aplicación de fertilizantes logró contenidos de nitrógeno dentro de los rangos óptimos para el crecimiento. Por lo cual, el aporte realizado por el suelo fue adecuado, a pesar de la falta de agua y la competencia de malezas y pasturas.

Pese a esto, cabe destacar la diferencia en unidades de nitrógeno utilizadas. En el caso del tratamiento US fueron 25 kg de N/ha, con la UF se aplicaron en total 5,6 kg de N/ha y 4,5 kg de N/ha en COR. Se utilizaron menos de la mitad de las unidades de

nitrógeno en las aplicaciones foliares que en el suelo, implicando una mayor eficiencia en la absorción del nitrógeno cuando este se aplicó foliar en las condiciones del ensayo. A su vez, dentro de los fertilizantes foliares, COR llevó una menor dosis y logró los mismos resultados que UF en cuanto a los niveles de N foliar.

Si se toma en cuenta la interacción pastura - fertilizante, existen algunas diferencias significativas y una tendencia clara, siendo todos los tratamientos de trébol, con cualquier tipo de fertilización, superiores al resto. Evidenciando de esta forma un efecto promotor del trébol sobre el contenido de N en hoja, mientras que en el estudio llevado a cabo por Karl et al. (2016), no encontraron ningún efecto diferencial del trébol blanco sobre otros manejos en la fila.

Algo similar ocurre al mirar los tipos de fertilización. La no aplicación de nitrógeno fue la que otorgó los resultados más bajos para todos los tratamientos de pasturas, así como la US. En cambio, Pérez-Álvarez et al. (2016) en su ensayo obtuvieron mayor concentración de nitrógeno en hoja solo en un año y con la dosis más alta de urea foliar.

5.4 DESARROLLO REPRODUCTIVO

Para poder realizar comparaciones de los datos obtenidos a nivel de desarrollo reproductivo y composición de baya, se utilizaron como referencia dos ensayos realizados sobre la variedad Tannat. El primero fue llevado a cabo por Echeverría et al. (2017a), donde se muestran los resultados de un promedio de cuatro zafas con clima constante (2011 al 2014). El segundo reporte utilizado es de González-Neves et al. (2010), a partir del cual se promediaron los datos obtenidos entre los años 2001 y 2004. Ambos se pueden ver a continuación en la tabla 19.

Tabla 19

Datos de referencia en la variedad Tannat para componentes del rendimiento y composición de baya

Peso de baya (g)	SST (g/l)	AT (gH ₂ SO ₄ /l)	pH	ApH 3,2 (mg/l)	IPT (g/l)
1,68 ¹	203 ± 36 ¹	5,2 ± 1,8 ¹	3,37 ± 0,25 ¹	777 ± 386 ¹	57,5 ± 17 ¹
1,73 ²	229 ²	4,7 ²	3,36 ²	1137,25 ²	74,2 ²

Nota. SST: sólidos solubles totales; AT: acidez total; ApH 3,2: antocianos fácilmente extraíbles; IPT: índice de polifenoles totales. Elaborado con base en ¹ Echeverría et al. (2017a); ² González-Neves et al. (2010).

Al analizar el desarrollo reproductivo obtenido en el ensayo, se destaca nuevamente la gran influencia del clima, disminuyendo el rendimiento notoriamente. Echeverría et al. (2017a) en su ensayo, realizado en condiciones similares de suelo, conducción y manejo, obtuvieron rendimientos de 5417 ± 2096 g/pl. Mientras que, en este trabajo, el máximo rendimiento obtenido fue de 1902,4 g/pl en el tratamiento H. Estas diferencias tan marcadas se podrían adjudicar principalmente a las adversidades

climáticas del año. Como plantean Levin, Deloire et al. (2020), el año consecutivo a un déficit hídrico es de esperarse una reducción del rendimiento.

Cabe resaltar que este efecto se vio más marcado en los tratamientos con pasturas, ya que fueron los que tendieron a presentar menores rendimientos independientemente del método de fertilización. A su vez, aunque los niveles de estrés hídrico para los diferentes tratamientos no tuvieron grandes diferencias, se puede suponer que sí existió una competencia con las pasturas en cuanto a nutrientes, principalmente N. Esto queda en evidencia al observar los datos de rendimientos sin fertilización, donde se encuentra una tendencia a que los rendimientos de los tratamientos con pasturas sean menores a los de H, coincidiendo con lo reportado por Karl et al. (2016), donde las vides con cobertura vegetal en la fila redujeron los rendimientos un 29 % respecto a las filas bajo herbicida.

Esto coincide con lo planteado por Gattullo et al. (2020), quienes señalan que únicamente ante una elevada competencia hídrica, *F. arundinacea* genera mermas en el rendimiento de la vid. Mientras que, en ausencia de ella, no existen grandes diferencias. De acuerdo con esto, en el presente ensayo, donde el déficit hídrico fue muy marcado, los tratamientos con festuca fueron los que tendieron a ocasionar menores rendimientos promedio.

En los casos que hubo fertilización nitrogenada, se observó una menor diferenciación de los rendimientos entre los tratamientos con pasturas y el tratamiento H. Mientras que, entre los diferentes tipos de fertilización aplicadas no se notan grandes diferencias. Cabe considerar que las unidades de nitrógeno aplicadas de forma foliar fueron inferiores a las que se agregaron al suelo, por lo cual, existió una mayor eficiencia de aprovechamiento del nutriente cuando fue aplicado directamente a las plantas.

En el peso de baya, si se compara con los datos de Echeverría et al. (2017a), o con los de González-Neves et al. (2010), también se obtuvieron valores más bajos, con una reducción promedio del 28 % en los diferentes tratamientos. Según lo planteado por Levin, Matthews et al. (2020), ante un déficit hídrico previo al envero, el componente del rendimiento más afectado es el peso de baya. A su vez, Tregoat et al. (2002) encontraron una correlación de $r = 0,92$ entre el peso de baya y el potencial hídrico de la vid.

A nivel de los tratamientos de coberturas vegetales, no se observan diferencias significativas, aunque sí una tendencia del testigo con herbicida a generar valores superiores. En cuanto al peso de racimo, H se diferencia significativamente de FAD y, a su vez, tiende a ser superior que FBD y T. Esto coincide con lo planteado por Karl et al. (2016), quienes encontraron, al comparar vides con trébol en la fila y vides con herbicida, una reducción del 20 y 7 % para peso de racimo y peso de baya respectivamente.

Respecto a los datos recabados en el avance de la maduración, se puede ver que los SST (°Brix) alcanzaron diferencias significativas entre el tratamiento H y FBD, siendo los de mayor y menor graduación respectivamente. A su vez, se nota que, durante toda la evolución de la maduración, el tratamiento H se encontró con valores superiores al resto de los tratamientos.

La concentración de azúcares, de todos los tratamientos, se encuentra por encima respecto a los valores de referencia (Echeverría et al., 2017a; González-Neves et al., 2010). Esto podría ser explicado por el déficit hídrico severo que se registró en torno a la cosecha. Según lo planteado por Mirás-Avalos e Intrigliolo (2017), en algunos ensayos encontraron que el déficit hídrico moderado incrementa el contenido de azúcares y reduce los niveles de AT.

Contrastando, Deloire et al. (2004) y Lakso y Pool (2005) dicen que el déficit hídrico severo puede generar una pausa de la fotosíntesis, influyendo directamente en la maduración de las bayas, con una disminución en el contenido de azúcares. En este ensayo, si bien hubo un incremento en los SST, es probable que este se deba a una deshidratación de las bayas y no a una mayor eficiencia fotosintética, considerando principalmente el contexto climático donde transcurrió el ciclo. Asimismo, este incremento en el contenido de azúcares podría deberse a las temperaturas, que fueron más elevadas de lo habitual (Martínez de Toda, 2019).

Según los datos recabados por Abad et al. (2021), las cubiertas vegetales generan diferentes efectos sobre la concentración de SST en baya. En la mayoría de los casos no hubo modificación, pero, en trabajos como el de Coniberti, Ferrari, Disegna, García Petillo et al. (2018), se reportaron aumentos. Mientras que, Palliotti et al. (2007) y Ripoche et al. (2011) hallaron que las cubiertas vegetales de *F. Arundinacea* provocaron disminución de los SST en baya, respecto al tratamiento testigo. Esta fue atribuida a un fuerte debilitamiento general del viñedo.

En cuanto al efecto de las cubiertas vegetales en el presente ensayo, todas generaron un contenido superior de SST respecto a los niveles de referencia, coincidiendo con lo reportado por Coniberti, Ferrari, Disegna, García Petillo et al. (2018). Sin embargo, estos valores fueron inferiores a los del tratamiento testigo (H), aunque sin diferencias significativas. Por lo cual, no se podría decir que existió un aumento real de los SST por el impacto de las pasturas ya que, los valores en general se enmascaran por el efecto año, ocasionado por la fuerte sequía.

Al mirar la evolución de la acidez total, esta tuvo valores con mayores diferencias entre tratamientos en la primera medición y luego las diferencias fueron disminuyendo, así como la variabilidad de los datos. Es así que, al momento de la cosecha, no había diferencias significativas entre los tratamientos. Estos valores, comparados con los de referencia, son inferiores. Mientras que los niveles de pH son superiores.

Echeverría et al. (2017b), plantea que la interacción año - suelo es el factor más determinante en cuanto al pH. A su vez, destaca el efecto de la relación fuente/fosa en la composición de la uva; valores crecientes hasta 0,80 m²/kg de uva se asocian a disminuciones en la acidez total. En el presente ensayo todos los valores se encontraron por debajo de dicho valor.

Mientras que, Mirás-Avalos e Intrigliolo (2017), plantean disminuciones en la acidez total, atribuida a problemas de déficit hídrico y Martínez de Toda (2019) expone que, si las temperaturas son elevadas, se genera un aumento del pH y una disminución de la acidez, principalmente por la rápida degradación del ácido málico. Además, la síntesis de ácido málico y tartárico, ocurre antes del envero, siendo fuertemente

afectada por el déficit hídrico. Todos estos factores ocurrieron durante el ensayo, siendo las causas más probables por las que la acidez se encuentra en niveles por debajo de los esperados.

Respecto al efecto de las cubiertas vegetales, sobre estos mismos parámetros, no se encontraron diferencias significativas entre las pasturas y el testigo. Mostrando un efecto general del año en la disminución de acidez y no así de las cubiertas. Esto coincide con la revisión realizada por Abad et al. (2021), donde 90% de los casos con pasturas no tuvieron cambios en el pH, y el 72% tampoco reportó cambios en la acidez.

A nivel del índice de polifenoles totales no se hallaron grandes diferencias con lo reportado por Echeverría et al. (2017a) y González-Neves et al. (2010). El tratamiento H se diferenció significativamente de FBD, siendo los de menor y mayor valor respectivamente. Por el contrario, en el caso de los antocianos fácilmente extraíbles, se obtuvieron valores ampliamente mayores que los documentados por estos mismos autores. Siendo nuevamente los tratamientos H y FBD los valores extremos, con 1396,68 y 1265,86 mg/l respectivamente.

Debido a la deficiencia hídrica a la que estuvieron sometidos todos los tratamientos y, según lo reportado por Keller (2005), era de esperarse que los valores de IPT medidos fueran mayores a los documentados para la variedad. Dado que las restricciones hídricas propician una concentración de los polifenoles. Esto coincide con lo analizado por Deloire y Pellegrino (2021) y Mirás-Avalos e Intrigliolo (2017) quienes señalan que un déficit hídrico moderado a severo es promotor de los metabolitos secundarios, principalmente antocianinas y taninos. Sin embargo, Gambetta et al. (2020) plantean que, como efecto secundario del déficit hídrico, puede generarse una canopia menos densa lo que ocasiona un aumento de la temperatura en el área del racimo, favoreciendo la degradación de las antocianinas.

Para analizar el efecto de las cubiertas vegetales, se han hallado reportes de incrementos a nivel de antocianos en la piel de la baya, como el de Coniberti, Ferrari, Disegna, Dellacasa et al. (2018). Aun así, en este ensayo, si bien existen mayores contenidos de ApH 3,2 que lo esperado para Tannat en un año “típico”, no se puede atribuir este incremento a las pasturas, dado que H fue quien generó mayores valores. Sobre todo, teniendo en cuenta que, como se mencionó anteriormente, un aumento de los antocianos se puede adjudicar a un déficit hídrico.

Durante este ensayo, las bayas pasaron por estos diferentes niveles de estrés, por lo que, para determinar el tipo de vino resultante habría que haberlo evaluado. Aun así, se estudiaron aspectos relacionados con la composición del mosto como antocianos y polifenoles totales. Según estudios realizados por Tregoat et al. (2002), los déficits hídricos de moderados a severos repercuten disminuyendo el contenido de ácido málico e incrementando los polifenoles totales y el contenido de azúcar.

En base al contenido de azúcar medido en mosto, se esperaría un vino con una elevada graduación alcohólica, entre 13,6° para FAD y 14,4° para H, usando una conversión de 1° de alcohol probable cada 18 gramos de azúcar. Mientras que los niveles de pH fueron más bajos que los habituales para Tannat, el IPT estuvo en niveles normales, permitiendo obtener un vino con potencial de guarda si se corrige la acidez.

Principalmente en los tratamientos bajo pasturas, que fueron los que obtuvieron los valores más elevados de este índice. En el caso de los antocianos fácilmente extraíbles, estos fueron ampliamente más elevados que los comúnmente obtenidos por la variedad, prometiendo un vino con un color más intenso.

En cuanto al contenido de nitrógeno fácilmente asimilable en baya, respecto a las pasturas, no hubo diferencias entre FAD, FBD y H, las cuales presentaron los contenidos más bajos de FAN. En cambio, T reportó valores más elevados, lo cual podría estar explicado por la fijación biológica de nitrógeno.

En el caso de los diferentes fertilizantes utilizados, la UF tendió a ser la más eficiente, aunque sin diferenciarse significativamente de los demás tratamientos (0 y COR). En el caso de la US, logró los contenidos más bajos, esto puede verse explicado por la falta de agua en el suelo, lo que pudo generar una baja solubilización y absorción del fertilizante (Hidalgo, 1999). Como señala Tregoat et al. (2002), el contenido de FAN se ve afectado por el estado hídrico de la planta.

Según lo planteado por Bell y Henschke (2005) las fertilizaciones ayudan a incrementar el contenido de FAN de los mostos. Asimismo, se debe tener en cuenta que no solo importa el fertilizar, sino que el momento y la forma de fertilización generan un efecto diferente. Respecto a esto, Pérez-Álvarez et al. (2016), encontraron que la fertilización foliar generó mayores valores de FAN respecto a la fertilización al suelo y a la no fertilización. En el presente ensayo, UF generó valores significativamente mayores que los de la US, pero no se diferenció de los restantes tratamientos.

Por un lado, Verdenal et al. (2015) plantean que se generan incrementos en el contenido de FAN con la aplicación de nitrógeno foliar, tanto en envero como en floración, aunque este incremento es mayor cuando se aplica en envero, lo que coincide con lo reportado por Cheng et al. (2020) y Verdenal et al. (2016).

En el caso de la combinación FAD y FBD con US, se obtuvieron los niveles más bajos de FAN, mientras que el T, con las fertilizaciones foliares (UF y COR), presentó los mayores valores. Las demás combinaciones poseen resultados intermedios que, en general, no se diferencian de ninguna de las mencionadas. Según lo planteado por Verdenal et al. (2016), las vides con una rel F/F menor a 0,5 m²/kg, dirigen a las bayas aproximadamente el 50 % del N foliar aplicado, mientras que las que tienen una relación superior, el porcentaje aprovechado por los racimos es menor. Siguiendo por esta línea y, teniendo en cuenta lo antes planteado, el tratamiento T fue el que presentó la menor rel F/F, seguido por el H. Siendo esta una de las posibles explicaciones a su contenido más elevado de FAN, principalmente en la combinación con UF y COR.

Cabe destacar que, al analizar los datos del FAN enfocándose en sus combinaciones y no particularmente en alguno de los tratamientos, se permite apreciar el potencial que las interacciones pueden generar. Mientras que, al analizarlo de forma individual, este efecto se ve enmascarado.

Pese a que se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos y que el trébol logró generar un mayor contenido de FAN, los niveles obtenidos están muy por debajo del óptimo de 140 mg/L de mosto, según lo que plantean Bell y Henschke (2005).

A su vez, este efecto de disminución del contenido de FAN por la presencia de pasturas, se ha observado en otros ensayos similares como es el caso reportado por Coniberti, Ferrari, Disegna, Dellacasa et al. (2018). En la revisión realizada por Abad et al. (2021) también se encontró que en el 50% de los ensayos con pasturas el FAN disminuía. Aun así, en el caso particular de las leguminosas, se halló un efecto positivo si esta cobertura vegetal se mantiene a largo plazo. Lo cual podría ser una de las causas por las que el tratamiento T demostró valores superiores a los demás.

Las pasturas, como se mencionó anteriormente, ayudan a disminuir el vigor, lo cual es relevante para los contenidos de FAN. Como señalan Verdenal et al. (2016), las vides vigorosas, que a su vez reciben altos niveles de fertilización, no logran obtener valores adecuados de FAN. Destacándose la importancia del equilibrio fisiológico, donde una relación fuente/fosa de 0,6 - 0,8 m²/kg, ayudaría a alcanzar los valores óptimos para tener una correcta fermentación (Echeverría et al., 2017b).

En cuanto a sanidad y compacidad de racimo, dada la baja precipitación ocurrida y el menor vigor de las plantas, no se hallaron focos de podredumbre de racimo ocasionada por *Botrytis cinerea*. Contribuyendo con este aspecto, la compacidad de racimo fue menor de la habitual para Tannat, según lo reportado por Ferrer et al. (2011). En el caso de los tratamientos bajo pasturas, la reducción de la compacidad y la menor presencia de enfermedades concuerda con lo hallado por Coniberti, Ferrari, Disegna, García Petillo et al. (2018) como uno de los efectos beneficiosos de incorporar coberturas vegetales en la fila de la vid. Pero como estos aspectos también se vieron favorecidos en el tratamiento de herbicida, se atribuyen más a un efecto año.

5.5 ÍNDICES FISIOLÓGICOS

Los índices fisiológicos permiten analizar en detalle el equilibrio del viñedo. Como medida de la relación fuente/fosa se calculó el indicador SF_{Ep}/carga. Los valores obtenidos presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de pasturas, siendo T el de menor relación con 0,39 m²/kg y FBD el de mayor, con 0,79 m²/kg.

Según lo planteado por Echeverría et al. (2017b), las vides que poseen valores de 0,60 a 0,80 m²/kg, se encuentran en condiciones óptimas para lograr una correcta maduración de las bayas. En el presente ensayo, los tratamientos que cumplen con esa condición serían FAD y FBD. Por lo que era de esperarse que obtuvieran niveles óptimos de compuestos primarios y secundarios. Sin embargo, esta relación no tiene en cuenta la pérdida de materia seca total de los tratamientos con festuca, ocasionados por el déficit hídrico y la competencia por nutrientes. Las plantas detuvieron su crecimiento tempranamente y se redujo la capacidad de fotosintetizar.

En la tesis de maestría de Salvarrey (2016), se puede ver que los aumentos en la rel F/F, provocan incrementos en compuestos primarios y secundarios. Sin embargo, en el presente trabajo se encontró que los valores no tenían una correlación directa, como en el caso de los SST, los cuales son más elevados para el tratamiento H, quien posee una de las menores SF_{Ep}/carga. Mientras que, en el caso de los polifenoles totales, fueron mayores para el tratamiento con mayor rel F/F. Por lo que, no para todos los compuestos se cumple lo reportado en dicho trabajo.

Teniendo en cuenta que una adecuada relación F/F muestra el equilibrio de la planta, no la distribución del follaje, es coherente que no se obtengan siempre correlaciones como las indicadas por Salvarrey (2016). Pudiendo existir áreas excesivamente sombreadas con consecuencias negativas para la tasa de fotosíntesis y la maduración de baya (Coniberti et al., 2014), más aún en situaciones de déficit hídrico fuerte como las ocurridas en el presente ensayo.

Otro indicador fisiológico importante es el índice de Ravaz; este relaciona el rendimiento en función del peso de poda obtenido en el ciclo de crecimiento. Las plantas dentro del rango de 4 a 10 se consideran equilibradas (Ferrer et al., 2011; Kliwer & Dokoozlian, 2005), mientras que las que están por encima podrían estar presentando un bajo vigor y una excesiva carga. Contrariamente, plantas con valores inferiores a 4 se consideran de alto vigor. A su vez, los valores más bajos dentro del rango óptimo son considerados adecuados para la producción de vinos de calidad (Coniberti et al., 2014).

En el caso de los estudios realizados por Karl et al. (2016), los valores de IR con cobertura vegetal fueron entre 102 y 121 % mayores que los de las plantas con herbicida. Mientras que, al analizar los datos del presente ensayo, no existen diferencias significativas, a pesar de que los valores varían dentro y fuera del rango óptimo. A grandes rasgos, las plantas que recibieron fertilizantes foliares alcanzaron mayores IR, lo que podría verse explicado por un cuajado mayor al que podían sostener con la superficie foliar que poseían.

En el caso del tratamiento H se puede observar que, sin importar la fertilización que se le aplicó, se mantuvo dentro de los rangos óptimos. Mientras que los tratamientos con pasturas y fertilización incrementaron el índice; indicando que las plantas de vid sufren una disminución en el crecimiento vegetativo mayor que la generada en lo reproductivo, coincidiendo con lo indicado por Vanden Heuvel y Centinari (2021).

En lo que respecta a la producción de materia seca, H fue el tratamiento que generó la mayor producción, diferenciándose significativamente de los demás. Mientras que, entre las tres coberturas utilizadas, no hubo diferencias. Aun así, se observó una tendencia de FAD a una menor producción de materia seca. Quizás esto es debido a que se trata de una pastura competitiva, a una mayor densidad y que, además, tiene dos años de implantada.

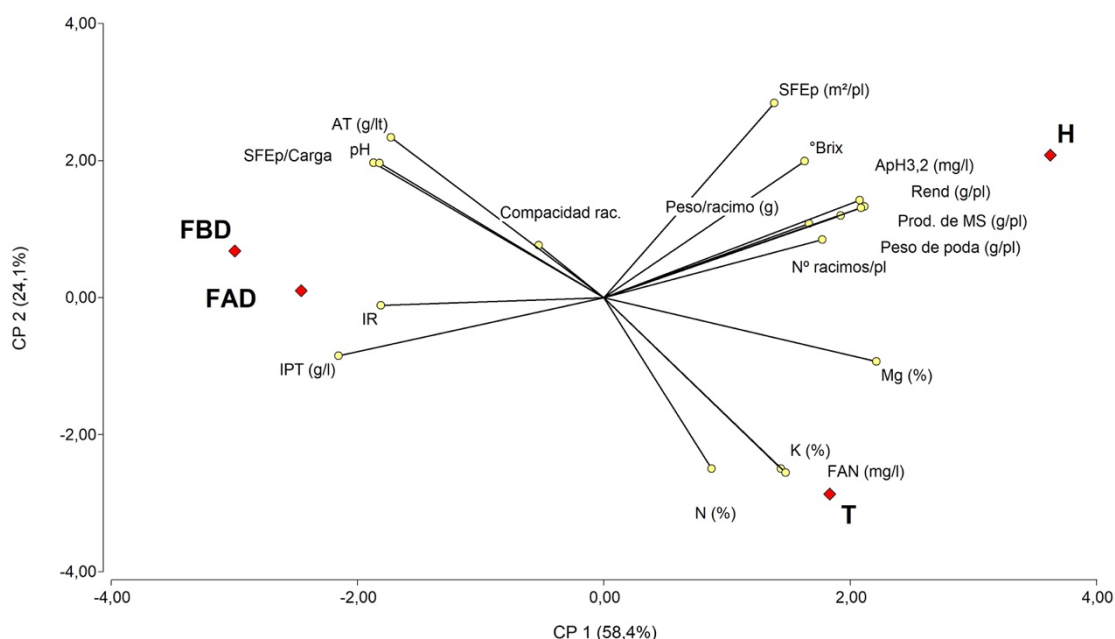
Pese a esta diferenciación, es relevante destacar los valores obtenidos, ya que si bien el herbicida fue quien generó una mayor producción, esta se encuentra muy lejos de los niveles hallados por Arrillaga et al. (2021). En este estudio se analizó durante 4 años la variedad Tannat y la MS varió de 1110 a 2170 g/pl mientras que, en el presente ensayo, el valor máximo obtenido fue de 466,40 g/pl.

5.6 ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN ENTRE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS EN ESTUDIO

Las múltiples variables analizadas se pueden relacionar entre sí mediante un gráfico de componentes principales como el que se aprecia en la figura 10. Allí están incluidos los diferentes tratamientos de pasturas y los parámetros de estudio.

Figura 10

Gráfico de componentes principales de las variables analizadas según cobertura vegetal



Nota. FAD: Festuca alta densidad; FBD: Festuca baja densidad; T: Trébol; H: Herbicida. SFEp: superficie foliar expuesta potencial; Aph 3,2: antocianos fácilmente extraíbles; Rend: rendimiento; Prod. de MS: producción de materia seca; FAN: nitrógeno fácilmente asimilable; IPT: índice de polifenoles totales; IR: índice de Ravaz; SFEp/Carga: superficie foliar expuesta potencial por carga de fruta; AT: acidez total; Compacidad rac: compacidad de racimos.

Como se puede apreciar, los tratamientos FAD y FBD están más fuertemente correlacionados entre sí que con respecto a los tratamientos H y T. Este último presentó mayor correlación con los parámetros nutricionales, tanto foliares como de la baya, principalmente con el elemento nitrógeno en baya, lo cual se podría explicar por tratarse de una leguminosa que realiza fijación atmosférica de dicho nutriente.

Por otro lado, los valores que hacen al rendimiento y al crecimiento vegetativo como la SFEp, el peso de poda y la producción de MS, están más vinculados al tratamiento H. Esto era lo esperado, dado que los parámetros mencionados se ven favorecidos cuando la planta de vid se encuentra en situaciones menos restrictivas. También se asocian a este tratamiento algunos parámetros que hacen a la calidad de la baya, como los °Brix y los polifenoles fácilmente extraíbles, dando a entender que con el manejo tradicional se obtienen mayores contenidos de SST y antocianos.

Cabe destacar que no existe una correlación entre el contenido de nitrógeno foliar con los parámetros relacionados al rendimiento, ni al crecimiento vegetativo, así como tampoco al contenido de SST.

Los parámetros de acidez total, pH e índice de polifenoles totales se vinculan más a los tratamientos de FAD y FBD, así como el índice de compacidad, el IR y la

SFEp/carga. Los últimos dos son parámetros que miden el equilibrio fisiológico de la planta, esta asociación podría implicar que existe una tendencia al equilibrio con la presencia de estas pasturas, aunque no se encuentren fuertemente relacionados. Este es uno de los aspectos que hace a la producción sostenible en el tiempo.

Por otra parte, un aspecto a resaltar es la correlación negativa existente entre el IPT y las variables de rendimiento. Estas, a su vez, están contrapuestas con los tratamientos de FAD y FBD, lo que indicaría que se podrían obtener menores rendimientos bajo estas pasturas, pero con mejoras en algunas cualidades enológicas, a excepción de los polifenoles fácilmente extraíbles y los °Brix. Esto último podría no ser un problema si se apuesta a la producción de vinos con un menor grado alcohólico.

A modo de resumen, el tratamiento bajo herbicida favorece aspectos del rendimiento, contenido de SST y antocianos, mientras que el trébol aporta mayor contenido de nutrientes a la planta de vid, viéndose reflejado en el contenido de FAN y minerales en hoja. Por otro lado, las festucas logran plantas de vid más equilibradas y con mejores parámetros enológicos en cuanto a los polifenoles totales y acidez. Las coberturas vegetales ajustaron su aparato foliar y su carga, llevando a un equilibrio con reducción de materia seca total de la planta, hecho que se acentuó por el importante déficit hídrico de la zafra.

6 CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas del año donde se realizó el ensayo no fueron las adecuadas para obtener resultados concluyentes por varios motivos. En primer lugar, porque se provenía de una secuencia de años atípicos en cuanto a precipitaciones y, a su vez, el manejo del riego no fue adecuado.

Dado a que las reservas de agua en el suelo se encontraban en niveles bajos, el tratamiento con herbicida logró generar un mayor crecimiento vegetativo al inicio del ciclo de crecimiento por un menor nivel de restricción. Estos mayores niveles de área foliar, luego fueron más difíciles de sostener para las plantas, situando a todos los tratamientos en niveles similares de déficit hídrico. Esto llevó a que no se pudiera discernir el efecto provocado por la competencia ocasionada por las pasturas y la baja disponibilidad hídrica.

En base a los resultados obtenidos, se puede decir que el uso de cubiertas vegetales en sustitución del herbicida, es un manejo promisorio en climas templado - húmedos, como es el caso de Uruguay en años típicos.

De las pasturas utilizadas en el ensayo, cabe destacar el efecto positivo que tuvo el trébol como leguminosa sobre los contenidos de FAN en mosto, a pesar de que tampoco fueron niveles adecuados para la fermentación, son datos a destacar.

Se debería investigar en años menos atípicos y con otras leguminosas que no fueran perennes invernales para comparar efectos. Buscando aquellas que logren mayores aportes de N a través de la fijación biológica. También se debería seguir evaluando si los niveles de aportes lograron compensar la competencia. Mientras que en el caso de las gramíneas utilizadas se propone testear otras que sean menos competitivas, quizás de ciclo anual invernal, pero sin olvidar que existen veranos lluviosos.

Las mejoras que producen las pasturas a nivel físico del suelo, aumentando los macroporos y, por ende, el reservorio de agua ¿son suficientes para contrarrestar con la competencia hídrica ejercida hacia las plantas?

En cuanto a los fertilizantes nitrogenados, se esperaba encontrar un efecto marcado entre la aplicación de fertilizantes al suelo y foliares. Principalmente por tratarse de un año donde la solubilidad y absorción de los primeros se ve perjudicada. Sin embargo, no se obtuvieron resultados que explicaran una diferenciación clara entre los distintos métodos de aplicación. Aun así, cabe destacar que se aplicaron diferentes unidades de nitrógeno en los diferentes tratamientos. Por lo tanto, podría decirse que los fertilizantes foliares fueron más eficientes, ya que, con menos unidades de nitrógeno, lograron alcanzar los mismos resultados que la aplicación de urea al suelo y en ocasiones superarla, como en contenido de nitrógeno foliar.

Así mismo, no existieron diferencias significativas entre los fertilizantes foliares utilizados en los distintos aspectos analizados, tanto reproductivos como vegetativos. Sin embargo, se utilizaron dosis muy similares de CORON (1,5 kg de N/ha) y urea foliar (1,4 kg de N/ha), con la salvedad de que en esta última se separó en 4 aplicaciones y

el CORON en 3. Por lo que, al momento de elegir el tipo de fertilizante, se podría hacer la selección basándose en el costo y/o la accesibilidad de los mismos.

Se debe seguir investigando, haciendo énfasis en un uso del riego según los objetivos productivos y las necesidades de la planta. A su vez, ¿cómo cuantificar el nivel de riego adecuado? ¿Con un uso eficiente del riego, se obtendrían resultados diferentes en cuanto al uso de coberturas? De igual manera, en casos de sequías extremas donde las fuentes de agua para riego son limitantes, ¿el herbicida sigue siendo la única alternativa viable para lograr obtener una producción sostenible?

Con el contexto de cambio climático actual y la variabilidad interanual existente en el país, no es conveniente pensar en manejos a largo plazo. La utilización de pasturas con riego tiene la ventaja de ser un sistema flexible y rápidamente adaptable al efecto año. El inconveniente podría llegar a ser que se debe planificar a corto plazo las acciones en base al pronóstico del clima.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Abad, J., Hermoso de Mendoza, I., Marín, D., Orcaray, L., & Gonzaga Santesteban, L. (2021). Cover crops in viticulture: A systematic review (2): Implications on vineyard agronomic performance. *OENO One*, 55(2), 1-27. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.4481>
- Allen, R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO.
- Altamirano, A., Da Silva, H., Echevarría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Vol 1. Clasificación de suelos del Uruguay*. MAP.
- Arrillaga, L., Echeverría, G., Izquierdo, B., Rey, J. J., Pallante, A., & Ferrer, M. (2021). Response of Tannat (*Vitis vinifera* L.) to pre-flowering leaf removal in a humid climate. *OENO One*, 55(2), 251-266. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.4613>
- Barreiro, M., Arizmendi, F., & Trinchin, R. (2019). *Proyecto "Fortalecer las capacidades de Uruguay para la adaptación al cambio climático en la zona costera costera": Variabilidad observada del clima en Uruguay*. Universidad de la República; MVOTMA; Cooperación Española. <https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/Producto-2.pdf>
- Bell, S.-J., & Henschke, P. (2005). Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(3), 242-295. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00028.x>
- Belmonte, S., Celi, L., Stahel, R., Bonifacio, E., Novello, V., Zanini, E., & Steenwerth, K. (2018). Effect of long-term soil management on the mutual interaction among soil organic matter, microbial activity and aggregate stability in a vineyard. *Pedosphere*, 28(2), 288-298.
- Bidegain, M., Crisci, C., del Puerto, L., Inda, H., Mazzeo, N., Taks, J., & Terra, R. (2013). *Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay: Vol. 1. Variabilidad climática de importancia para el sector productivo*. FAO; MGAP.

- Buitrago, M. J. (s.f.). *Tendencias en el uso de sistemas de riego en cultivos de viña en espaldera*. AZUD. https://obj.construmatica.com/construmatica/business/files/27793/articulos_tecnicos/tendencias_en_el_uso_de_sistemas_de_riego_en_cultivos.pdf
- Canoura, C., Kelly, M., & Ojeda, H. (2018). Effect of irrigation and timing and type of nitrogen application on the biochemical composition of in *Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay and Syrah grapeberries. *Food Chemistry*, 241, 171-181.
- Celette, F., Gaudin, R., & Gary, C. (2008). Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *European Journal of Agronomy*, 29(4), 153-162.
- Champagnol, F. (1984). *Éléments de physiologie de la vigne et viticulture générale*. Champagnol.
- Cheng, X., Ma, T., Wang, P., Liang, Y., Zhang, J., Zhang, A., Chen, Q., Li, W., Ge, Q., Sun, X., & Fang, Y. (2020). Foliar nitrogen application from veraison to preharvest improved flavonoids, fatty acids and aliphatic volatiles composition in grapes and wines. *Food Research International*, 137, Artículo e109566. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109566>
- Cheng, X., Wang, P., Zhang, X., Ma, T., Wang, R., Gao, Y., Fang, Y., & Sun, X. (2022). Reduction of methoxypyrazines with "vegetable-like" odors in grapes by foliar nitrogen application. *Scientia Horticulturae*, 301, 10, Artículo e111106. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111106>
- Choné, X., Van Leeuwen, C., Chéry, P., & Ribéreau-Gayon, P. (2001). Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*): Vegetative development, must and wine composition (example of a Medoc Top Estate Vineyard, Saint Julien area, Bordeaux, 1997). *South African Journal of Enology and Viticulture*, 22(1), 8-15. <https://doi.org/10.21548/22-1-2159>
- Coniberti, A. (2018). *Cobertura vegetal del suelo y riego deficitario para maximizar el control de la disponibilidad hídrica del viñedo en clima húmedo* [Disertación doctoral, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29390/1/ConibertiMundyAndr%c3%a9s.pdf>

- Coniberti, A., Disegna, E., & Ferrari, V. (2014). *El balance del Tannat en el sur de Uruguay: Manual para la caracterización y el ajuste del manejo del viñedo*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3806/1/st-219-2014.pdf>
- Coniberti, A., Ferrari, V., Disegna, E., Dellacassa, E., & Lakso, A. N. (2018). Under-trellis cover crop and deficit irrigation to regulate water availability and enhance Tannat wine sensory attributes in a humid climate. *Scientia Horticulturae*, 235, 244-252.
- Coniberti, A., Ferrari, V., Disegna, E., García Petillo, M., & Lakso, A. N. (2018). Under-trellis cover crop and planting density to achieve vine balance in a humid climate. *Scientia Horticulturae*, 227, 65-74.
- Conradie, W. J. (1980). Seasonal uptake of nutrients by chenin blanc in sand culture: I. Nitrogen. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 1(1), 59-65. <https://pdfs.semanticscholar.org/af07/fa3c234367f61ec6541f5a97e2bef24b64d4.pdf>
- Cruz, G., Baethgen, W., Picasso, V., & Terra, R. (2014). Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 18(1), 126-132. <https://doi.org/10.31285/AGRO.18.448>
- De Herralde, F., Savé, R., Aranda, X., & Biel, C. (2010). Grapevine roots and soil environment: Growth, distribution and function. En S. Delrot, H. Medrano, E. Or, L. Bavaresco, & S. Grando (Eds.), *Methodologies and results in grapevine research* (pp. 1-20). Springer.
- Deloire, A., Carbonneau, A., Wang, Z., & Ojeda, H. (2004). Vine and water: A short review. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 38(1), 1-13. <https://doi.org/10.20870/oenone.2004.38.1.932>
- Deloire, A., & Pellegrino, A. (2021). Review of vine water deficit: What levers for the vineyard in the short and medium term? *IVES Technical Reviews*. <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2021.4842>
- Dry, P., & Loveys, B. (1998). Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 4(3), 140-148. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1998.tb00143.x>

- Echeverría, G., Ferrer, M., & Mirás-Avalos, J. (2017a). Effects of soil type on vineyard performance and berry composition in the Río de la Plata coast (Uruguay). *OENO One*, 51(3), 251-261. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.2.1829>
- Echeverría, G., Ferrer, M., & Mirás-Avalos, J. (2017b). Quantifying the relative impact of physical and human factors on the viticultural expression of terroir. *International Journal of Environmental and Agriculture Research*, 3(4), 12-25. https://www.researchgate.net/publication/316620939_Quantifying_the_relative_impact_of_physical_and_human_factors_on_the_viticultural_expression_of_terroir
- Evers, D., Molitor, D., Rothmeier, M., Behr, M., Fischer, S., & Hoffmann, L. (2010). Efficiency of different strategies for the control of grey mold on grapes including gibberellic acid (GIBB3), leaf removal and/or botrycide treatments. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 44(3), 151-159.
- Ferraro Olmos, R. (1983). *Viticultura moderna*. Hemisferio Sur.
- Ferrer, M., González-Neves, G., Echeverría, G., Camussi, G., Avondet, R., Fourment, M., Favre, G., & Salvarrey, J. (2011). Agronomic behavior and enological potential of Tannat grape in three Uruguayan climatic regions. *Agrociencia (Uruguay)*, 15(1), 37-49.
- Ferrer, M., González-Neves, G., Priore, E., Montaña, A., & Carbonneau, A. (2008). Yield components, vegetative expression and physiologic indicators on *Vitis vinifera* L. cv Merlot depending on plant architecture. *Agrociencia (Uruguay)*, 12(1), 6-19. <https://doi.org/10.31285/AGRO.12.740>
- Ferrer, M., Pedocchi, R., Michelazzo, M., González-Neves, G., & Carbonneau, A. (2007). Delimitación y descripción de regiones vitícolas del Uruguay en base al método de clasificación climática multicriterio utilizando índices bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo. *Agrociencia (Uruguay)*, 11(1), 47-56.
- Ferreira, R., Sellés Van, G., & Sellés, I. (2001). *Riego deficitario controlado en uva de mesa: Estrategias de riego para enfrentar situaciones de escasez de agua en frutales*. INIA.
- Fourment, M., Ferrer, M., & Quénot, H. (2013). *Vitis vinifera* L. cv. Tannat: Respuesta a la variabilidad climática. *Agrociencia (Uruguay)*, 17(2), 45-54. <https://doi.org/10.31285/AGRO.17.433>

- Fregoni, M. (2005). *Viticultura di qualità: Trattato dell'eccellenza da terroir*. Tecniche Nuove.
- Gambetta, G., Herrera, J. C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., & Castellarin, S. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: Towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 71(16), 4658-4676. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa245>
- García, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., & Metay, A. (2018). Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 251(1), 158-170.
- Gattullo, C. E., Mezzapesa, G. N., Stellacci, A. M., Ferrara, G., Occhiogrosso, G., Petrelli, G., Castellini, M., & Spagnuolo, M. (2020). Cover crop for a sustainable viticulture: Effects on soil properties and table grape production. *Agronomy*, 10(9), Artículo e1334. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091334>
- Giese, G., Wolf, T., Valesco-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. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66(2), 212-226.
- González-Neves, G. (2005). *Étude de la composition polyphénolique des raisins et des vins des cépages Merlot, Cabernet-Sauvignon et Tannat provenant de vignes conduites en Lyre et en Espalier dans le sud de l'Uruguay* [Disertación doctoral]. Université de Montpellier II.
- González-Neves, G., Ferrer, M., Gil, G., Charamelo, D., Balado, J., Barreiro, L., Bochicchio, R., Gatto, G., & Tessore, A. (2010). Estudio plurianual del potencial polifenólico de uvas Tannat en el sur de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 14(2), 10-21.
- González-Neves, G., Gil, G., Barreiro, L., Ferrer, M., & Franco, J. (2006). Phenolic composition of the grapes of the main red Vitis Vinifera varieties cultivated in Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 10(2), 1-14. <https://doi.org/10.31285/AGRO.10.918>
- Hidalgo, L. (1999). *Tratado de viticultura general*. Mundi-Prensa.

- Ibacache, A. (2009). Temperatura, luminosidad, humedad: Factores ambientales que influyen en los racimos de vides. *Tierra Adentro*, (84), 13-15.
<https://hdl.handle.net/20.500.14001/5053>
- Ibáñez, S. (2013). *Gestión de suelo en viñedos mediante cubiertas vegetales: Incidencia sobre el control del rendimiento y del vigor: Aspectos ecofisiológicos, nutricionales, microclimáticos y de calidad del mosto y del vino* [Disertación doctoral, Universidad de la Rioja]. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/download/tesis/40353.pdf>
- Imperiale, F., Rey, J. J., Ariano, S., Púa, L., Fourment, M., Piccardo, D., Echeverría, G., Coniberti, A., Fasiolo, C., Leoni, C., Felix, E., Bertola, B., Bentacor, L., Lacroix, G., Cabrera, V., Merino, N., De Mori, J., Blumetto, G., Villarino, A., ... Prieto, G. (2023). *Normas para la producción integrada de uva de vino*.
https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2023-11/ANEXO%20II%20-%20Norma%20Producción%20de%20uva%20para%20vino_0.pdf
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.). *Banco de datos agroclimáticos*.
<https://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (s.f.). *Programa de viticultura sostenible de Uruguay*. <https://www.inavi.com.uy/programa-de-viticultura-sostenible/>
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2023). *Estadísticas de viñedos 2023: Datos nacionales*. <https://www.inavi.com.uy/uploads/vinedo/b001699f9585532cfd1fa06a35756544f917eda5.pdf>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Características climáticas*.
<https://inuket.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/caracteristicas-climaticas>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (2020). *Metodología de cálculo: Balance hídrico para el territorio nacional*.
<https://www.inuket.gub.uy/reportes/BalanceHidrico/MetodologiaBalanceHidricoINUMET.pdf>

- Karl, A., Merwin, I., Brown, M., Hervieux, R., & Vanden Heuvel, J. (2016). Impact of undervine management on vine growth, yield, fruit composition, and wine sensory analyses in cabernet franc. *American Journal of Enology and Viticulture*, 67(3), 269-280.
https://www.researchgate.net/publication/300087328_Impact_of_Undervine_Management_on_Vine_Growth_Yield_Fruit_Composition_and_Wine_Sensory_Analyses_of_Cabernet_franc
- Keller, M. (2005). Deficit irrigation and vine mineral nutrition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(3), 267-283.
<https://www.ajevonline.org/content/ajev/56/3/267.full.pdf>
- Keller, M. (2010). Managing grapevines to optimize fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(s1), 56-69. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00077.x>
- Keller, M. (2015). *The science of grapevines: Anatomy and physiology*. Elsevier.
- Kliewer, M., & Dokoozlian, N. (2005). Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(2), 170-181.
<https://site.extension.uga.edu/viticulture/files/2017/07/Kliewer-and-Dokoozlian-2005.pdf>
- Lakso, A., & Pool, R. (2005). Efecto del estrés hídrico en el viñedo y en la calidad del vino (en climas del este). *Infowine. Revista Internet de Viticultura y Enología*, 11(2), 1-10. <https://www.infowine.com/wp-content/uploads/2024/04/libretto2630-01-1.pdf>
- Lennartz, B., Louchart, X., Voltz, M., & Andrieux, P. (1997). Diuron and simazine losses to runoff water in Mediterranean vineyards. *Journal of Environmental Quality*, 26(6), 1493-1502.
- Levin, A., Deloire, A., & Gambetta, G. (2020). Does water deficit negatively impact wine grape yield over the long term? *IVES Technical Reviews vine and wine*.
<https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2020.4029>

- Levin, A., Matthews, M., & Williams, L. (2020). Effect of preveraison water deficits on the yield components of 15 winegrape cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture*, 71(3), 208-221. <https://doi.org/10.5344/ajev.2020.19073>
- Linares, R. (2009). *Estudio del empleo de cubiertas vegetales temporales para la regulación del régimen hídrico, crecimiento y manejo sostenible del viñedo* [Disertación doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.12997>
- Linares, R., De la fuente, M., Junquera, P., Lissarrague, J., & Baeza, P. (2018). Effect of soil management strategies on the characteristics of the grapevine root system in irrigated vineyards under semi-arid conditions. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 24(4), 439-449. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12359>
- Martinez, A., Aleixandre-Tudó, J. L., & Aleixandre, J. L. (2016). Efectos de los fenómenos producidos por el cambio climático sobre la calidad de los vinos. *Enoviticultura*, (42), 4-26.
- Martínez de Toda, F. (2019). *Técnicas vitícolas frente al cambio climático: Técnicas de manejo de la vegetación del viñedo para mitigar los efectos de las altas temperaturas y el calentamiento climático*. Mundi-Prensa.
- Mirás-Avalos, J., & Intrigliolo, D. (2017). Grape composition under abiotic constraints: Water stress and salinity. *Frontiers in Plant Science*, 8, Artículo e851. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00851>
- Morlat, R., & Jacquet, A. (2003). Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *American Journal of Enology and Viticulture*, 54(1), 1-7. <https://www.ajevonline.org/content/ajev/54/1/1.full.pdf>
- Ojeda, H. (2007). Riego cualitativo de precisión en la vid. *Infowine. Revista Internet de Viticultura y Enología*, (5), 1-10.

- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., & Deloire, A. (2002). Influence of pre- and post-veraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis Vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 261-267.
https://www.researchgate.net/publication/253340835_Influence_of_pre-_and_post-_veraison_water_deficit_on_synthesis_and_concentration_of_skin_phenolic_compounds_during_berry_growth_of_Vitis_Vinifera_cv_Shiraz
- Ojeda, H., Deloire, A., & Carbonneau, A. (2001). Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis*, 40(3), 141-145.
https://www.researchgate.net/publication/285702011_Influence_of_water_deficits_on_grape_berry_growth
- Ordúz-Rodríguez, J., Calderón, C., Bueno, G., & Baquero, J. (2011). Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras como coberturas y su influencia en el control de malezas en el establecimiento de cítricos en el piedemonte del Meta. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 121-128.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:221
- Pallioti, A., Cartechini, A., Petoumenou, D., Silvestroni, O., Mattioli, S., & Berrios, J. G. (2007). Long-term effects of seeded cover-crop on vegetative characteristics, yield and grape and wine composition of “grechetto” grapevines in central Italy. *Acta Horticulturae*, (754), 515-521.
- Pereyra, G., Pellegrino, A., Ferrer, M., & Gaudin, R. (2023). How soil and climate variability within a vineyard can affect the heterogeneity of grapevine vigour and production. *OENO One*, 57(3), 297-313. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.3.7498>
- Pérez-Álvarez, E., Garde-Cerdán, T., García-Escudero, E., & Martínez-Vidaurre, J. M. (2016). Effect of two doses of urea foliar application on leaves and grape nitrogen composition during two vintages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2524-2532.
- Portu, J., Santamaría, P., López, R., & Garde-Cerdán, T. (2017). Phenolic composition of Tempranillo grapes following foliar applications of phenylalanine and urea: A two-years study. *Scientia Horticulturae*, 219, 191-199.

- Prats-Llinás, M. T., García-Tejera, O., Marsal, J., & Girona, J. (2019). Water stress during the post-harvest period affects new root formation but not starch concentration and content in Chardonnay grapevine (*Vitis Vinifera* L.) perennial organs. *Scientia Horticulturae*, 249, 461-470.
- Prichard, T. (1998). Water use and infiltration. En C. Ingels, R. Bugg, G. McGourty, & P. Christensen (Eds.), *Cover cropping in vineyards: A grower's handbook* (pp. 86-90). University of California.
- Quiroga, M. (2014). *Efecto de la aplicación de materiales encalantes en el cultivo de la vid cv. Mencía en la D.O. Bierzo, incidencia sobre la composición fenólica y evolución en la crianza del vino* [Disertación doctoral, Universidad de León]. Buleria. <http://hdl.handle.net/10612/3517>
- Radville, L., Bauerle, T., Comas, L., Marchetto, K., Lakso, A., Smart, D., Dunst, R., & Eissenstat, D. (2016). Limited linkages of aboveground and belowground phenology: A study in grape. *American Journal of Botany*, 103(11), 1897-1911.
- Ripoche, A., Metay, A., Celette, F., & Gary, C. (2011). Changing the soil surface management in vineyards: Immediate and delayed effects on the growth and yield of grapevine. *Plant and Soil*, 339(1), 259-271.
<https://doi.org/10.1007/s11104-010-0573-1>
- Rodríguez-Lovelle, B., Soyer, J. P., & Molot, C. (1999). Efectos del enherbado en viticultura sobre la nutrición mineral, el rendimiento y el vigor. *Investigación agraria. Producción y protección vegetales*, 14(1-2), 131-146.
[https://www.researchgate.net/publication/28052187_Efectos_del_enherbado_e
n_viticultura_sobre_la_nutricion_mineral_el_rendimiento_y_el_vigor](https://www.researchgate.net/publication/28052187_Efectos_del_enherbado_en_viticultura_sobre_la_nutricion_mineral_el_rendimiento_y_el_vigor)
- Salvarrey, J. (2016). *Relación fuente-fosa en Vitis Vinifera L. cv Tannat, en respuesta a dos técnicas de cultivo* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.
- Scholander, P., Hammel, H., Bransbree, P., & Hamminsingen, E. (1965). Sap pressure in the vascular plant: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *International Journal of Experimental Plant Biology*, 148(3668), 339-346.
- Schultz, H. (2000). Climate change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide, and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(1), 2-12.

- Serra-Stepke, I., & Carey, V. (2010). Sistema radical de la vid: Importancia y principales factores que lo afectan. *Ciencia Ahora*, (25), 69-79.
- Smart, D., Schwass, E., Lakso, A., & Morano, L. (2006). Grapevine rooting patterns: A Comprehensive analysis and a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(1), 89-104. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.1.89>
- Smirnoff, N. (1998). Plant resistance to environmental stress. *Current Opinion in Biotechnology*, 9(2), 214-219.
- Spring, J., Ryser, J., Schwarz, J., Basler, P., Bertschinger, L., & Häseli, A. (2003). Données de base pour la fumure en viticulture (Révision 2003). *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 35(4), 3-24.
- Tesic, D., Keller, M., & Hutton, R. J. (2007). Influence of vineyard floor management practices on grapevine vegetative growth, yield, and fruit composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58, 1-11.
- Tomaz, A., Coletto, J. M., & Arruda, C. (2015). Relaciones hídricas en la variedad Tempranillo ("Vitis vinifera" L.) con diferentes técnicas de mantenimiento del suelo, en ambientes mediterráneos. En J. M. Coletto Martínez, R. González Blanco, E. de Muslera Pardo, & F. Pulido García (Coords.), *La agricultura y la ganadería extremeñas: Informe 2014* (pp. 165-178). Universidad de Extremadura.
- Tregoat, O., Van Leeuwen, C., Choné, X., & Gaudillière, J.-P. (2002). The assessment of vine water and nitrogen uptake by means of physiological indicators influence on vine development and berry potential (Vitis vinifera L. cv Merlot, 2000, Bordeaux). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 36(3), 133-142. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2002.36.3.967>
- Vanden Heuvel, J. E., & Centinari, M. (2021). Under-Vine vegetation mitigates the impacts of excessive precipitation in vineyards. *Frontiers in Plant Science*, 26(12), Artículo e713135. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.713135>
- Van Leeuwen, C., Friant, P., Jaeck, M. E., Kuhn, S., & Lavialle, O. (2004). Hierarchy of the role of climate, soil and cultivar in terroir effect can largely be explained by vine water status. *IVES Conference Series*, (Terroir 2004), 433-439. <https://ives-openscience.eu/10241/>

- Van Leeuwen, C., Pieri, P., & Vivin, P. (2010). Comparison of three operational tools for the assessment of vine water status: Stem water potential, carbon isotope discrimination measured on grape sugar and water balance. En S. Delrot, H. Medrano, E. Or, L. Bavaresco, & S. Grando (Eds.), *Methodologies and results in grapevine research* (pp. 87-106). Springer.
- Van Leeuwen, C., Roby, J.-P., & de Rességuier, L. (2018). Soil-related terroir factors: A review. *OENO One*, 52(2), 173-188. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2018.52.2.2208>
- Verdenal, T., Dienes-Nagy, Á., Spangenberg, J., Zufferey, V., Spring, J.-L., Viret, O., Marin-Carbonne, J., & Van Leeuwen, C. (2021). Understanding and managing nitrogen nutrition in grapevine: A review. *OENO One*, 55(1), 1-43. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.1.3866>
- Verdenal, T., Spangenberg, J., Zufferey, V., Lorenzini, F., Dienes-Nagy, A., Gindro, K., Spring, J.-L., & Viret, O. (2016). Leaf-to-fruit ratio affects the impact of foliar-applied nitrogen on N accumulation in the grape must. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 50(1), 23-33. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.50.1.55>
- Verdenal, T., Spangenberg, J. E., Zufferey, V., Lorenzini, F., Spring, J.-L., & Viret, O. (2015). Effect of fertilisation timing on the partitioning of foliar-applied nitrogen in *Vitis vinifera* cv. Chasselas: A N labelling approach. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21(1), 110-117. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12116>
- Volpiano, C. G., Lisboa, B. B., São José, J. F., Beneduzi, A., Granadda, C. E., & Vargas, L. K. (2022). Soil-plant-microbiota interactions to enhance plant growth. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 46, Artículo e0210098. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20210098>
- Zoecklein, B. W., Fugelsang, K. C., Gump, B. H., & Nury, F. S. (1999). *Wine analysis and production*. Springer.