

# INFORME TECNICO FINAL (EST)

|                              |                                                                                                   |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cláusula de confidencialidad | NO                                                                                                |
| Nombre del estudio           | Análisis sobre el efecto de la variación climática y el riego en la producción de aceite de oliva |
| Código del estudio           | EST-2021-0608                                                                                     |
| Nombre coordinador           | Gabriela Moglia Contreras                                                                         |
| Firma coordinador            |                                                                                                   |

## INSTRUCCIONES PARA COMPLETAR Y PRESENTAR EL INFORME

- I. **Todas las secciones del informe deben ser contestadas, utilizando caracteres tipo Arial, tamaño 11.**
- II. **Para completar el informe se debe tener en consideración el Manual de apoyo a Ejecutores para elaborar Informes Técnicos Finales.**
- III. **Sobre la presentación a FIA del informe**
  - La presentación de los informes técnicos se realizará mediante la entrega de 2 copias digitales idénticas y sus anexos, en la siguiente forma:
    - a) Un documento "Informe Técnico Final", en formato word.
    - b) Un documento "Informe Técnico Final", en formato pdf.
    - c) Los anexos identificando el número y nombre, en formato que corresponda.
  - La entrega de los documentos antes mencionados debe hacerse mediante correo electrónico dirigido la Oficina de Partes de FIA ([oficina.partes@fia.cl](mailto:oficina.partes@fia.cl)). La fecha válida de ingreso corresponderá al día, mes y año en que es recepcionado el correo electrónico en Oficina de partes de FIA. Es responsabilidad del Ejecutor asegurarse que FIA haya recepcionado oportunamente los informes presentados.
  - Para facilitar los procesos administrativos, se debe indicar en el "Asunto" del correo de envío: **"Informe Técnico Final PYT-XXXX-YYYY"**.
  - La fecha de presentación debe ser la establecida en la sección detalle administrativo del Plan Operativo del estudio o en el contrato de ejecución respectivo.
  - El retraso en la fecha de presentación del informe generará una multa por cada día hábil de atraso equivalente al 0,2% del último aporte cancelado.

## CONTENIDO DEL INFORME TÉCNICO FINAL

|     |                                                                                  |                                      |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1.  | ANTECEDENTES GENERALES .....                                                     | 4                                    |
| 2.  | RESUMEN EJECUTIVO .....                                                          | 5                                    |
| 3.  | OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO .....                                               | 8                                    |
| 4.  | OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE) DEL ESTUDIO .....                                     | 8                                    |
| 5.  | RESULTADOS ESPERADOS (RE) DEL ESTUDIO .....                                      | 9                                    |
| 6.  | RESUMEN CUMPLIMIENTO RESULTADOS ESPERADOS .....                                  | 17                                   |
| 7.  | ANÁLISIS DE BRECHA .....                                                         | 18                                   |
| 8.  | CAMBIOS Y/O PROBLEMAS DEL ESTUDIO .....                                          | 19                                   |
| 9.  | ACTIVIDADES REALIZADAS Y NO REALIZADAS DEL ESTUDIO .....                         | 20                                   |
| 10. | POTENCIAL IMPACTO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS                                    | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 11. | CAMBIOS EN EL ENTORNO.....                                                       | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 12. | PRODUCTORES PARTICIPANTES DURANTE LA EJECUCIÓN.....                              | 24                                   |
| 13. | DIFUSIÓN.....                                                                    | 25                                   |
| 14. | CONCLUSIONES .....                                                               | 27                                   |
| 15. | RECOMENDACIONES .....                                                            | 28                                   |
| 16. | MENCIONE OTROS ASPECTOS QUE CONSIDERE RELEVANTE<br>INFORMAR, SI LOS HUBIERE..... | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 17. | ANEXOS.....                                                                      | 29                                   |
| 18. | BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....                                                    | 30                                   |

## 1. ANTECEDENTES GENERALES

|                                     |                                                  |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Nombre ejecutor:                    | Asociación de Productores de Aceite de Oliva A.G |
| Nombre(s) asociado(s):              |                                                  |
| Fecha de inicio estudio:            | 01-12-2021                                       |
| Fecha término estudio:              | 30-11-2022                                       |
| Duración total (meses):             | 12 meses                                         |
| Versión del Plan Operativo Vigente: | 09-11-2021                                       |
| Tipo de estudio                     | NO APLICA                                        |

## 2. RESUMEN EJECUTIVO

### 2.1 RESUMEN DEL PERÍODO NO INFORMADO

El resumen debe ser integrador del avance general del estudio, con énfasis en los resultados obtenidos durante el **período no informado** de la etapa correspondiente, fundamentando con datos cuantitativos y cualitativos que lo respalden. (El texto debe contener máximo 3.000 caracteres con espacios incluidos.)

En la segunda etapa del estudio a partir de la base de datos generada, se analizaron las principales variables a estudiar entrenando dos modelos predictivos de Chileoliva (uno para kg de fruta y otro para litros de aceite), el algoritmo utilizado para esa la modelación fue Random Forest. Posteriormente al analizar la relación entre las variables climáticas y de riego y los niveles de producción, se observó que la complejidad de las relaciones encontradas era muy alta, las relaciones no eran lineales y si se analizaban para cada año no explicaban la producción, lo que está dado por la influencia de más variables ambientales. Dado estos resultados se decidió utilizar un modelo no paramétrico basado en árboles de decisión llamado CART (Classification and Regression Trees). Este modelo nos entrega un diagrama, que permite analizar la relación de los niveles de producción con respecto a distintas combinaciones de factores ambientales y de riego. Debido a que cada campo representa un sistema único se optó por realizar el análisis entrenando modelos para cada uno de ellos, generándose 5 modelos CART. Este tipo de diagramas de árbol parte con un nodo principal y una regla que da la primera partición de los datos. Es así como el modelo CART de uno de los campos del norte, muestra como primer nodo la precipitación del mes de julio, cuando es mayor a 42 mm los rendimientos bajan considerablemente, el segundo nodo es la precipitación y luego los valores de NDVI durante el mes de enero, que muestra que un aumento de follaje sin manejo de poda puede bajar la producción. Por otra parte, para el segundo campo del norte la variable del primer nodo corresponde a la temperatura promedio de la superficie durante las noches de mayo, cuando la temperatura es menor a 5.7°C se obtiene un rendimiento menor. Luego es la diferencia del índice NBR entre diciembre y agosto de la misma temporada, índice que mide la cobertura vegetal. Para la tercera empresa del norte el modelo muestra que la primera variable corresponde a la temperatura mínima de la superficie durante el mes de diciembre y para el caso de la empresa de la región metropolitana, el modelo muestra que los principales factores son el estado de la vegetación con alguna influencia de los suelos y la acumulación de días grado. Por último, para el caso de la empresa de la VII región se observa que las variables más importantes están relacionadas a la temperatura de la superficie durante las noches de marzo y la temperatura mínima de la noche durante el mes de noviembre y la única variable relacionada al riego que aparece en los primeros cuatro niveles del modelo es el riego de enero. En el Anexo 1 se puede ver el detalle de las metodologías y los diagramas por empresa. Los resultados demuestran que a pesar de que las variables climáticas son inmanejables si se puede a través de manejos de poda y riego disminuir el efecto sobre la producción cuando dichas variables son desfavorables.

## 2.2 RESUMEN DEL ESTUDIO

El resumen debe ser integrador del avance general del estudio, con énfasis en los resultados obtenidos **durante todo el período de ejecución del estudio**, fundamentando con datos cuantitativos y cualitativos que lo respalden.

(El texto debe contener máximo 3.000 caracteres con espacios incluidos.)

En la fase inicial del estudio el trabajo estuvo enfocado en generar una base de datos lo más representativa posible, se construyó a partir de información de 7 campos de ChileOliva, distribuidos entre la IV y VII región, específicamente de la variedad Arbequina en alta densidad de plantación. La base de datos cuenta con 363 cuarteles, con producciones desde 2016 a 2022 correspondiente a siete temporadas, además se determinó la ubicación espacial de cada cuartel lo que permite obtener una gran cantidad de variables satelitales de cada zona. Entre ellas, 5 variables descriptivas del cuartel como latitud, longitud, superficie, edad y marco de plantación, 44 variables topográficas, 35 variables de índices vegetacionales, 12 variables de evapotranspiración de cultivo, 12 variables de precipitación, 32 variables de índices bioclimáticos, 12 variables de balance hídrico donde cada una de estas variables se estimó a nivel mensual para obtener el delta del balance hídrico mensual para cada año, 84 variables de temperatura, 4 variables de horas de heladas, 7 variables de riego y 67 variables de suelo. A través de la metodología descrita en el Anexo 1, donde se estudió la relación de las variables climáticas y de riego con producción se concluyó que la complejidad de las relaciones encontradas hizo necesario realizar un análisis a través de un modelo no paramétrico basado en árboles de decisión llamado CART (Classification and Regression Trees). Este modelo está basado en árboles de decisión, que nos entrega una visualización de la estructura del árbol de decisión a través de un diagrama, lo que permite analizar la relación de los niveles de producción con respecto a distintas combinaciones de factores ambientales. Como cada campo representa un sistema único se optó por realizar el análisis entrenando modelos para cada uno de ellos, de esta forma los modelos entrenados solo consideran la información acerca de las condiciones ambientales propias a la ubicación geográfica de cada campo. Como resultado se pudo trabajar en 5 de los campos que entregaron información que abarcan las regiones IV, RM y VII. Se obtuvieron 5 diagramas gracias a la modelación CART donde se explican los niveles de producción condicionados a la interacción de distintas variables ambientales. Se puede observar que para cada campo existen umbrales en temperatura con meses críticos para cada empresa, precipitaciones, índices vegetacionales, riego y variables de suelo entre otras. Esto da la oportunidad a la

empresa de poder a través de manejos riego y poda disminuir el efecto de estas variables sobre las producciones y permite tomar mejores decisiones frente a las variables que afectan a cada uno. Además, el modelo CART se convierte en una herramienta muy atractiva de análisis para el resto de los campos. Con estos resultados se plantean grandes desafíos en la industria respecto al riego y el manejo del follaje, abriendo nuevas posibilidades de continuar mejorando la eficiencia del cultivo.

### 3. OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO

Analizar el efecto de la variación climática y restricción hídrica sobre la producción de aceite de oliva a escala nacional

### 4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE) DEL ESTUDIO

| N° OE | Objetivos específicos (OE)                                                                                                                                                         |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Establecer una relación entre la variación climática y restricción hídrica con la producción de aceite de oliva                                                                    |
| 2     | Establecer un indicador de eficiencia en el uso de agua en relación a la producción y de eficiencia monetaria del uso del agua en huertos de olivos para aceites a escala nacional |
| 3     | Realizar difusión y transferencia de los resultados del estudio a los productores de aceite de oliva                                                                               |

## 5. RESULTADOS ESPERADOS (RE) DEL ESTUDIO

\*Repetir el cuadro tantas veces como Resultados Esperados (RE) tenga el estudio.

| N<br>º<br>O<br>E | Resultado<br>esperado                                                                                                   | Indicador de<br>resultado                               | Línea<br>base del<br>indicador | Meta<br>del<br>indicador | Fecha<br>logro<br>del<br>indicador (mes/<br>año) | Valor<br>del<br>indicador al<br>término del<br>estudio | Fecha<br>Real<br>logro<br>100%<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Avance<br>del<br>indicador<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) | Avance del<br>resultado<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1                | 1. Generación de base de datos con información de empresas productoras de aceite de oliva de la IV a la VII región.     | Nº de bases de datos de riego y producción.             | 4                              | 7                        | 31-01-2022                                       | 7                                                      | 31-03-2022                                                          | 100 %                                                                | 100%                                                              |
|                  | 2. Establecer regresiones basadas en el efecto de variables climáticas sobre la producción (Kg aceituna y L de aceite). | Nº de regresiones con más del 65% de varianza explicada | 0                              | 1                        | nov.-22                                          | 5                                                      | nov.-22                                                             | 100 %                                                                |                                                                   |
|                  | 3. Establecer regresiones basadas en el efecto de variables de riego                                                    | Nº de regresiones con más del 70% de varianza explicada | 0                              | 1                        | nov.-22                                          | 5                                                      | nov.-22                                                             | 100 %                                                                |                                                                   |

| N<br>º<br>O<br>E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Resultado<br>esperado                                           | Indicador de<br>resultado | Línea<br>base del<br>indicador | Meta del<br>indicador | Fecha<br>logro<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Valor del<br>indicador al<br>término del<br>estudio | Fecha<br>Real<br>logro<br>100% del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Avance del<br>indicador al<br>término del<br>estudio<br>(%) | Avance del<br>resultado al<br>término del<br>estudio (%) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | sobre la<br>producción<br>(Kg<br>aceituna y<br>L de<br>aceite). |                           |                                |                       |                                                     |                                                     |                                                                  |                                                             |                                                          |
| <p>Analice y justifique el avance del resultado esperado al término del estudio.</p> <p>Luego del proceso de generar la base de datos y realizar modelaciones con los modelos predictivos para tener las variables a considerar para el estudio se realizó la selección de variables, para evitar sobre ajustar los modelos posteriores. Para esto primero se dividieron los predictores según su naturaleza (e.g. Predictores de Precipitación, Temperatura, Topografía, Riego, etc.). Cada conjunto de predictores se acoplo a los datos de producción para realizar una selección de variables por cada grupo. A diferencia del proceso utilizado en los modelos predictivos, con este método se obtiene un número más grande de predictores, con el objetivo de evitar problemas relacionados a la dimensionalidad de la base de datos, es decir, como se cuenta con una menor cantidad de datos (ya que solo se utilizan los datos propios de cada campo) y una gran cantidad de predictores realizar la selección con todos los predictores puede eliminar posibles variables importantes que tengan relación con la producción.</p> <p>Al conjunto de predictores obtenidos para cada campo se le aplico un filtro de correlación eliminando las variables que presentaran una correlación mayor a 0.6. Con los predictores que resultaron de este filtro se entrenaron modelos CART para obtener una estimación de la importancia predictiva de cada una de las variables. El conjunto final de predictores con los que se entrenaron los modelos definitivos se construyó a partir de los 5 predictores con mayor poder predictivo según el modelo CART. Una vez que los modelos fueron calibrados y optimizados se realizó un último ajuste utilizando el 75% de los datos para entrenar los modelos y el 25% restante para validar y obtener las métricas finales del árbol. Con este modelo final se graficó mediante un diagrama la estructura del árbol para analizar la relación entre las variables ambientales seleccionadas y la producción. De esta manera como resultado tenemos 5 modelos CART uno por empresa donde se muestra la interacción de las variables para cada realidad.</p> |                                                                 |                           |                                |                       |                                                     |                                                     |                                                                  |                                                             |                                                          |

| N<br>º<br>O<br>E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Resultado<br>esperado | Indicador de<br>resultado | Línea<br>base del<br>indicador | Meta del<br>indicador | Fecha<br>logro<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Valor del<br>indicador al<br>término del<br>estudio | Fecha<br>Real<br>logro<br>100% del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Avance del<br>indicador al<br>término del<br>estudio<br>(%) | Avance del<br>resultado al<br>término del<br>estudio (%) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <p>Campo 1 (IV región). Olivar de Manantiales. El modelo muestra que la precipitación de julio es una variable importante para determinar la producción. Cuando los niveles de precipitación en julio son mayores a 42 mm se obtuvieron producciones promedio de 4.334 kg/ha. Al observar el comportamiento del riego en el mes de octubre, la única variable de riego seleccionada para el modelo de Manantiales se ve como los niveles de producción han sido más altos cuando se mantiene un riego mayor a 314 m3/ha, excepto para el año 2016, sin embargo, esta excepción la explica el modelo debido a la mayor cantidad de precipitación en julio. En este campo se observa una alta sensibilidad a los niveles de precipitación durante el invierno o al manejo del riego que se desarrolle en los meses de primavera en respuesta a la cantidad de precipitación caída, así como también se presentan factores de índices vegetacionales que indican que un aumento del follaje puede afectar a la producción.</p> <p>Campo 2 (IV región). El modelo del campo Rio Negro nos muestra que la temperatura es una variable relevante para la producción, donde una temperatura promedio de la superficie durante las noches de mayo menor a 5.7°C determina producciones promedio de 2.553 kg/ha y al contrario se obtiene en promedio 12.000 kg/ha. El resto de las variables más relevantes del modelo corresponden a mediciones espectrales de la vegetación determinadas por la cobertura de los cultivos que puede variar producto de la poda o la presencia de malezas.</p> <p>Campo 3 (IV región). El modelo para el campo de Ugarte y Scott (Olimpo) presenta a la precipitación y la temperatura de la superficie como las variables más relevantes para estimar la producción en los niveles más altos del diagrama. Para la temperatura mínima el modelo establece dos límites, el primero corresponde a los 31°C, sobre este umbral los rendimientos promedio se encuentran en los 10.000 kg/ha, mientras que en caso contrario el promedio es de 15.000 kg/ha. El segundo límite establecido en los 33°C define su efecto según el límite de precipitación de 0.81 mm. En base a estos resultados, se puede interpretar que la producción promedio a nivel de campo es influenciada por los niveles de precipitación durante los meses de otoño-invierno, mientras que la variación entre los cuarteles está determinada por la temperatura de la superficie durante el día. Algunos factores que pueden aumentar la temperatura de la superficie son la falta de humedad en el suelo y la vegetación, o también la cantidad de radiación que llega directamente al suelo la que puede ser regulada mediante la aplicación de técnicas de poda o cubiertas vegetales.</p> |                       |                           |                                |                       |                                                     |                                                     |                                                                  |                                                             |                                                          |

| N<br>º<br>O<br>E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Resultado<br>esperado | Indicador de<br>resultado | Línea<br>base del<br>indicador | Meta<br>del<br>indicador | Fecha<br>logro<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Valor<br>del<br>indicador<br>al<br>término<br>del<br>estudio | Fecha<br>Real<br>logro<br>100%<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Avance<br>del<br>indicador<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) | Avance<br>del<br>resultado<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <p>Campo 4 (RM). El modelo entrenado para el campo Reservas de Llançay solo presenta una variable climática relacionada a la acumulación de días grado en base 15°C desde abril a noviembre. El modelo muestra que cuando esta variable es mayor a 1.058 se obtiene un rendimiento promedio de 3.193 kg/ha, y en caso contrario el rendimiento es de 5.154 kg/ha. También se ve una influencia del suelo sobre las producciones.</p> <p>Campo 5 (VII región). El modelo entrenado para Siracusa muestra a la temperatura de la superficie como la variable climática más relevantes para discernir los niveles de producción observados. Este campo es el que se encuentra más hacia el sur por lo que la influencia de las temperaturas es un resultado muy relevante para confirmar la utilidad de este modelo. El modelo muestra que cuando la temperatura máxima de la superficie durante la noche en marzo es menor a 19°C los niveles de producción promedio caen de 12.000 kg/ha a 7.408 kg/ha, lo que ocurrió el año 2021 cuando se obtuvieron producciones más altas que en el resto de los años. El modelo nos muestra una relación estacional en donde los cultivos requieren de temperaturas más altas durante las noches de primavera cuando se enfrentan a un otoño más frío, y en caso contrario, cuando existen otoños de noches más cálidas los cultivos presentan los mayores rendimientos cuando las noches de primavera son más frías. En cuanto a los resultados sobre el riego, el análisis de sensibilidad muestra posibles rangos en donde se tiene que mover los niveles de riego para beneficiar a los cultivos. Mientras que riegos menores a 300 m³/ha presentan los peores resultados, cuando el nivel de riego está por sobre los 600 m³/ha los cultivos parecen no responder con una mayor producción.</p> <p>El diagrama se presenta con relación a los kilogramos de fruta por hectárea y para aceite es lo mismo dado que el cálculo del rendimiento de aceite se obtiene aplicando un porcentaje sobre los kilos de fruta promedio de cada empresa.</p> |                       |                           |                                |                          |                                                     |                                                              |                                                                     |                                                                      |                                                                      |
| Indique el número del anexo en donde se encuentra la documentación que respalda el avance del resultado al término del estudio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                       |                           |                                |                          |                                                     |                                                              |                                                                     |                                                                      |                                                                      |
| Anexo 1 y 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                       |                           |                                |                          |                                                     |                                                              |                                                                     |                                                                      |                                                                      |

| N<br>º<br>O<br>E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Resultado<br>esperado                                                                                                                                                                | Indicador de<br>resultado                                                                         | Línea base<br>del<br>indicador | Meta<br>del<br>indicador | Fecha<br>logro<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Valor del<br>indicador<br>al término<br>del estudio | Fecha<br>Real<br>logro<br>100%<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Avance<br>del<br>indicador<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) | Avance<br>del<br>resultado<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4. Establecer un indicador de eficiencia en el uso de agua en relación a la producción y de eficiencia monetaria del uso del agua en huertos de olivos para aceite a escala nacional | m3 agua / kg fruta producido                                                                      | 0,5                            | 0,3                      | nov.-22                                             | 0,6                                                 | nov.-22                                                             | 80%                                                                  | 86,6%                                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                      | m3 de agua / litro de aceite producido                                                            | 2,5                            | 1,8                      | nov.-22                                             | 3,3                                                 | nov.-22                                                             | 80%                                                                  |                                                                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 5. Establecer un indicador de eficiencia monetaria del uso del agua en huertos de olivos para aceite a escala nacional.                                                              | Costo del riego (\$) por hectárea. Incluye insumos riego, mantención y energía eléctrica a riego. | \$800.000 / ha                 | \$500.000 / ha           | nov.-22                                             | \$583.324                                           | nov.-22                                                             | 100%                                                                 |                                                                      |
| Analice y justifique el avance del resultado esperado al término del estudio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                   |                                |                          |                                                     |                                                     |                                                                     |                                                                      |                                                                      |
| Es complejo a partir de los 5 diagramas obtenidos establecer las relaciones e interacciones entre dos factores y derivar a un indicador que relacione el riego con la producción. Por lo tanto, lo que se pudo establecer son umbrales para cada empresa según el árbol o diagrama que arroja el modelo CART.                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                   |                                |                          |                                                     |                                                     |                                                                     |                                                                      |                                                                      |
| Campo 1. O. de Manantiales. Cuando la precipitación de julio es menor a 3.2 mm, es decir un mes donde prácticamente no llueve, el modelo muestra que un nivel de riego en octubre mayor a 314 m3/ha podría ayudar a aumentar la producción a un promedio de 10.000 kg/ha.                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                   |                                |                          |                                                     |                                                     |                                                                     |                                                                      |                                                                      |
| Campo 2. Rio Negro. Si bien los riegos no son parte de los primeros nodos de importancia, para el año 2022 el modelo muestra al balance hídrico de diciembre como una variable relevante para dividir los rendimientos de los cuarteles. En este caso, se puede ver como los cuarteles que tuvieron un menor déficit de agua durante este mes son los que lograron mantener el mayor rendimiento con un promedio de 2.119 kg/ha, mientras que el resto de los cuarteles obtuvo un promedio de 295 kg/ha, igualmente estos rendimientos están en un rango bajo de producción. |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                   |                                |                          |                                                     |                                                     |                                                                     |                                                                      |                                                                      |

| N<br>º<br>O<br>E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Resultado<br>esperado | Indicador de<br>resultado | Línea base<br>del<br>indicador | Meta<br>del<br>indicador | Fecha<br>logro<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Valor del<br>indicador<br>al término<br>del estudio | Fecha<br>Real<br>logro<br>100%<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Avance<br>del<br>indicador<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) | Avance<br>del<br>resultado<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <p>Este resultado resalta la importancia de mantener un buen nivel de humedad en el suelo durante los meses de verano, donde los datos muestran que los 60mm de déficit es un valor crítico para este campo.</p> <p>Campo 3. Ugarte y Scott. Este modelo muestra las temperaturas y la precipitación como las variables más importantes para determinar la producción, por lo que no aparecen umbrales para el riego como tal, sin embargo, se infiere que se debe regular la temperatura de la superficie disminuyendo el calor sensible del ambiente asegurando niveles de humedad adecuados para los cultivos mediante la aplicación de riegos, que les permita transpirar y regular su temperatura.</p> <p>Campo 4. R. de LLancay. El modelo de este campo no presenta el riego como tal en los nodos sin embargo luego de varios nodos de importancia aparece la capacidad de campo, se observa que esta determina los niveles de producción desde los 60-100 cm. Donde para valores mayores a 0.27 la producción media es de 6.365 kg/ha y para valores menores la producción media ha sido de 9.404 kg/ha. Una posible explicación de esto puede ser la presencia de suelos arcillosos que aumentan la retención de agua, pero esta puede no estar disponible para las plantas debido al tamaño de poros lo que produciría una falta de oxígeno en las plantas. Un mapeo detallado de los suelos del campo puede derivar en procesos de riego que se adecuen al tipo de suelo sobre el que se encuentra el cultivo, lo que implicaría la reducción de los costos de riego o un mayor desarrollo de la vegetación.</p> <p>Campo 5. Siracusa. La única variable relacionada al riego que se muestra en los primeros cuatro niveles del modelo corresponde al riego de enero. El modelo establece un límite de 353 m<sup>3</sup>/ha para discriminar dos grupos de rendimiento. Bajo este límite se obtiene una producción promedio de 5.879 kg/ha y en caso contrario la producción promedio aumenta a 8.764 kg/ha. El análisis de sensibilidad de esta variable nos muestra que a partir de aproximadamente 300 m<sup>3</sup>/ha comienza un aumento de la producción hasta aproximadamente los 600 m<sup>3</sup>/ha. Pasado este último valor la producción se mantiene prácticamente inalterada.</p> <p>Estas relaciones para el aceite son las mismas, dado que el aceite por hectárea se calcula aplicando un porcentaje de extracción a los kilogramos de fruta. Que para la zona norte tiene un promedio de 17% y para la zona centro sur de 15%.</p> <p>Los resultados indican que, si bien las variables de riego como tal no aparecen en los primeros nodos de importancia de las empresas, si se puede ver que existen nodos que demuestran que técnicas de riego podrían aminorar los efectos del clima sobre el cultivo, así como también técnicas de poda podrían regular la demanda hídrica, la temperatura y los índices vegetacionales que afectan a la producción.</p> <p>Para el presente informe se recogieron los valores del catastro de producción nacional donde están incluidas las empresas del estudio y los valores promedios para los m<sup>3</sup> agua / kg fruta producido fueron de 0,6 y para m<sup>3</sup> de agua/ litro de aceite producido fueron de 3,3. Estos valores son más altos que los presentados al inicio del estudio y se debe particularmente porque durante el año 2022 se presentó una baja productiva de un 35% menos que el año anterior, similar a las producciones obtenidas en el año 2014 a nivel nacional, es decir una baja productiva considerable. Esto repercute en los índices medidos.</p> <p>Con respecto a los indicadores monetarios según el levantamiento de los costos por hectárea el resultado es de un promedio de \$583.324 Este costo por hectárea incluye gastos de electricidad, mantención, mano de obra relacionada al riego, insumos entre otros. Se ve una disminución y esta se atribuye principalmente al menor consumo de agua por parte de las empresas debido al estrés hídrico. Sin embargo hay que considerar que existieron hectáreas sin regar que bajaron la producción 2022.</p> <p>Indique el número del anexo en donde se encuentra la documentación que respalda el avance del resultado al término del estudio.</p> |                       |                           |                                |                          |                                                     |                                                     |                                                                     |                                                                      |                                                                      |

| N.<br>º<br>O<br>E | Resultado<br>esperado | Indicador de<br>resultado | Línea base<br>del<br>indicador | Meta<br>del<br>indicador | Fecha<br>logro<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Valor del<br>indicador<br>al término<br>del estudio | Fecha<br>Real<br>logro<br>100%<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Avance<br>del<br>indicador<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) | Avance<br>del<br>resultado<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) |
|-------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Anexo 1, 2 y 4, 5 |                       |                           |                                |                          |                                                     |                                                     |                                                                     |                                                                      |                                                                      |

| N.<br>º<br>O<br>E | Resultado<br>esperado                                                                                                     | Indicador de<br>resultado   | Línea<br>base del<br>indicador | Meta<br>del<br>indicador | Fecha<br>logro<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Valor del<br>indicador<br>al<br>término<br>del<br>estudio | Fecha<br>Real<br>logro<br>100%<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Avance<br>del<br>indicador<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) | Avance<br>del<br>resultado<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 3                 | 6. Reuniones de trabajo con mesa técnica de directorio de Chileoliva, antes de difundir los resultados a los productores. | Nº de reuniones de trabajo. | 0                              | 3                        | sept.-22                                            | 6                                                         | nov.-22                                                             | 100%                                                                 | 100%                                                                 |
|                   | 7. Empresas de Chileoliva capacitadas en el uso de los indicadores.                                                       | Nº de empresas capacitadas  | 0                              | 20                       | nov.-22                                             | 21                                                        | nov.-22                                                             | 100%                                                                 |                                                                      |

Analice y justifique el avance del resultado esperado al término del estudio

Durante la ejecución del proyecto se realizaron varias reuniones de trabajo con los productores, algunas de ellas ya se reportaron en el informe de avance, en lo que respecta al periodo posterior es decir desde junio a noviembre las reuniones que se realizaron fueron las siguientes:

Reunión de trabajo 4 de agosto 2022. Se realizó una reunión de trabajo con los productores de aceite, esta se realizó en el marco de una reunión técnica que se lleva a cabo a nivel gremial con el grupo de transferencia tecnológica GTO, Grupo Técnico Olivícola. En dicho taller se expusieron los resultados preliminares del procesamiento de datos, y se recogió las apreciaciones de las empresas sobre estos resultados y posibles análisis que se podían hacer a partir de ellos. Las empresas valoraron los datos que aportaron antecedentes interesantes en la discusión de los resultados de cosecha actuales. Las conclusiones que se obtuvieron de esa jornada fue que la evidencia recopilada hasta ese momento señalaba que las relaciones entre las variables ambientales y la producción de los cultivos son mayoritariamente no lineales. Además, que los resultados obtenidos para un campo pueden ser diametralmente opuestos a otro campo. Por otra parte, que los resultados de la cosecha de este año 2022

| N.<br>O.<br>E. | Resultado<br>esperado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Indicador<br>de<br>resultado | Línea<br>base del<br>indicador | Meta<br>del<br>indicador | Fecha<br>logro<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Valor del<br>indicador<br>al<br>término<br>del<br>estudio | Fecha<br>Real<br>logro<br>100%<br>del<br>indicador<br>(mes/<br>año) | Avance<br>del<br>indicador<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) | Avance<br>del<br>resultado<br>al<br>término<br>del<br>estudio<br>(%) |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                | <p>pueden dar más luces sobre cuáles son las relaciones más relevantes. Faltaba definir modelos no lineales que permiten explicar la producción seleccionando las variables más relevantes ya estudiada y es por ello por lo que se deriva a los Modelos CART. Finalmente, que la dinámica temporal de los datos invita a estudiar la tasa de cambio de las distintas variables y no solo el valor instantáneo.</p> <p>Reunión de trabajo 6 de octubre 2022. En esta reunión se convocó solo a las empresas que participaron en la investigación con datos activamente, y a la vez quienes son parte del comité del directorio. En dicha instancia se expuso los resultados preliminares de la investigación donde las empresas pudieron corroborar y validar estos resultados. En esa reunión se pudieron corroborar los factores que incluyen en la producción y las observaciones particulares para cada campo.</p> <p>Taller Día de Campo. 25 y 26 de octubre 2022. En estos Días de Campo se expusieron los resultados finales del estudio, se contó con la participación de las empresas productoras de aceite de oliva. Fue una instancia técnica donde los agrónomos pudieron conocer los resultados y a partir de ellos proponer posibles pasos a seguir. De parte de las empresas la impresión es que es muy interesante contar con estos antecedentes, las empresas que participaron en el estudio validaron dichos resultados. Como conclusión ellos ven la posibilidad de seguir trabajando en aumentar el conocimiento sobre los suelos de los huertos, sobre manejos y estrategias de riego y de poda que permitan al cultivo obtener mejores producciones. También se concluyó que si bien el estrés hídrico afecta a los huertos a través de manejos se puede lograr hacer más eficiente al cultivo y que en ese sentido se puede ser más resiliente a los escenarios futuros. En esta instancia también se visitaron los campos del estudio donde se pudo observar en terreno las características de cada campo.</p> <p>Encuentro Nacional de Aceite de Oliva. 29 de noviembre. La reunión, convocó a todos los actores de la industria de Aceite de Oliva, con aproximadamente de 100 asistentes, donde asisten desde los dueños de las empresas, agrónomos, almazareros y académicos relacionados al mundo del aceite. El evento comenzó con la bienvenida dada por el presidente de ChileOliva, Sr. David Scott, quien compartió un video con los principales proyectos y actividades de la Asociación. En el programa el investigador Sr. Mauricio Galleguillos expuso los resultados del presente estudio que fueron citados posteriormente por el ministro de Agricultura como un gran avance para la industria. Apoyando estas iniciativas de investigación que nos permiten ser más resilientes al cambio Climático.</p> <p>Además, como difusión final se generaron 5 informes, uno para cada empresa que participó en el estudio donde se detallan los resultados para cada caso.</p> <p>Indique el número del anexo en donde se encuentra la documentación que respalda el avance del resultado al término del estudio.</p> <p>Anexo 3 y 4.</p> |                              |                                |                          |                                                     |                                                           |                                                                     |                                                                      |                                                                      |

## 6. RESUMEN CUMPLIMIENTO RESULTADOS ESPERADOS DE TODO EL ESTUDIO.

| N° OE | N° y Nombre RE por OE                                                                                                                                                                | Avance del resultado al término del estudio (%) | Cumplimiento del RE | Avance OE al término del estudio (%) |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 1     | 1. Generación de base de datos con información de empresas productoras de aceite de oliva de la IV a la VII región.                                                                  | 100%                                            | SI                  | 100%                                 |
| 1     | 2. Establecer regresiones basadas en el efecto de variables climáticas sobre la producción (Kg aceituna y L de aceite).                                                              | 100%                                            | SI                  |                                      |
| 1     | 3. Establecer regresiones basadas en el efecto de variables de riego sobre la producción (Kg aceituna y L de aceite).                                                                | 100%                                            | SI                  |                                      |
| 2     | 4. Establecer un indicador de eficiencia en el uso de agua en relación a la producción y de eficiencia monetaria del uso del agua en huertos de olivos para aceite a escala nacional | 80%                                             | PARCIAL             | 90%                                  |
| 2     | 5. Establecer un indicador de eficiencia monetaria del uso del agua en huertos de olivos para aceite a escala nacional.                                                              | 100%                                            | SI                  |                                      |
| 3     | 6. Reuniones de trabajo con mesa técnica de directorio de Chileoliva, antes de difundir los resultados a los productores.                                                            | 100%                                            | SI                  | 100%                                 |

|   |                                                                     |      |    |  |
|---|---------------------------------------------------------------------|------|----|--|
| 3 | 7. Empresas de Chileoliva capacitadas en el uso de los indicadores. | 100% | SI |  |
|---|---------------------------------------------------------------------|------|----|--|

## 7. ANÁLISIS DE BRECHA

Cuando corresponda, justificar las discrepancias entre los resultados esperados al inicio y los obtenidos al término del estudio. En caso de resultados esperados con cumplimiento marcado como No o Parcial.

En el caso de los resultados del objetivo 2, el cumplimiento fue parcial. Esto debido a que inicialmente se esperaba establecer un indicador de eficiencia en el uso de agua en relación a la producción y de eficiencia monetaria del uso del agua en huertos de olivos para aceite a escala nacional.

Finalmente, los resultados de este estudio demostraron que la relación entre las variables de riego y las variables de clima con la producción no pueden ser fácilmente desacopladas. Para los mismos niveles de riego se presenta una alta variación en la producción lo que indica que existe la influencia de otras variables ambientales o de manejo; el mismo efecto se puede observar cuando se observa la dispersión de la producción con respecto a variables climáticas como la precipitación.

Por lo tanto, los modelos entrenados incorporaron ambos tipos de variables para estudiar las interacciones entre los factores ambientales que pueden determinar los niveles de producción para cada campo. Al observarse una gran variabilidad entre los campos no se pudo tener una correlación a nivel nacional si no que se obtuvieron modelos para cada campo, que corresponden a un diagrama de árbol en donde se explican los niveles de producción condicionados según la interacción de distintas variables ambientales. Por lo que un indicador de eficiencia como se había planteado no refleja que la producción de biomasa de un cultivo es un proceso complejo que involucra una gran cantidad de variables ambientales.

## 8. CAMBIOS Y/O PROBLEMAS DEL ESTUDIO

Especificar los cambios y/o problemas en el desarrollo del estudio al término de su ejecución. Se debe considerar aspectos como: equipo técnico, problemas metodológicos, adaptaciones y/o modificaciones de actividades, cambios de resultados, gestión y administrativos.

| Describir cambios y/o problemas                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos                                                                                                                                                                       | Ajustes realizados al estudio para abordar los cambios y/o problemas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si bien se observó en algunos campos que hay una relación directa entre los niveles de riego y la producción de fruta, aunque esta relación no es lineal. Si se desglosa esta relación para cada año los niveles de riego no son suficiente para explicar la diferencia de producción entre los distintos cuarteles. | Se observa como la relación se vuelve más difusa cuando se considera solo la producción de un año, lo que indica que la variación entre cuarteles está dada por la influencia de más variables ambientales. Esto planteó un gran desafío en el desarrollo del estudio. | Debido a la complejidad de las relaciones encontradas se decidió utilizar un modelo no paramétrico basado en arboles de decisión llamado CART (Classification and Regression Trees). Este tipo de modelos trabaja particionando recursivamente los datos en distintos subespacios de acuerdo con el cumplimiento de una regla basada en los valores de los predictores. Este tipo de algoritmos nos ofrece una visualización intuitiva de los niveles de producción que se pueden obtener de acuerdo con distintas combinaciones de los factores ambientales, lo que se visualiza como un diagrama. |
| Complejidad de las relaciones encontradas entre variables climáticas y riego con producción para la realidad de cada campo.                                                                                                                                                                                          | Esta complejidad obligo a dividir la base de datos en cada uno de los campos disminuyendo considerablemente la cantidad de datos disponibles para el entrenamiento de los modelos.                                                                                     | Esto implicó desarrollar modelos para cada uno de los campos y estudiar las relaciones de las variables ambientales para cada uno lo que resulto en una mayor cantidad de tiempo invertido en el periodo de modelación, no obstante, se obtuvieron modelos con buenos resultados que nos permiten inferir acerca de cuáles son las variables ambientales más relevantes para cada campo y las razones de las relaciones encontradas                                                                                                                                                                 |



## 10. POTENCIAL IMPACTO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En esta sección se debe hacer una descripción y cuantificación general del potencial impacto de los resultados obtenidos al final del estudio, y estimación de lograr otros en el futuro, comparación con los esperados, y razones que explican las discrepancias.

El potencial de impacto de los resultados obtenidos puede ser descrito o cuantificado según si es de ámbito productivo (rendimiento, costos de producción), económico (ventas), comercial (participación del mercado), social (nuevos empleos generados por efecto del estudio), tecnológico (solicitudes de patentes), etc.

Los resultados entregados en este estudio aportan a las empresas antecedentes antes no conocidos con respecto a la relación entre variables climáticas y de riego y la producción. Revela que en el olivo existe una alta variabilidad y que cada campo responde a su propia realidad, según sus condiciones.

Los modelos CART que modelan la producción utilizando una selección de 5 variables ambientales seleccionadas en base a un algoritmo automatizado basado en Random Forest y criterio experto, no permiten obtener una fórmula que vincule la producción con los valores de los predictores, pero si nos permite delimitar rangos de producción para los distintos campos de acuerdo con las condiciones sobre ciertos límites en el valor de los predictores establecidos por los modelos. De esta manera cada campo tiene umbrales de cada variable y según ello la producción que podría obtener. El impacto de esto es que da una orientación del trabajo a realizar por parte de las empresas frente a cada variable que se va presentando en la temporada e indica en cada caso los factores más relevantes y cuales son factibles de manejar a través de estrategia de riego y poda, así como también manejo de malezas y cubiertas vegetales en el huerto.

Además, el impacto de estos resultados es que se concluye que solo el estrés hídrico no es el responsable de las variaciones en las producciones sino que también el conjunto de variables climáticas asociadas como temperaturas, precipitaciones, condiciones de suelo y como segunda derivada estrategias de riego frente a estas condiciones y manejo de la canopia a través de las podas. De esta manera se presenta un gran desafío a la industria que es a través del manejo eficiente del cultivo disminuir los efectos de las variables climáticas y de estrés hídrico sobre las producciones.

Se puede concluir también que la sistematización de datos de manejo y rendimientos productivos en el tiempo son esenciales para poder conocer de mejor manera el funcionamiento de los campos, donde se observó un potencial a mejorar y con lo que se podría seguir avanzando en los estudios localizados. De esta manera los modelos CART pueden ser una gran herramienta de análisis para cada campo, creándose un nuevo recurso al cual las empresas pueden recurrir para entender el funcionamiento de sus campos, considerando que estos modelos funcionan con los datos locales, siendo aun

mas confiables que aplicar las experiencias de otras realidades sobre cada campo en particular.

## 11. CAMBIOS EN EL ENTORNO

Indique si existieron cambios en el entorno (sociales, culturales, normativos, tecnológicos, de mercado y económicos, entre otros) que afectaron la ejecución del estudio y las medidas tomadas para enfrentar cada uno de ellos.

El gran cambio ocurrido durante el año 2022 es que se presentaron rendimientos por debajo de los esperados a nivel nacional, con un valor de 16.500 toneladas, representando una baja productiva del 35% con respecto al año anterior donde se obtuvieron 25.500 toneladas. Durante la temporada se presentaron una serie de dificultades como retraso en la maduración y posterior efecto de heladas severas en la zona productiva centro sur, lo que retrasó las cosechas y por lo tanto en algunos casos la entrega de información para el análisis del estudio. Otro factor que retrasó las cosecha fue la disponibilidad de máquinas cosechadoras y repuestos para las mismas, contingencia que ha sido una tendencia desde pandemia.

Esta baja productiva representa un desafío a analizar, desde el año 2014 no se presentaba una producción tan baja, y esto impulsa aún más el interés por parte de las empresas de entender el funcionamiento del cultivo y como este se ha adaptado a las condiciones de Chile. Las razones son variadas y el estudio aportó grandes antecedentes por campo.

Como parte de las razones extra a las aportadas por este estudio de la baja productiva, está que empresas del norte durante la temporada de riego 2022 tuvieron que dejar de regar cuarteles, y por otra parte en el sur algunos campos venían a la baja productiva porque durante el año 2021 se presentó un récord histórico de producción. Considerando que el cultivo es añero era esperable una baja productiva sin embargo fue más significativa de lo estimado.

Por otra parte, está el factor de la edad de los huertos, donde se ha observado que en promedio los huertos tienen entre 9 a 11 años, considerando que son sistemas super intensivos es posible que la baja productiva sea una tendencia del huerto debido a su sistema de producción y conducción. Es por ello que se presenta un desafío nuevo que es estudiar otras variedades que se adapten a las condiciones de Chile y por otra parte a

estudiar diferentes podas de renovación para modificar la conducción del árbol de manera de aumentar los años productivos.

Cabe destacar que las empresas durante el año 2022 han pasado por el proceso de auditoría de certificación para su segundo Acuerdo de Producción Limpia. Donde entre 9 Metas con compromisos específicos, está la Meta 4 que apunta a mejorar la gestión hídrica de los campos y almazaras. Es así como 23 instalaciones han implementado un plan de gestión hídrica con acciones específicas que apuntan a mejorar el uso del agua, por lo que este Estudio para la innovación representa una fuente de información relevante para la toma de decisiones.

## 12. PRODUCTORES PARTICIPANTES DURANTE LA EJECUCIÓN

Complete los siguientes cuadros con la información de los productores participantes durante la ejecución del estudio.

### 12.1 Antecedentes globales de participación de productores

Debe indicar la región, tipo de productor, número de mujeres, número de hombres, etnias y el total de los participantes durante la ejecución del estudio.

| Región | Tipo productor                   | N° de mujeres | N° de hombres | Etnia<br>(Si corresponde,<br>indicar el N° de<br>productores por etnia) | Total |
|--------|----------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| IV     | Productores pequeños             |               | 1             |                                                                         | 1     |
|        | Productores medianos-<br>grandes | 2             | 2             |                                                                         | 4     |
|        | Productores medianos-<br>grandes |               | 1             |                                                                         | 1     |
|        | Productores medianos-<br>grandes |               | 1             |                                                                         | 1     |
|        | Productores medianos-<br>grandes |               | 1             |                                                                         | 1     |
| V      | Productores pequeños             |               | 1             |                                                                         | 1     |
|        | Productores pequeños             |               | 1             |                                                                         | 1     |
| RM     | Productores pequeños             |               | 1             |                                                                         | 1     |
|        | Productores medianos-<br>grandes |               | 1             |                                                                         | 1     |
|        | Productores medianos-<br>grandes |               | 1             |                                                                         | 1     |
|        | Productores medianos-<br>grandes | 1             | 2             |                                                                         | 3     |
|        | Productores medianos-<br>grandes |               | 1             |                                                                         | 1     |
| VI     | Productores medianos-<br>grandes |               | 1             |                                                                         | 1     |
|        | Productores medianos-<br>grandes | 2             |               |                                                                         | 2     |
|        | Productores medianos-<br>grandes |               | 2             |                                                                         | 2     |
|        | Productores medianos-<br>grandes |               | 2             |                                                                         | 2     |
| VII    | Productores medianos-<br>grandes | 1             | 1             |                                                                         | 2     |

|  |                              |          |           |  |           |
|--|------------------------------|----------|-----------|--|-----------|
|  | Productores medianos-grandes |          | 1         |  | 1         |
|  | Productores medianos-grandes | 1        | 2         |  | 3         |
|  | Productores medianos-grandes |          | 1         |  | 1         |
|  | Productores medianos-grandes |          | 1         |  | 1         |
|  | <b>Totales</b>               | <b>7</b> | <b>25</b> |  | <b>32</b> |

## 12.2 Antecedentes específicos de participación de productores

Debe indicar el nombre de cada productor y la información de la ubicación de las unidades productivas, la superficie y la fecha de ingreso del productor al estudio.

| Nombre                    | Ubicación Predio |             |                  | Superficie Há. | Fecha ingreso al estudio |
|---------------------------|------------------|-------------|------------------|----------------|--------------------------|
|                           | Región           | Comuna      | Dirección Postal |                |                          |
| Rio Negro S.A             | IV               | Ovalle      |                  | 479            | Diciembre 2021           |
| Olivar de Manantiales     | IV               | Ovalle      |                  | 438            | Diciembre 2021           |
| Ugarte y Scott (O.Olimpo) | IV               | Ovalle      |                  | 336            | Diciembre 2021           |
| La reserva de Llançay     | RM               | Melipilla   |                  | 531            | Diciembre 2021           |
| Siracusa                  | VII              | Villa Pratt |                  | 1.069          | Diciembre 2021           |

## 13. DIFUSIÓN

Describe las actividades de difusión realizadas durante toda la ejecución del estudio:

| Fecha   | Lugar de Realización | Tipo de Actividad (Charla, Taller, Seminario, entre otros)                | Número participantes | Número de Anexo     |
|---------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|
| nov.-21 | Reunión virtual      | Comité Técnico Directorio – Presentación del proyecto y de equipo técnico | 9 participantes      | Rendición de avance |
| abr.-22 | Taller virtual       | Taller de trabajo con empresas – base de datos                            | 14 participantes     | Rendición de avance |
| abr.-22 | Taller virtual       | Taller de difusión sobre el proyecto a productores de Chileoliva          | 26 participantes     | Rendición de avance |

| Fecha                       | Lugar de Realización              | Tipo de Actividad (Charla, Taller, Seminario, entre otros)                                                                                                                | Número participantes | Número de Anexo     |
|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|
| abr.-22                     | Asamblea de socios                | En asamblea de socios se presenta proyecto a directores y dueños de las empresas socias de Chileoliva                                                                     | 24 participantes     | Rendición de avance |
| Agosto - 22                 | Reunión productores - GTO         | Reunión de trabajo con productores de aceite de oliva socios, pertenecientes al GTO, Grupo Técnico Olivícola. Se presento charla de avance y se trabajó con las empresas. | 26 participantes     | Anexo 3             |
| Octubre -22                 | Reunión trabajo-Comité directorio | Reunión de trabajo con productores que participaron en Estudio, quienes conforman el comité del directorio.                                                               | 10 participantes     | Anexo 3             |
| Octubre 22                  | Días de Campo                     | Se presentaron los resultados en los Días de Campo, charla y discusión en terreno.                                                                                        | 40 participantes     | Anexo 3             |
| Noviembre 22                | Encuentro Nacional                | Charla en Encuentro Nacional de aceite de Oliva.                                                                                                                          | 100 participantes    | Anexo 3             |
| <b>TOTAL, PARTICIPANTES</b> |                                   |                                                                                                                                                                           | 100                  |                     |

## 14. CONCLUSIONES

Son las reflexiones o deducciones generadas luego de analizar la evidencia de las actividades, los resultados o las premisas del estudio al término de su ejecución. Aborda aspectos de gestión, técnicos y de contexto, entre otros. Tiene una perspectiva de pasado.

Se debe entregar una apreciación a un nivel más amplio del aporte de los resultados obtenidos para el sector silvoagropecuario y agroalimentario de nuestro país, especialmente en el marco del desafío estratégico de FIA en el cual postuló.

El olivo en Chile está plantado en sistemas de alta densidad, en huertos mecanizados y que cuentan con riego tecnificado, en los cuales con los años se ha ido implementando agricultura de precisión para hacer frente a la variación de condiciones debido al cambio climático. Se ubican en zonas altamente afectadas por la restricción hídrica, donde se estimó que era el factor preponderante que influía en la producción.

Uno de los desafíos actuales de la industria es ser productivos, sustentables y resilientes al cambio climático, y en el marco de este desafío Chileoliva presentó este proyecto, en el cual se planteó como objetivo analizar el efecto de la variación climática y restricción hídrica sobre la producción de aceite de oliva a escala nacional. Abordando el desafío estratégico de la eficiencia hídrica y adaptación al cambio climático.

En el desarrollo del estudio se observó una alta variabilidad de los factores ambientales y de riego que afectan a los campos de acuerdo a la zona en que se encuentran, destacándose la dominancia de efectos vinculado a precipitaciones, temperatura y riego en la zona norte y las temperaturas en la zona sur. Se puede concluir que dada la alta variabilidad presentada en las relaciones estudiadas se hace indispensable contar con herramientas como imágenes satelitales, datos de estaciones meteorológicas y datos ordenados y sistematizados por parte de las empresas para poder utilizar machine learning que permite hacer estos análisis de múltiples variables.

Al terminar el estudio con los Modelo CART representados en un diagrama por empresa, se pueden ver cómo actúan en forma conjunta las variables climáticas, índices vegetacionales, manejo de poda y riego entre otros. Mostrándose umbrales en los cuales cada empresa debe fijarse para aplicar estrategias de manejo. Esto representa una gran herramienta de trabajo para los productores, que puede replicarse a más campos y abre posibilidades de ser productivos bajo escenario de restricción hídrica a través de manejo agronómico. Esta experiencia se puede replicar a otros rubros, tomando en cuenta todo lo necesario para desarrollar estos modelos.

## 15. RECOMENDACIONES

Es un planteamiento de lo que se considera beneficioso proponer en relación con lo trabajado al término de su ejecución. Aborda aspectos de gestión, técnicos y de contexto, entre otros. A diferencia de las conclusiones, estas tienen un sentido de futuro.

Entre los aspectos a abordar, incorporar factores que se consideran claves para una implementación efectiva y/o adopción exitosa de la innovación, así como desafíos y/o problemas que quedan pendientes por resolver. Estas recomendaciones podrían, en caso justificado, conducir a futuros ajustes del estudio inicial.

El presente estudio nos evidencia que la sistematización de datos de manejo y rendimientos productivos en el tiempo son esenciales para poder conocer de mejor manera el funcionamiento de los campos. En este aspecto se hace presente el desafío por parte de las empresas de registrar sus datos y mantenerlos disponibles para este tipo de análisis y de esta manera poder aplicar la modelación CART que les de respuesta con respecto a sus umbrales y posibles soluciones que pueden trabajar a través de manejo agronómico.

Otro aspecto relevante es que los factores de manejo que definen el vigor de los cultivos aparecen como un factor determinante en la gran mayoría de los campos analizados, por lo que nos deja como brecha a estudiar los manejos de poda de acuerdo a la realidad de cada campo. En este sentido Chileoliva se ha planteado el trabajar en conjunto con Universidades para poder analizar diversos sistemas de conducción y podas de renovación.

Los Modelos CART como herramienta aportan una ventaja competitiva y genera un valor agregado al sector ya que se alinea con el proyecto de Sustentabilidad que realiza el gremio en la actualidad, Acuerdo de Producción Limpia donde las empresas deben trabajar entre otras Metas, una que incluye acciones de manejo del recurso hídrico con acciones de adaptación al cambio climático. Las empresas que cumplen con el estándar de sustentabilidad y por lo tanto acciones en torno a la eficiencia del recurso hídrico, obtienen un Sello de Aceite de Oliva Sustentable, que actualmente ya se puede ver en algunas botellas. Además, el manejo eficiente del cultivo les permitirá a las empresas reducir sus costos de producción, mejorar producciones y obtener mejores márgenes lo que mejorará la rentabilidad del negocio, pudiendo proyectarse como una industria competitiva y sustentable al mercado nacional e internacional.

Por último, como desafío está el estudiar nuevas variedades que genéticamente se adapten a las condiciones de cultivo super intensivo en Chile y se adapten a las variables climáticas y edafológicas de nuestro país. Ya que se vislumbró que uno de los factores que puede estar determinando esta alta variabilidad en el comportamiento de la variedad Arbequina en Chile puede estar dado en algún porcentaje del fenotipo de la planta en las condiciones locales. Tomando en cuenta que el material genético ingresado a Chile fue traído por un vivero que actualmente provee de plantas de manera exclusiva a la industria.

**16. MENCIONE OTROS ASPECTOS QUE CONSIDERE RELEVANTE INFORMAR, SI LOS HUBIERE.**

**17. ANEXOS**

Enumere y nombre los anexos en una lista. Los nombres de los anexos deben ser iguales al nombre de los documentos adjuntos.

| N° del anexo | Nombre del Anexo                                     |
|--------------|------------------------------------------------------|
| i            | <u>Anexo i</u> : Tabla Indicador Código PYT-20XX-XXX |
| 1            | <b>Metodología y Resultados del Estudio.</b>         |
| 2            | <b>Costo Riego</b>                                   |
| 3            | <b>Difusión</b>                                      |
| 4            | <b>Informes por empresa</b>                          |
| 5            | <b>Riegos y Producción 2022</b>                      |

## 18. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- De Wit, C., J. Goudriaan & H. van Laar, 1978. Simulation of Simulation, Respiration and Transpiration of Crops. Pudoc. Wageningen, The Netherlands, 148 pp.
- Huete, A. R., 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Remote Sensing of Environment, vol. 25, pp. 295-309
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P Rodriguez, X. Gao & L.G Ferreira, 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83, 195-213.
- Key, C. & N. Benson, 2005. Landscape Assessment: Remote Sensing of Severity, the Normalized Burn Ratio; and Ground Measure of Severity, the Composite Burn Index. FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System, RMRS-GTR, Ogden, UT: Servicio forestal del USDA, Estación de investigación de las montañas Rocosas.
- Key, C. & N. Benson, 2006. Landscape Assessment: Sampling and Analysis Methods; USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD; USDA Forest Service: Washington, DC, USA; pp. 1-55.
- Melo-abreu, J. P. De, Barranco, D., Cordeiro, A. M., Tous, J., Rogado, B. M., & Villalobos, F. J., 2004. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. Agricultural and Forest Meteorology, 125, 117-127.
- <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.02.009>
- Qi, J., A. Chehbouni, A. R. Huete, Y. H. Keer & S. Sorooshian, 1994. A modified soil vegetation adjusted index. Remote Sensing of Environment, vol. 48, n.º 2, 119-126.
- Rouse, J.W., R.H.Haas, J.A.Schell, & D.W.Deering, 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317
- Souza, A. P. De, Manoel, C., Ramos, C., & De, A. D, 2011. Comparison of methodologies for degree-day estimation using numerical methods. Acta Scientiarum. Agronomy, 391-400.
- <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i3.6018>
- USGS (United States Geological Survey), 2020. Landsat 8 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide. EROS Sioux Falls, South Dakota.
- Boletín de mercado Aceite de Oliva. Chileoliva 2022.

## ANEXO 1

### 1. Introducción

El informe a continuación presenta un resumen de los principales resultados obtenidos en el marco de Proyecto FIA 2022 realizado en conjunto a ChileOliva "Análisis sobre el efecto de la variación climática y el riego en la producción de aceite de oliva.

Este informe presenta la metodología aplicada, y luego los resultados por campo según esta metodología.

## Contenido

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <a href="#">Introducción</a>                                                     | 31 |
| <a href="#">Metodología</a>                                                      | 33 |
| <a href="#">Construcción de base de datos</a>                                    | 33 |
| 1. <a href="#">Datos de campo</a>                                                | 33 |
| 2. <a href="#">Predictores</a>                                                   | 33 |
| 3. <a href="#">Estimación de variables de temperatura</a>                        | 38 |
| 4. <a href="#">Proceso de modelación</a>                                         | 39 |
| <a href="#">Modelo Predictivo basado en Random Forest</a>                        | 39 |
| <a href="#">Modelo Interpretativo basado en CART</a>                             | 40 |
| 5. <a href="#">Selección de variables</a>                                        | 40 |
| <a href="#">Resultados</a>                                                       | 43 |
| I. <a href="#">Modelos Interpretativos Manantiales, campo norte</a>              | 43 |
| <a href="#">Análisis de la relación entre variables ambientales y producción</a> | 43 |
| <a href="#">Resultados modelo interpretativo CART</a>                            | 45 |
| II. <a href="#">Modelos Interpretativos Rio Negro, campo norte</a>               | 49 |
| <a href="#">Análisis de la relación entre variables ambientales y producción</a> | 49 |
| <a href="#">Resultados modelo interpretativo CART</a>                            | 51 |
| III. <a href="#">Modelos Interpretativos, Olivos Olimpo (Ugarte y Scott)</a>     | 56 |
| <a href="#">Análisis de la relación entre variables ambientales y producción</a> | 56 |
| <a href="#">Resultados modelo interpretativo CART</a>                            | 58 |
| IV. <a href="#">Modelos Interpretativos- Reserva de Llacay, RM.</a>              | 61 |
| <a href="#">Análisis de la relación entre variables ambientales y producción</a> | 61 |
| <a href="#">Resultados modelo interpretativo CART</a>                            | 64 |
| V. <a href="#">Modelos Interpretativos- Siracusa. VII región</a>                 | 68 |
| <a href="#">Análisis de la relación entre variables ambientales y producción</a> | 68 |
| <a href="#">Resultados modelo interpretativo CART</a>                            | 70 |
| <a href="#">Bibliografía</a>                                                     | 75 |

## 2. Metodología

### Construcción de base de datos

#### 1. Datos de campo

La base de datos utilizada para este estudio se construyó a partir de los datos suministrados por 7 campos de ChileOliva los cuales están distribuidos en la IV y VII región del país (Cuadro 1). En conjunto estos consisten en 363 cuarteles de la variedad Arbequina, con producciones desde 2016 a 2022 correspondiente a siete temporadas. El cuadro 1 presenta los datos de producción disponibles para cada campo. Los datos considerados para estudio corresponden a los cuarteles para los cuales se cuenta con información de la ubicación espacial de cada cuartel. La latitud y longitud de cada cuartel se estimó a partir del centroide de cada cuartel obtenido con el software QGIS. Los datos de cada cuartel fueron cruzados con una gran cantidad de variables ambientales que se detallan en la siguiente sección.

**Cuadro 1.** Resumen datos disponibles por campo

| Campo        | Región | Cuarteles | datos | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--------------|--------|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Manantiales  | IV     | 15        | 85    | 10   | 10   | 10   | 10   | 15   | 15   | 15   |
| Rio Negro    | IV     | 17        | 119   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   |
| Olimpo       | IV     | 29        | 203   | 29   | 29   | 29   | 29   | 29   | 29   | 29   |
| Llancay      | RM     | 79        | 158   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 79   | 79   |
| Olisur       | VI     | 26        | 26    | 0    | 0    | 0    | 0    | 26   | 0    | 0    |
| Quepu        | VII    | 19        | 57    | 0    | 19   | 19   | 19   | 0    | 0    | 0    |
| Siracusa     | VII    | 178       | 1202  | 178  | 178  | 178  | 168  | 178  | 161  | 161  |
| <b>Total</b> | -      | 363       | 1850  | 234  | 253  | 253  | 243  | 265  | 301  | 301  |

#### 2. Predictores

Se generó una base de datos que construyeron y compilaron un total de 408 variables o predictores ambientales, los que se detallan a continuación:

- 5 variables descriptivas del cuartel:  
Latitud, longitud, superficie, edad y marco de plantación.
- 44 variables topográficas:

Estas fueron calculadas en el software SAGA GIS utilizando el modelo digital de elevación SRTM que cuenta con una resolución de 30 metros. Las variables consideradas fueron elevación, pendiente, exposición, posición topográfica, así como múltiples variables relacionadas a humedad, rugosidad, radiación solar y exposición al viento.

- 35 variables de índices vegetacionales.

A partir de la obtención de los 7 índices espectrales EVI, MSAVI, NBR, NBR2, NDMI, NDVI y SAVI (ver Cuadro 2), se calculó:

- El valor de cada índice para enero, mes en donde ocurre el endurecimiento del carozo.
- El valor de cada índice para agosto, mes donde comienza el florecimiento de la temporada.
- La diferencia entre los valores de enero y agosto para la temporada actual.
- La diferencia entre los valores de enero y agosto para la temporada anterior.
- La diferencia entre los valores de enero de la temporada actual y enero de la temporada anterior.
- Para el cálculo de los índices espectrales, se utilizaron imágenes satelitales del producto USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1, el cual contiene la reflectancia de la superficie con corrección atmosférica y una resolución espacial de 30 metros. A su vez, el valor de cada píxel para cada banda, fue recalculado a través del factor de escala multiplicativo y aditivo específico para este producto, el cual es 0.0000275 y -0.2 respectivamente (USGS, 2020) para trabajar las imágenes en valores de reflectancia.
- 12 variables de evapotranspiración de cultivo:  
A través del uso del índice espectral de vegetación SAVI obtenido anteriormente, y del producto de evapotranspiración potencial diaria obtenido desde el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), con resolución espacial de 5 km, se consideró el método utilizado por Pôças et al. (2020) para el cálculo del coeficiente basal de cultivo ( $K_{cb}$ ), con el cual se obtuvo la evapotranspiración de cultivo mensual  $ET_c$  como indica la ecuación 1. Para dicho fin se calculan los valores de  $K_{cb}$  y  $K_d$  como indican las ecuaciones 2 y 3 respectivamente.

$$ET_c = ET_0 \times K_{cb}$$

#### Ecuación 1.

Donde,  $ET_c$ = evapotranspiración de cultivo;  $ET_0$ = evapotranspiración potencial; y  $K_{cb}$ = coeficiente basal de cultivo.

$$K_{cb} = K_{cmin} + K_d \left( \frac{SAVI - SAVI_{min}}{SAVI_{max} - SAVI_{min}} \right)$$

#### Ecuación 2.

Donde,  $K_{min}$ = coeficiente basal de cultivo mínimo;  $K_d$ = coeficiente de densidad de cultivo;  $SAVI$ = índice espectral de vegetación Soil-adjusted Vegetation Index;  $SAVI_{max}$  y  $SAVI_{min}$  que representan los valores máximo y mínimo de SAVI correspondientes a vegetación densa y suelo desnudo respectivamente.

$$K_d = \min \left( 1, f_{cef} \times M_L, f_{cef}^{\left(\frac{1}{1+h}\right)} \right)$$

### Ecuación 3.

Donde,  $f_{cef}$ = fracción efectiva de suelo cubierto o sombreado por vegetación cerca del mediodía solar;  $M_L$ = factor multiplicativo de  $f_{cef}$  que describe el efecto de la densidad del dosel sobre la sombra y sobre la evapotranspiración relativa máxima por fracción de suelo sombreado y que varía entre 1,5 y 2,0;  $h$  es la altura media de la vegetación.

$f_{cef}$  se calcula según propone Pôças et al. (2015), como se indica en la ecuación 4 a continuación.

$$f_c = \beta_1 \left( \frac{SAVI - SAVI_{min}}{SAVI_{max} - SAVI_{min}} \right) + \beta_2$$

### Ecuación 4.

Donde,  $\beta_1$ = valor que se define de acuerdo con las etapas de crecimiento del cultivo, oscilando entre 0,3 - 0,4 (en la etapa inicial de crecimiento del cultivo) y 1 (cuando el cultivo alcanza su máximo desarrollo);  $SAVI$ = índice espectral de vegetación Soil-adjusted Vegetation Index;  $SAVI_{max}$  y  $SAVI_{min}$  que representan los valores máximo y mínimo de SAVI correspondientes a vegetación densa y suelo desnudo respectivamente;  $\beta_2$ = coeficiente de ajuste empírico destinado a compensar la disminución del índice espectral por la senescencia y/o amarillamiento de las plantas, el cual es independiente de  $f_c$  y su valor oscila entre 0 (cuando el cultivo está en su máximo desarrollo) y 0,5 (cerca de la cosecha).

- 12 variables de precipitación:  
A partir del producto de precipitaciones diarias obtenido desde el CR2, con resolución espacial de 5 km, se calculó el acumulado mensual para el periodo 2015-2020. Mientras que para los años 2021 y 2022 fue calculado en base a la información de la estación meteorológica más cercana a los campos perteneciente a la DGA, DMC o INIA, a la cual fue aplicada una corrección basada en una regresión lineal entre las estimaciones satelitales y las mediciones de la estación, la que se construyó en base al acumulado mensual de años anteriores.
- 32 variables de índices bioclimáticos.  
Los índices bioclimáticos combinan los efectos de la precipitación y el clima para establecer métricas que son relevantes al comportamiento de las especies presentes en un área determinada. Estos índices fueron calculados a partir de los datos grillados de precipitación y temperatura de CR2MET.

- 12 variables de balance hídrico:

El balance hídrico es la cuantificación de las entradas y salidas de agua de un sistema. Para un sistema agrícola se tiene:

$$\Delta = Pp + R - ET = S + P$$

**Ecuación 5.**

Donde Pp es la precipitación, R el riego, ET la evapotranspiración, S es el almacenamiento de agua en el suelo y P es la percolación hacia las napas subterráneas. Cada una de estas variables se estimó a nivel mensual para obtener el delta del balance hídrico mensual para cada año.

Delta mensual entre la precipitación más el riego, y la evapotranspiración.

- 84 variables de temperatura:

En base a las imágenes satelitales del producto Aqua MODIS Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global (MYD11A1.061) con resolución espacial de 1 km, se calcularon 36 variables con los valores promedio, máximos y mínimos mensuales en cada horario en que pasa el satélite, a las 1:30 pm y a las 1:30 am de la hora local. Además, el promedio de temperatura entre ambos horarios.

Para aquellos días en que no hubo registro, se reemplazó con la media móvil entre los valores de los dos días anteriores de cada píxel sin datos.

Con dichos datos de temperatura además se calculó:

- 30 variables de días grado:

Se calculó la acumulación para 5 períodos: abril-octubre, abril-noviembre, mayo-octubre, mayo-noviembre y agosto-octubre para la temporada actual y anterior, considerando 3 temperaturas base: 10, 12 y 15°C.

- 27 variables de horas frío:

Se consideró el método de De Melo-Abreu (2004) dado que fue un trabajo realizado en olivos en España. Este método requiere de una temperatura horaria, la cual se estimó a través del método propuesto por De Wit (1978), en base a la temperatura máxima y mínima diaria.

Se estimaron 15 variables considerando los mismos periodos de tiempo y temperaturas base mencionadas anteriormente en las variables de días grado, además de la acumulación de cada mes entre agosto y noviembre para dichas temperaturas.

- 4 variables de horas de heladas:

Se cuantificó la acumulación mensual de horas con temperaturas bajo 1°C entre agosto y noviembre.

- 4 variables de horas de heladas:

Se cuantificó la acumulación mensual de horas con temperaturas bajo 1°C entre agosto y noviembre.

- 7 variables de riego:

Corresponde al riego mensual para cada cuartel entre agosto y enero, más el riego total y el riego total hasta diciembre.

- 67 variables de suelo:

Utilizando el producto de suelo grillado creado por nuestro equipo se obtuvieron los valores de densidad aparente, contenido textural (arcilla, limo y arena), capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable, conductividad hidráulica saturada, y parámetros de forma de la curva característica ( $\theta_n$ ,  $\theta_s$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ), para cada cuartel. Por cada propiedad se obtuvo seis valores correspondientes a seis horizontes estandarizados (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100, y 100-200cm). Además, se consideró como predictor la clase textural del suelo en el primer horizonte de 0-5cm.

**Cuadro 2.** Descripción de índices espectrales de vegetación utilizados.

| Índice                                                 | Descripción                                                          | Fórmula                                                                 | Referencia                 |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>EVI:</b><br>Enhanced Vegetation Index               | Índice de vegetación con alta sensibilidad en zonas con alta biomasa | $G \times \frac{NIR - Red}{NIR + C_1 \times Red - C_2 \times Blue + L}$ | Huete (1988)               |
| <b>NBR:</b><br>Normalized Burn Ratio                   | Destaca zonas quemadas o la severidad de un incendio                 | $\frac{NIR - SWIR_2}{NIR + SWIR_2}$                                     | Key & Benson (2005)        |
| <b>NBR2:</b><br>Normalized Burn Ratio 2                |                                                                      | $\frac{SWIR_1 - SWIR_2}{SWIR_1 + SWIR_2}$                               | Key & Benson (2006)        |
| <b>NDMI:</b><br>Normalized Difference Moisture Index   | Refleja los niveles de humedad de la vegetación                      | $\frac{NIR - SWIR_1}{NIR + SWIR_1}$                                     | Wilson & Sader (2002)      |
| <b>NDVI:</b><br>Normalized Difference Vegetation Index | Indicador del vigor vegetacional                                     | $\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$                                           | Rouse <i>et al.</i> (1973) |
| <b>SAVI:</b>                                           |                                                                      | $\frac{NIR - RED}{(NIR + RED + L) \times (1 + L)}$                      | Huete (1988)               |



|                                                              |                                                              |                                                                                                  |                  |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Soil-adjusted Vegetation Index                               |                                                              |                                                                                                  |                  |
| <b>MSAVI:</b><br><br>Modified Soil-adjusted Vegetation Index | Índice de vegetación que considera las condiciones del suelo | $\frac{1}{2} \times \{2 \times (NIR + 1) - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR - RED)}\}$ | Qi et al. (1994) |

### 3. Estimación de variables de temperatura

Para el caso de los días grado se siguió la Ecuación 6 (Villa Nova et al., 1972, citado por De Souza et al., 2011) la cual se basa en la temperatura máxima y mínima diaria.

$$DG = \begin{cases} \frac{(TM - Tb)^2}{2 \times (TM - Tm)}, & Tb \geq Tm \\ \frac{TM - Tb}{2}, & Tb < Tm \\ 0, & Tb \geq TM \end{cases}$$

**Ecuación 6.**

Donde, DG = Días grado, Tb = temperatura base, Tm = temperatura mínima diaria, TM = temperatura máxima diaria

Por otra parte, se siguió el método de cálculo de horas frío propuesto por De Melo-Abreu et al. (2004), cuyas estimaciones fueron registradas como CH (Ecuación 7). Este método se basa en los intervalos creados por la temperatura horaria, la temperatura base y una temperatura máxima sobre la cual la acumulación de horas fresco se anula (Tx).

$$CH = \begin{cases} 0, & Th \leq 0 \\ \frac{Th}{Tb}, & 0 < Th \leq Tb \\ 1 - (Th - Tb) \times \frac{1 - a}{Tx - Tb}, & Tb < Th \leq Tx \\ a, & Th > Tx \end{cases}$$

**Ecuación 7.**

Los valores considerados para Tx y a fueron 20.7°C y -0.56 respectivamente, los cuales fueron obtenidos de la publicación de De Melo-Abreu et al. (2004), dado que dicho estudio se realizó en olivos cultivados en la zona mediterránea de España y consideró a la variedad Arbequina.

Para estimar las temperaturas medias horarias se utilizó el método de De Wit (1978) el cual se basa en la temperatura máxima y mínima diaria (Ecuación 8).

$$Th = \frac{TM - Tm}{2} \times \cos \cos \left( \frac{\pi(t - 14)}{12} \right) + \frac{TM + Tm}{2}$$

**Ecuación 8.**

Donde, Th = temperatura horaria y t = hora del día.

#### 4. Proceso de modelación

##### Modelo Predictivo basado en Random Forest

Para este estudio se entrenaron dos modelos predictivos: Uno que predice la producción en kilos de fruta por hectárea y otro que predice la producción en litros de aceite por hectárea. Ambas variables fueron modeladas a nivel nacional utilizando los datos de todos los campos disponibles. El algoritmo utilizado para la modelación fue Random Forest, el cual es un método no paramétrico y estocástico, es decir, que no asume una distribución normal de los datos y que tiene un cierto grado de aleatoriedad en su funcionamiento. Para la validación de los modelos entrenados se implementó un proceso de Bootstrap de 100 iteraciones. En cada iteración se hace un remuestreo con reemplazo de la base de datos, donde se guarda un 75% de los datos para entrenamiento y un 25% para validación. Sobre el conjunto de validación se calcularon diversas métricas de rendimiento, como el error del modelo mediante el RMSE (raíz del error cuadrático medio), el sesgo, evaluado mediante el PBIAS, entre otras. Para definir que variables considerar como predictoras se implementó un proceso de selección de variables que busca actuar como un filtro que permite identificar la combinación más eficiente entre el menor número de variables y el menor error cuadrático medio (RMSE) mediante el método VSURF, que es un método de selección basado en Random Forest. Además, como resultado de este proceso se puede obtener la importancia predictiva de cada predictor seleccionado. Luego se eliminaron las variables correlacionadas privilegiando aquellas con mayor poder explicativo, considerando un coeficiente de correlación de Spearman > |0.6| como límite. Utilizando los modelos entrenados en cada iteración Bootstrap se generaron predicciones para la temporada 2022 lo que permite obtener una distribución de valores a partir de la cual se estimó la media, mediana, 1er y tercer cuartil, mínimo y máximo para cada predicción.

## Modelo Interpretativo basado en CART

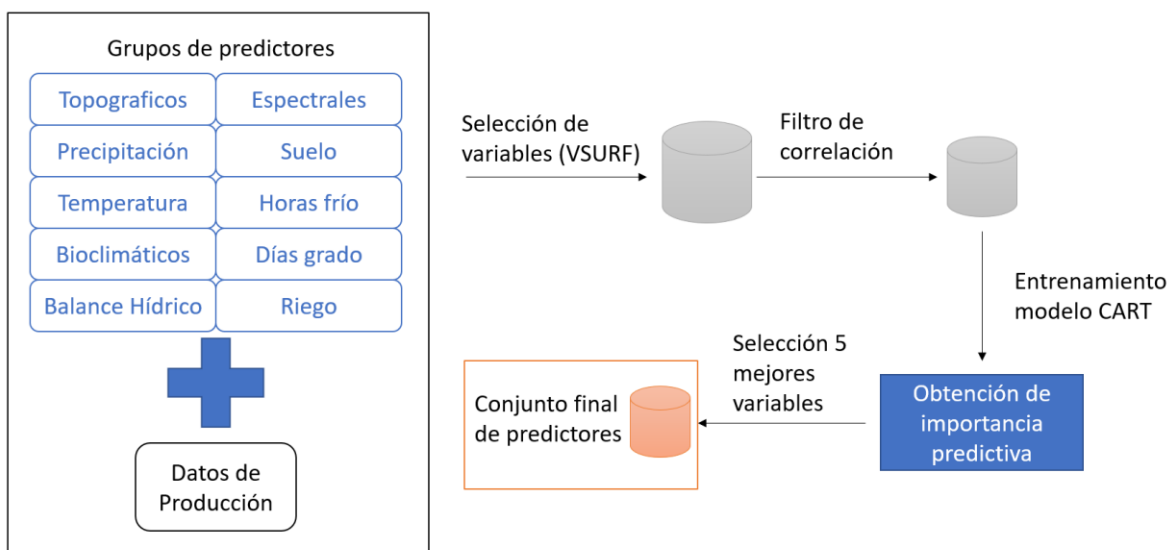
Para analizar la relación entre las variables ambientales y los niveles de producción se optó por utilizar un modelo CART. Este modelo también está basado en árboles de decisión, pero a diferencia de Random Forest nos entrega una visualización de la estructura del árbol de decisión a través de un diagrama, lo que permite analizar la relación de los niveles de producción con respecto a distintas combinaciones de factores ambientales.

Debido a que cada campo representa un sistema único se optó por realizar el análisis entrenando modelos para cada uno de ellos, considerando solo los datos pertenecientes a cada campo. De esta forma los modelos entrenados solo consideran la información acerca de las condiciones ambientales propias a la ubicación geográfica de cada campo.

### 5. Selección de variables

Debido a la gran cantidad de variables ambientales que se obtuvieron para este estudio se debió realizar un proceso de selección de variables para evitar sobre ajustar los modelos. Para esto primero se dividieron los predictores según su naturaleza (e.g. Predictores de Precipitación, Temperatura, Topografía, Riego, etc.). Cada conjunto de predictores se acoplo a los datos de producción para realizar una selección de variables por cada grupo. A diferencia del proceso utilizado en los modelos predictivos, con este método se obtiene un número más grande de predictores, con el objetivo de evitar problemas relacionados a la dimensionalidad de la base de datos, es decir, como se cuenta con una menor cantidad de datos (ya que solo se utilizan los datos propios de cada campo) y una gran cantidad de predictores realizar la selección con todos los predictores puede eliminar posibles variables importantes que tengan relación con la producción.

Al conjunto de predictores obtenidos para cada campo se le aplicó un filtro de correlación eliminando las variables que presentaran una correlación mayor a 0.6. Con los predictores que resultaron de este filtro se entrenaron modelos CART para obtener una estimación de la importancia predictiva de cada una de las variables. El conjunto final de predictores con los que se entrenaron los modelos definitivos se construyó a partir de los 5 predictores con mayor poder predictivo según el modelo CART.



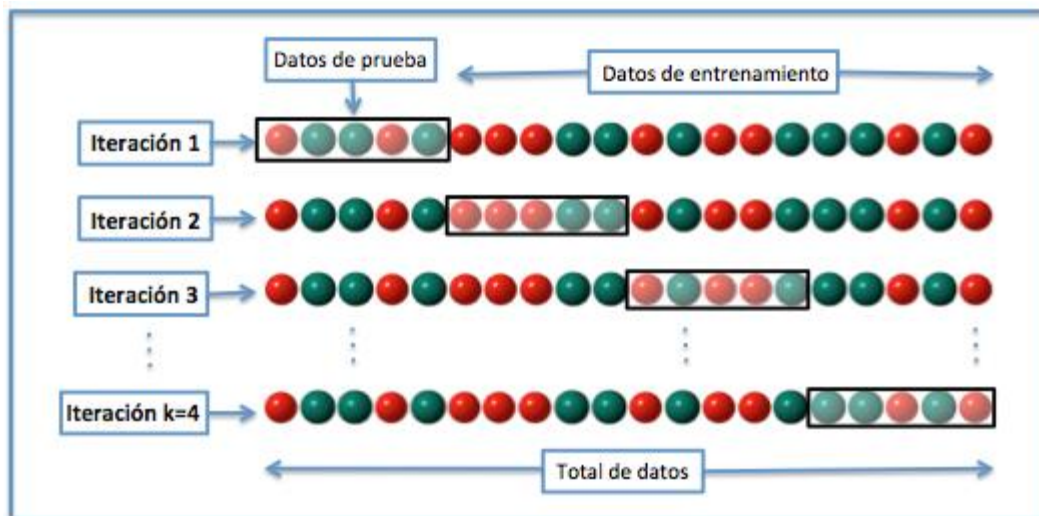
**Figura 1.** Proceso de selección de variables para el entrenamiento de los modelos CART.

## 6. Entrenamiento y validación de los modelos

Los modelos fueron entrenados utilizando una técnica de validación cruzada de 10 iteraciones. En cada iteración se dividió el total de datos en dos conjuntos. Un conjunto se utiliza para entrenar el modelo (conjunto de entrenamiento) y otro conjunto para validar el modelo entrenado (conjunto de validación) con el que se calcularon métricas de validación como el RMSE y  $R^2$ . En cada iteración se cambia el conjunto de validación y de entrenamiento como lo muestra la Figura 2 y se obtiene el promedio de las métricas de validación considerando las 10 iteraciones.

Los modelos CART pueden ser optimizados mediante la modificación de algunos de sus parámetros como el costo de complejidad, el número de elementos que caen en cada nodo terminal y la profundidad de árbol. Estos parámetros fueron optimizados mediante una búsqueda de grilla que consiste en variar los parámetros en intervalos regulares y obtener métricas de validación para cada árbol, de esta forma se seleccionaron los modelos con los parámetros que entreguen el mejor ajuste maximizando el valor de  $R^2$ .

Una vez que los modelos fueron calibrados y optimizados se realiza un último ajuste utilizando el 75% de los datos para entrenar los modelos y el 25% restante para validar y obtener las métricas finales del árbol. Con este modelo final se gráfica mediante un diagrama la estructura del árbol para analizar la relación entre las variables ambientales seleccionadas y la producción.



**Figura 2.** Validación cruzada de 4 iteraciones. Fuente: Wikipedia.org

Para validar los modelos se calculó el índice de correlación de Pearson (R) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE). La tabla 1 muestra las métricas de validación obtenidas en los modelos CART entrenados para cada campo. Para los modelos de producción de Kg de fruta por hectárea el coeficiente de correlación R alcanza un valor máximo de 0.82 en el campo de Manantiales y un valor mínimo de 0.56 en el campo Llançay. Por su parte la raíz del error cuadrático medio (RMSE) varía entre 2258 para el caso del campo Olimpo a 4362 para el campo Río Negro. Para los modelos de producción de litros de aceite el valor de R varía entre 0.6 para Siracusa a 0.81 para Manantiales. Para el campo Llançay no se pudo entrenar modelos para litros de aceite debido a la falta de datos.

**Tabla 1.** Métricas de validación de los modelos desarrollados.

| Campo       | R    | Producción     |                | R   | RMSE |
|-------------|------|----------------|----------------|-----|------|
|             |      | Kg de fruta/ha | L de aceite/ha |     |      |
| Manantiales | 0.82 | 3249           | 0.81           | 681 |      |
| Río Negro   | 0.78 | 4362           | 0.77           | 802 |      |
| Olimpo      | 0.81 | 2258           | 0.72           | 341 |      |
| Siracusa    | 0.68 | 2970           | 0.60           | 486 |      |
| Llançay     | 0.56 | 2763           |                |     |      |

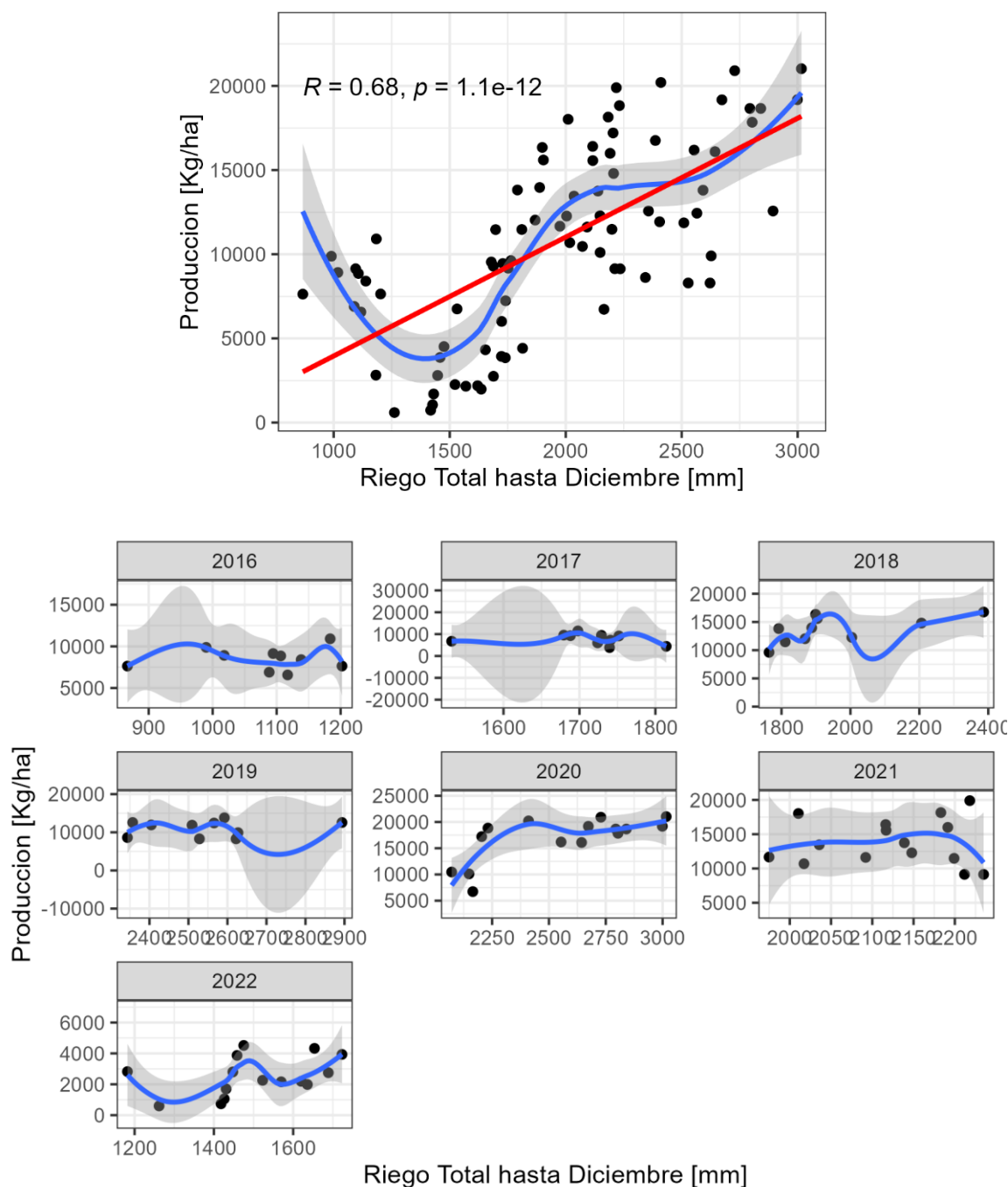
### 3. Resultados

#### I. Modelos Interpretativos Manantiales, campo norte.

##### Análisis de la relación entre variables ambientales y producción.

El objetivo principal de este proyecto era poder arrojar luces en cuanto a la relación que tienen las variables climáticas y los niveles de riego con respecto a la producción. La selección de los modelos adecuados para este tipo de problema se basa primero en los tipos de relaciones (lineales/no lineales) que se pueden observar entre las variables ambientales como el riego o la precipitación con respecto a los niveles de producción.

Se analizó la relación de todas las variables ambientales con respecto a los niveles de producción para observar los tipos de relaciones que presentaban los datos. La **Figura 3** muestra la relación entre los niveles de riego totales hasta el mes de diciembre con respecto a la producción. Al observar todos los datos de producción para todo el periodo (2016-2022) se observa que hay una relación directa entre los niveles de riego y la producción de fruta, aunque esta relación no es lineal. Si se desglosa esta relación para cada año los niveles de riego no son suficiente para explicar la diferencia de producción entre los distintos cuarteles.



**Figura 3.** Relación entre los niveles de riego aplicado durante todas las temporadas de producción. El gráfico superior muestra la relación para todos los años donde se puede observar una línea de tendencia lineal (línea roja) con un ajuste medio de 0.68. Los gráficos inferiores muestran la misma relación, pero desglosada para cada temporada. Se observa como la relación se vuelve

mas difusa cuando se considera solo la producción de un año, lo que indica que la variación entre cuarteles esta dada por la influencia de mas variables ambientales.

## Resultados modelo interpretativo CART

Debido a la complejidad de las relaciones encontradas se decidió por utilizar un modelo no paramétrico basado en arboles de decisión llamado CART (Classification and Regression Trees). Este tipo de modelos trabaja particionando recursivamente los datos en distintos subespacios de acuerdo con el cumplimiento de una regla basada en los valores de los predictores. Este tipo de algoritmos nos ofrece una visualización intuitiva de los niveles de producción que se pueden obtener de acuerdo con distintas combinaciones de los factores ambientales (**Figura 5**). A modo de facilitar la lectura del diagrama solo se presenta hasta los nodos de cuarto nivel. El detalle de todo el diagrama se puede observar en el Apéndice V.

Este tipo de diagramas de árbol siempre parte con un nodo principal (rectángulo azul) y una regla (rombo verde) que da la primera partición de los datos. Cada rombo tiene especificada una regla, que en caso de cumplirse se avanza hacia el lado izquierdo y en caso contrario hacia el lado derecho. En los rectángulos azules se especifica primero el nivel de producción promedio de todos los nodos que se encuentran por debajo. Bajo este número se encuentra un porcentaje que representa la cantidad de datos que caen en dicho conjunto de datos. La importancia de las variables disminuye a medida que se avanza hacia niveles inferiores del árbol debido a que la cantidad de datos que separa es menor.

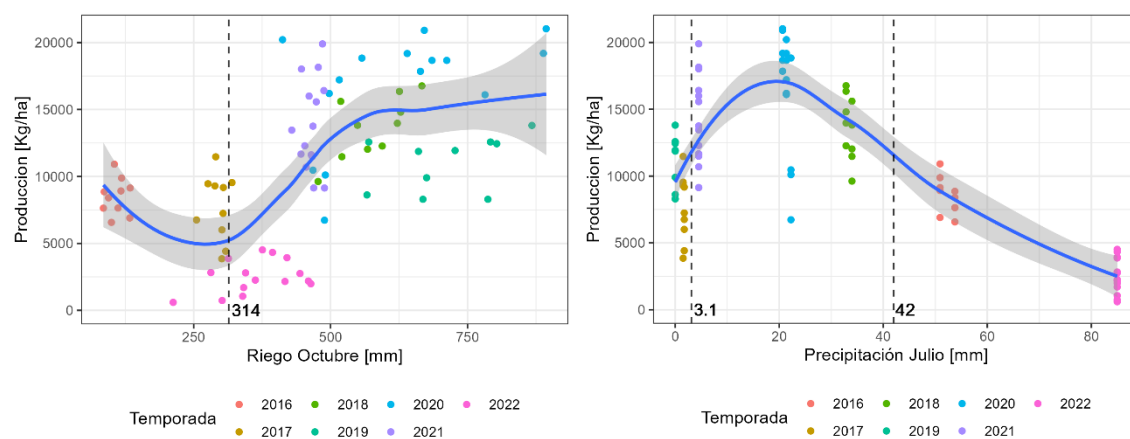
Para el caso del modelo CART del campo Manantiales el primer nodo del árbol comienza con la precipitación del mes de Julio, lo que indica que esta variable permite realizar la primera discriminación entre los distintos cuarteles. Cuando la precipitación de Julio es mayor a 42 mm los rendimientos tienen un promedio de 4.334 kg/ha mientras que si no se cumple esta condición los rendimientos son en promedio de 13.000 kg/ha, es decir, meses de julio muy lluviosos pueden afectar la producción de los cuarteles. Este fenómeno se observa en los años 2016 y 2022 en la **Figura 4** donde la precipitación de julio supero tal umbral.

En el caso de inviernos lluviosos (rama principal izquierda del diagrama), cuando la temperatura mínima promedio durante la noche en el mes de abril es menor a 6.5°C los rendimientos bajan a un promedio de 2643 kg/ha, en caso contrario los rendimientos aumentan a 7714 kg/ha en promedio. En ambos casos, valores de NDVI durante el mes de enero superiores a 0.5 o 0.42 castigan la producción. Este índice se considera una medida del vigor de la planta, lo que indica que un excesivo desarrollo del follaje de la planta durante el verano podría afectar la producción. Así, la correcta aplicación de poda durante los meses previos al verano puede ser una medida eficaz para evitar el excesivo desarrollo de follaje y evitar el castigo en la producción. Los siguientes niveles del diagrama presentan al riego del mes de octubre

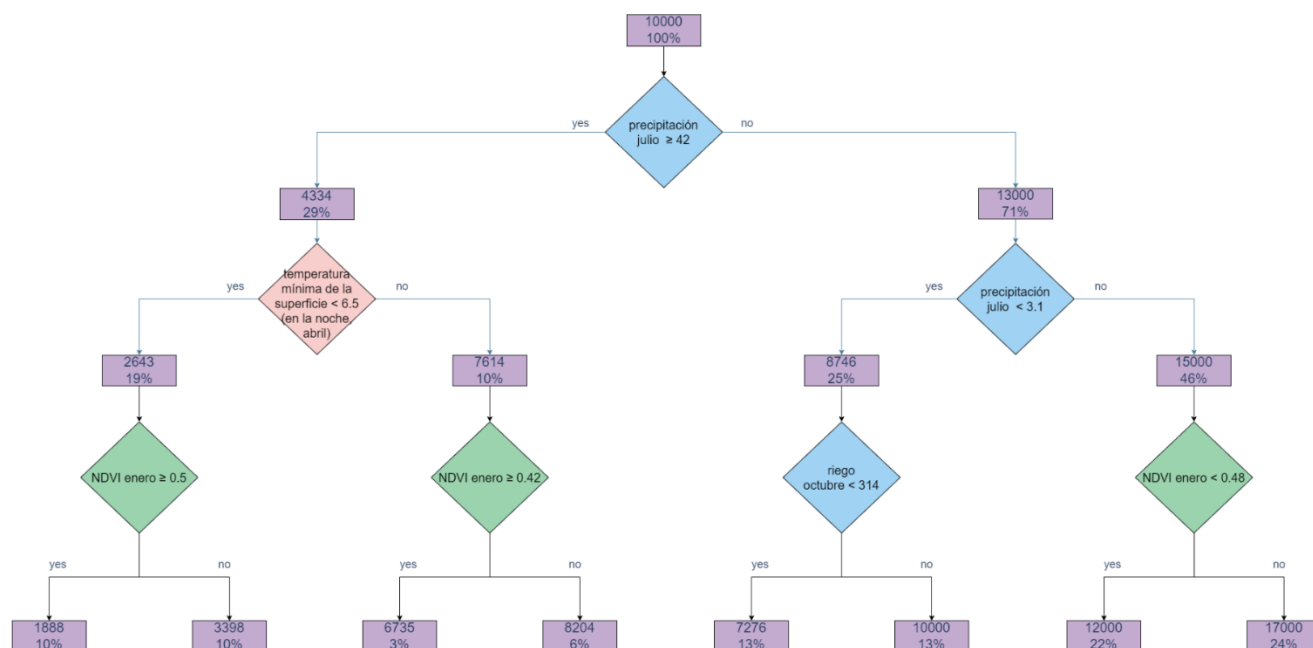
como una variable importante para controlar los rendimientos. Para el caso de otoños con temperaturas bajas, el modelo recomienda riegos de octubre mayores a 308 o 360 m<sup>3</sup>/ha para elevar los rendimientos. Para el caso de otoños con temperaturas de la noche más altas, el riego de octubre requerido para aumentar el rendimiento se estima en 123 m<sup>3</sup>/ha.

Para el caso de inviernos con lluvias menores a 42 mm (rama principal derecha del diagrama)), el modelo discrimina el nivel de producción si durante el mes de julio la lluvia es menor a 3.1 mm con niveles de producción promedio de 8.746 kg/Ha y en caso contrario se obtienen promedios de 15.000 kg/ha. Cuando la precipitación de julio es menor a 3.2 mm, es decir un mes donde prácticamente no llueve, el modelo muestra que un nivel de riego en octubre mayor a 314 m<sup>3</sup>/ha podría ayudar a aumentar la producción a un promedio de 10.000 kg/ha. En la **Figura 4** se puede observar esta relación entre el riego de octubre y la producción. El modelo nos muestra que el umbral de 314 m<sup>3</sup>/ha divide la producción en dos grupos: mientras que en los años 2016 y 2017 los máximos fueron cercanos a los 10.000 kg/ha, para el resto de los años se alcanzaron rendimientos mucho mayores con máximas alrededor de los 20.000kg/ha. El año 2022 se presenta como una excepción a esta regla, pero estos rendimientos son discriminados por la rama izquierda del modelo que establece el límite de la precipitación de junio como límite.

En resumen, en el campo Manantiales las precipitaciones durante el invierno juegan un rol importante en los niveles de producción. Una posible respuesta a este fenómeno observado por el modelo puede deberse a un mayor desarrollo del follaje de las plantas producto de la mayor disponibilidad de agua, que de no ser manejado con podas puede afectar el rendimiento de los cultivos. Las temperaturas durante la noche en los meses de otoño también se muestran como una variable relevante, donde, en general, noches frías castigan el rendimiento de los cultivos, lo que puede explicarse por una menor acumulación de días grado o el efecto de las heladas en el desarrollo de las flores. Frente a estos fenómenos climáticos, el modelo da indicios de que las técnicas de manejo que regulen el vigor de la vegetación y un correcto nivel de riego durante la primavera pueden aumentar los niveles de producción.



**Figura 4.** Relación entre el riego de octubre con la producción (izquierda) y la precipitación con la producción (derecha). Las líneas punteadas muestran los puntos de quiebre que marca el modelo CART para discriminar el nivel de producción.



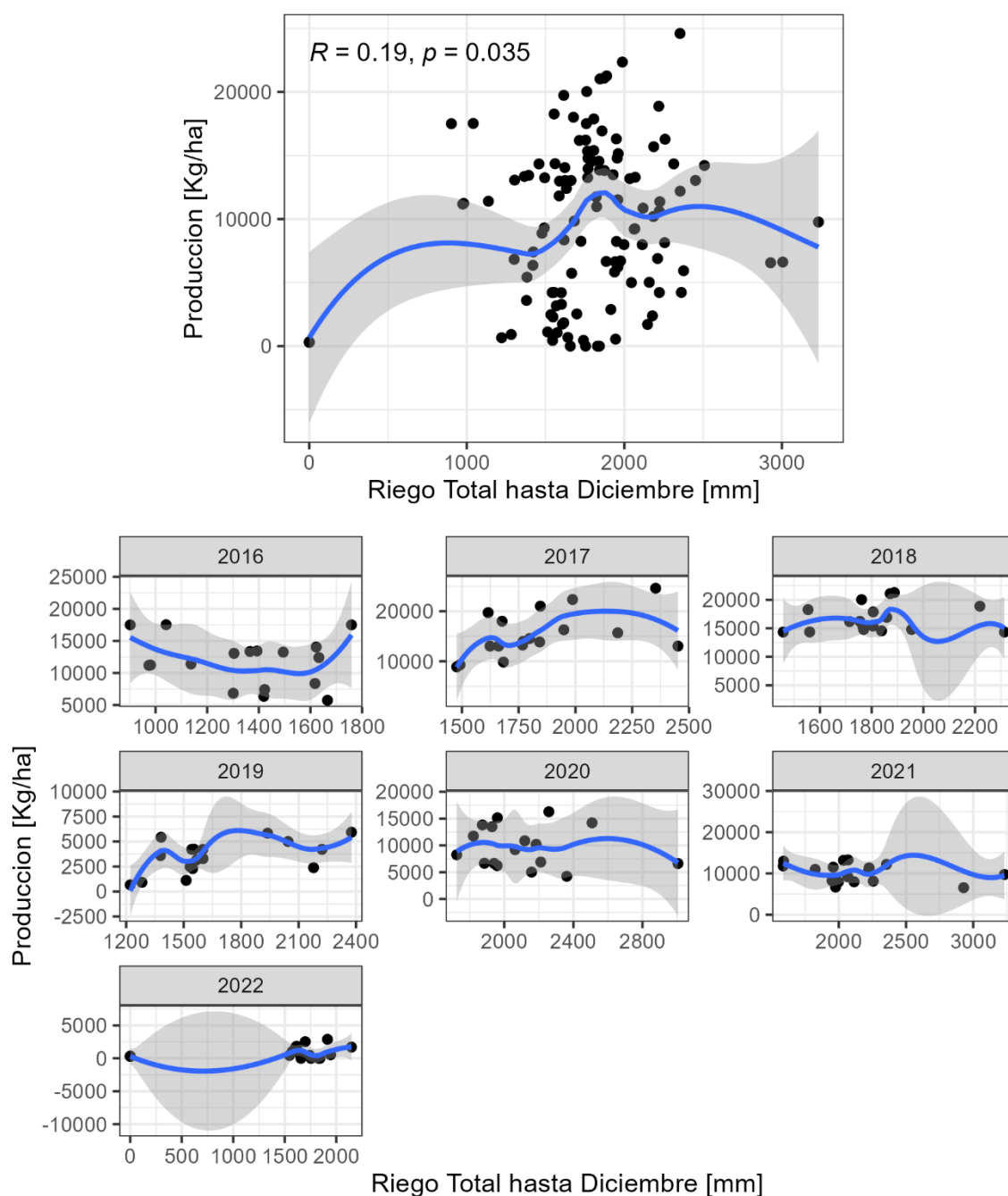
**Figura 5.** Diagrama de árbol de decisión según modelo CART. Este diagrama muestra la relación entre las variables ambientales y los niveles de producción obtenidos para todas las temporadas.

## II. Modelos Interpretativos Rio Negro, campo norte.

### Análisis de la relación entre variables ambientales y producción.

El objetivo principal de este proyecto era poder arrojar luces en cuanto a la relación que tienen las variables climáticas y los niveles de riego con respecto a la producción. La selección de los modelos adecuados para este tipo de problema se basa primero en los tipos de relaciones (lineales/no lineales) que se pueden observar entre las variables ambientales como el riego o la precipitación con respecto a los niveles de producción.

Se analizó la relación de todas las variables ambientales con respecto a los niveles de producción para observar los tipos de relaciones que presentaban los datos. La figura 8 muestra la relación entre los niveles de riego totales hasta el mes de diciembre con respecto a la producción. Al observar todos los datos de producción para todo el periodo (2016-2022) no se observa una relación directa entre los niveles de riego y la producción de fruta con un ajuste  $R^2 = 0.19$ . Si se desglosa esta relación para cada año los niveles de riego no son suficiente para explicar la diferencia de producción entre los distintos cuarteles.



**Figura 8.** Relación entre los niveles de riego aplicado durante todas las temporadas de producción. El gráfico superior muestra la relación para todos los años donde se puede observar una línea de tendencia lineal (línea roja) con un ajuste medio de 0.68. Los gráficos inferiores muestran la misma relación, pero desglosada para cada temporada. Se observa como la relación se vuelve

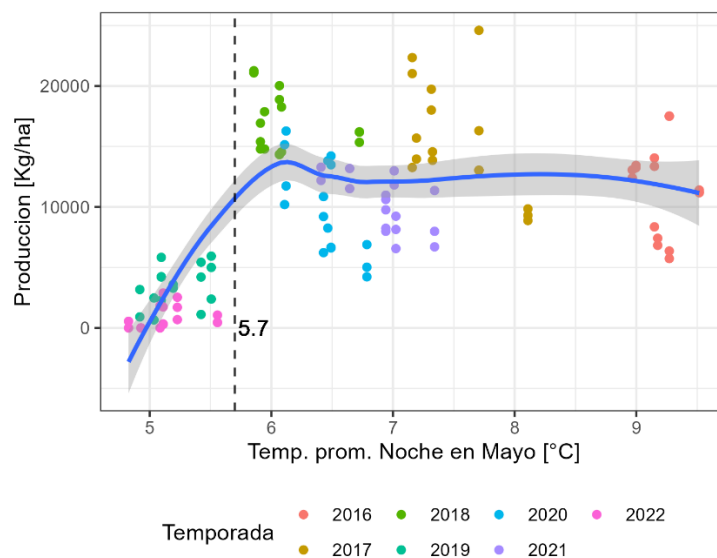
más difusa cuando se considera solo la producción de un año, lo que indica que la variación entre cuarteles está dada por la influencia de más variables ambientales.

## Resultados modelo interpretativo CART

Debido a la complejidad de las relaciones encontradas se decidió por utilizar un modelo no paramétrico basado en árboles de decisión llamado CART (Classification and Regression Trees). Este tipo de modelos trabaja particionando recursivamente los datos en distintos subespacios de acuerdo al cumplimiento de una regla basada en los valores de los predictores. Este tipo de algoritmos nos ofrece una visualización intuitiva de los niveles de producción que se pueden obtener de acuerdo a distintas combinaciones de los factores ambientales (Figura 12).

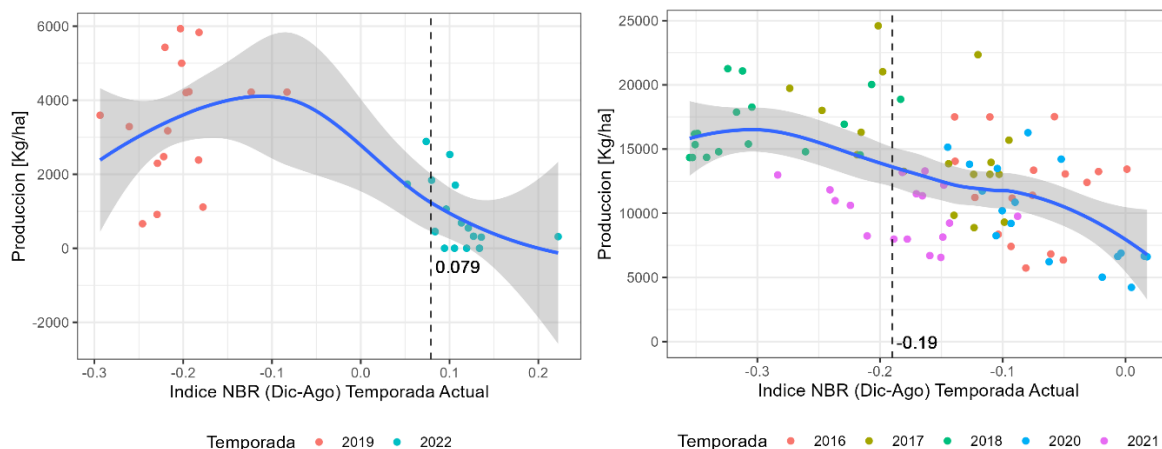
Este tipo de diagramas de árbol siempre parte con un nodo principal (rectángulo azul) y una regla (rombo verde) que da la primera partición de los datos. Cada rombo tiene especificada una regla, que en caso de cumplirse se avanza hacia el lado izquierdo y en caso contrario hacia el lado derecho. En los rectángulos azules se especifica primero el nivel de producción promedio de todos los nodos que se encuentran por debajo. Bajo este número se encuentra un porcentaje que representa la cantidad de datos que caen en dicho conjunto de datos.

Para el caso de Rio Negro la variable del primer nodo del diagrama corresponde a la temperatura promedio de la superficie durante las noches de mayo. El diagrama muestra que cuando la temperatura es menor a  $5.7^{\circ}\text{C}$  se obtiene un promedio de producción cercano a 2553 kg/ha y en caso contrario el rendimiento promedio se encuentra cercano a los 12.000 kg/ha. La figura 9 nos muestra porque el modelo establece este límite, donde se puede observar como cuando la temperatura ha estado por debajo de este umbral en los años 2022 y 2019, se han obtenido los rendimientos más bajos de todo el periodo.



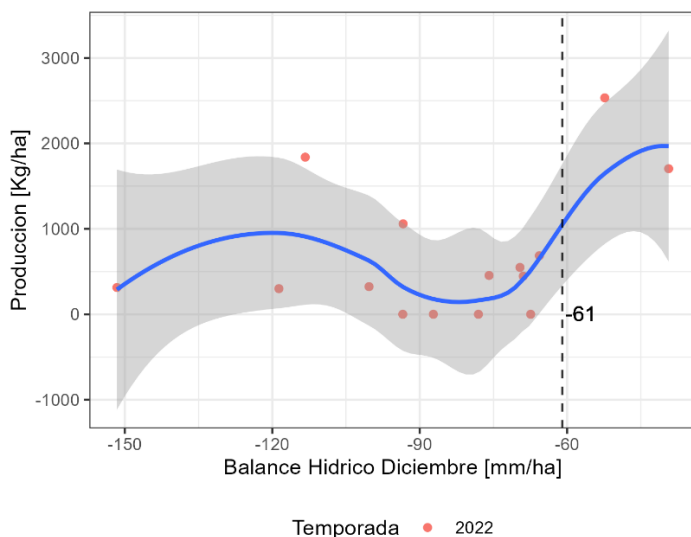
**Figura 9.** Relación entre la producción y la temperatura promedio de las noches de mayo. La línea punteada representa el límite establecido por el modelo en su primer nodo.

Los siguientes nodos del diagrama hacen referencia a la diferencia del índice NBR entre diciembre y agosto de la misma temporada. El índice NBR puede utilizarse como una medida de la cobertura vegetal, por lo tanto, este índice mide el aumento o disminución de la cobertura entre el inicio de la temporada en agosto y el inicio del verano en diciembre. El modelo muestra que para los rendimientos más bajos (Figura 10 izquierda) el valor de 0.079 divide rendimientos promedio de 751 kg/ha para valores mayores a este límite y rendimientos promedio de 3.401 kg/ha para los valores mayores. Hacia el otro lado del diagrama (Figura 10 derecha) cuarteles con un valor menor a -0.19 tienen un rendimiento promedio 11.000 kg/ha y al contrario el rendimiento sube a 17.000 kg/ha. Además, en el grafico podemos ver que para estos cuarteles existe una tendencia a disminuir los rendimientos a medida que se acercan al valor 0. Esto quiere decir que el rendimiento tiende a ser mayor cuando la cobertura de agosto es mayor a la cobertura en diciembre, lo que se puede manejar aplicando técnicas de poda.



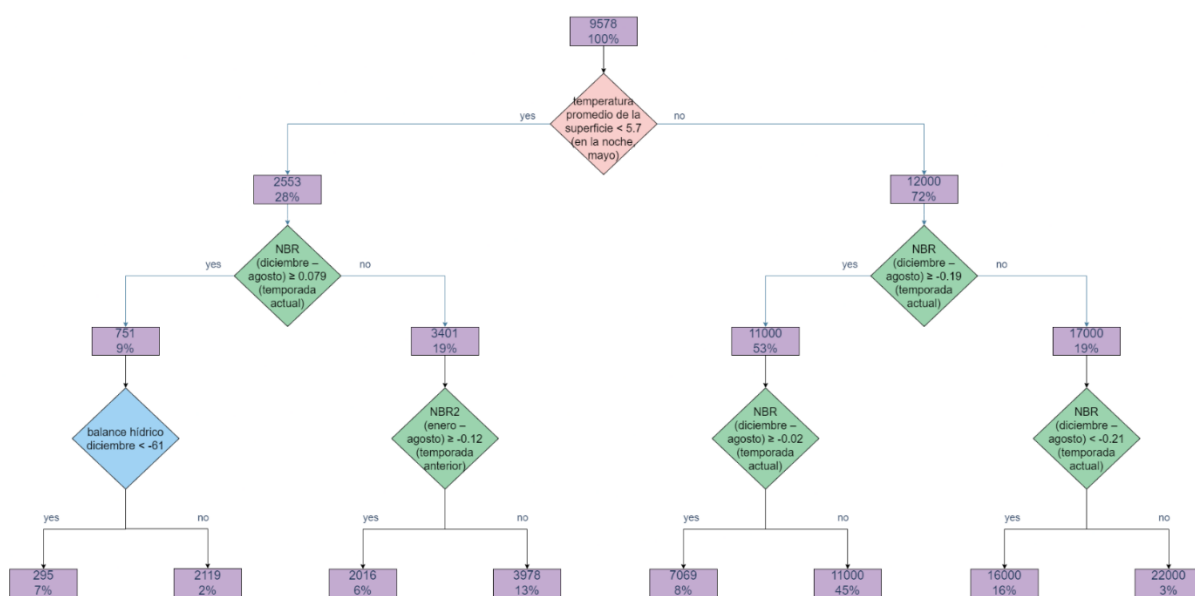
**Figura 10.** Relación entre la diferencia del índice NBR entre diciembre y agosto con la producción. i) A la izquierda se ven los cuarteles que cumplen la primera condición del diagrama. ii) A la derecha los cuarteles que no cumplen la primera condición del diagrama y que tienen una mayor producción, donde se observa una tendencia a disminuir la producción hacia la derecha del gráfico.

Para el año 2022 el modelo muestra al balance hídrico de diciembre como una variable relevante para dividir los rendimientos de los cuarteles (Figura 11). En este caso, se puede ver como los cuarteles que tuvieron un menor déficit de agua durante este mes son los que lograron mantener el mayor rendimiento con un promedio de 2.119 kg/ha, mientras que el resto de los cuarteles obtuvo un promedio de 295 kg/ha. Este resultado resalta la importancia de mantener un buen nivel de humedad en el suelo durante los meses de verano, donde los datos muestran que los 60mm de déficit es un valor crítico para este campo.



**Figura 11.** Relación entre el balance hídrico de los cuarteles para el mes de diciembre. Este balance hídrico relaciona la cantidad de agua que entra al sistema (precipitación + riego), el tamaño del estanque del suelo y la evapotranspiración de los cultivos.

En conclusión, para el campo Rio Negro las temperaturas de la noche de otoño han sido una variable ambiental determinante para obtener buenos rendimientos discriminando claramente los años donde han existido las menores temperaturas. Cuando la temperatura no es una limitante los rendimientos parecen estar siendo determinados principalmente por el manejo que se les ha dado a los cultivos ya sea mediante la aplicación de podas o el control de malezas. Es necesario contar con información detallada por cuartel acerca de estas prácticas de manejo para determinar con mayor precisión cuales son las que tienen una mayor influencia, pero el modelo muestra que cuando la cobertura de la vegetación no cambia desde agosto a diciembre los rendimientos suelen ser más bajos en promedio. Por ultimo cuando las temperaturas son una limitante el modelo muestra que un correcto manejo del riego que mantenga los déficit por encima de los 60mm puede beneficiar a los cultivos para obtener rendimientos más altos.



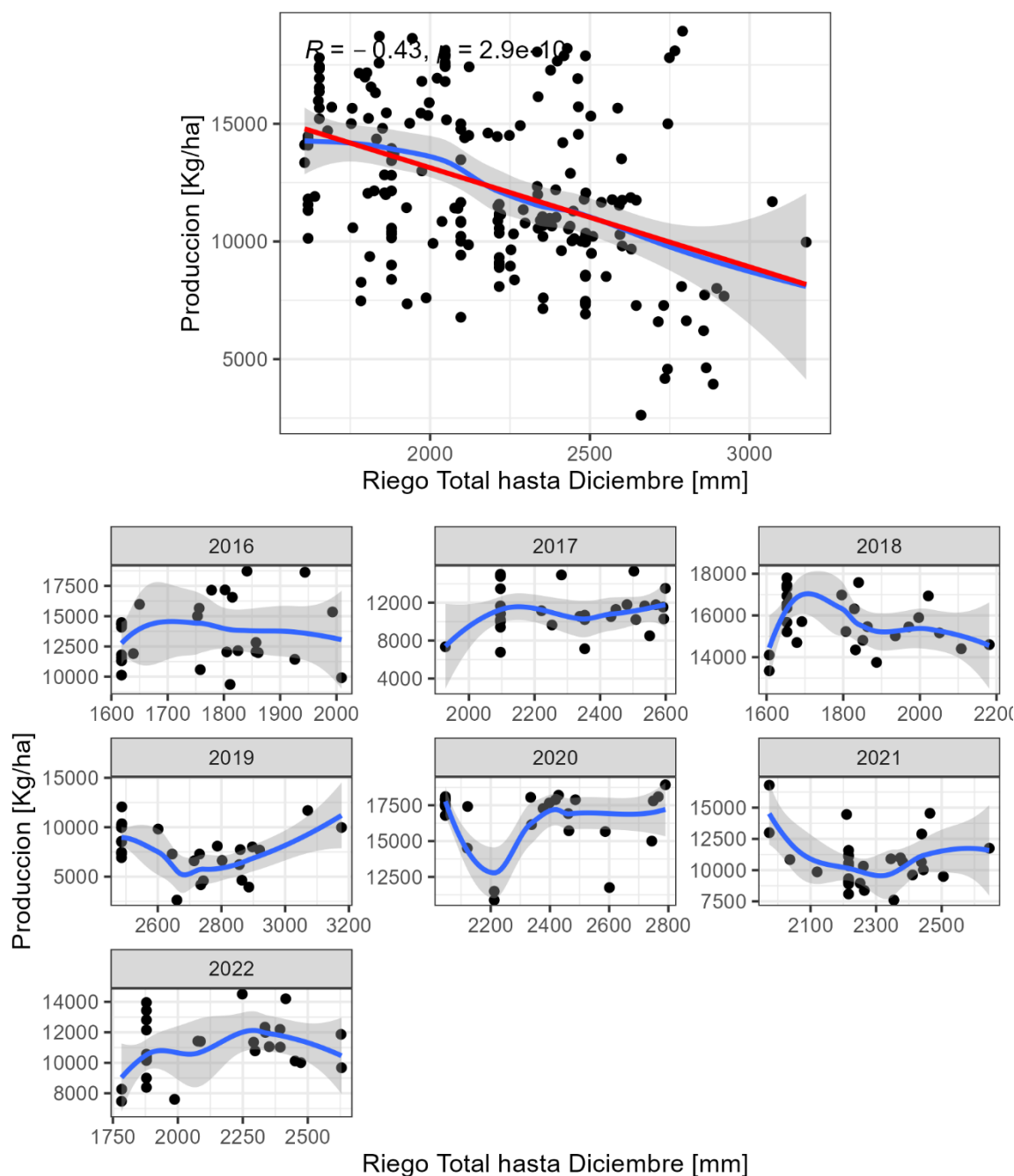
**Figura 12.** Diagrama de árbol de decisión según modelo CART. Este diagrama muestra la relación entre las variables ambientales y los niveles de producción obtenidos para todas las temporadas.

### III. Modelos Interpretativos, Olivos Olimpo (Ugarte y Scott)

#### Análisis de la relación entre variables ambientales y producción.

El objetivo principal de este proyecto era poder arrojar luces en cuanto a la relación que tienen las variables climáticas y los niveles de riego con respecto a la producción. La selección de los modelos adecuados para este tipo de problema se basa primero en los tipos de relaciones (lineales/no lineales) que se pueden observar entre las variables ambientales como el riego o la precipitación con respecto a los niveles de producción.

Se analizó la relación de todas las variables ambientales con respecto a los niveles de producción para observar los tipos de relaciones que presentaban los datos. La figura 8 muestra la relación entre los niveles de riego totales hasta el mes de diciembre con respecto a la producción. Al observar todos los datos de producción para todo el periodo (2016-2022) se observa que hay una relación inversa lineal pero débil entre los niveles de riego y la producción de fruta. Un resultado que parece contra intuitivo pues índice que a mayor riego aplicado los rendimientos han sido menores. Sin embargo, si se desglosa esta relación para cada año los niveles de riego no son suficiente para explicar la diferencia de producción entre los distintos cuarteles.



**Figura 8.** Relación entre los niveles de riego aplicado durante todas las temporadas de producción. El gráfico superior muestra la relación para todos los años donde se puede observar una línea de tendencia lineal (línea roja) con un ajuste medio de 0.68. Los gráficos inferiores muestran la misma relación, pero desglosada para cada temporada. Se observa como la relación se vuelve

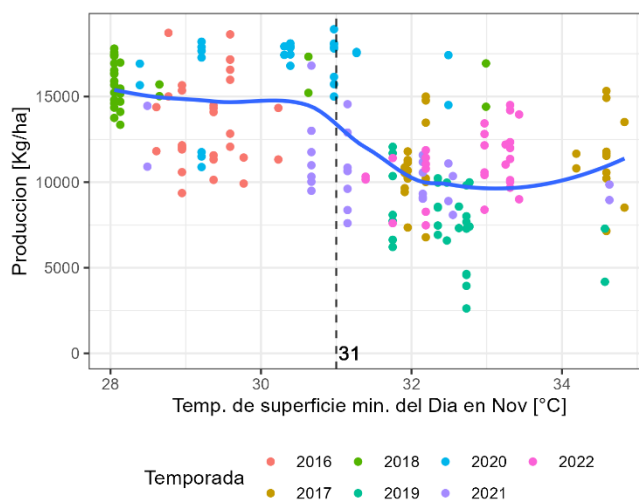
más difusa cuando se considera solo la producción de un año, lo que indica que la variación entre cuarteles está dada por la influencia de más variables ambientales.

## Resultados modelo interpretativo CART

Debido a la complejidad de las relaciones encontradas se decidió por utilizar un modelo no paramétrico basado en árboles de decisión llamado CART (Classification and Regression Trees). Este tipo de modelos trabaja particionando recursivamente los datos en distintos subespacios de acuerdo al cumplimiento de una regla basada en los valores de los predictores. Este tipo de algoritmos nos ofrece una visualización intuitiva de los niveles de producción que se pueden obtener de acuerdo a distintas combinaciones de los factores ambientales (Figura 12).

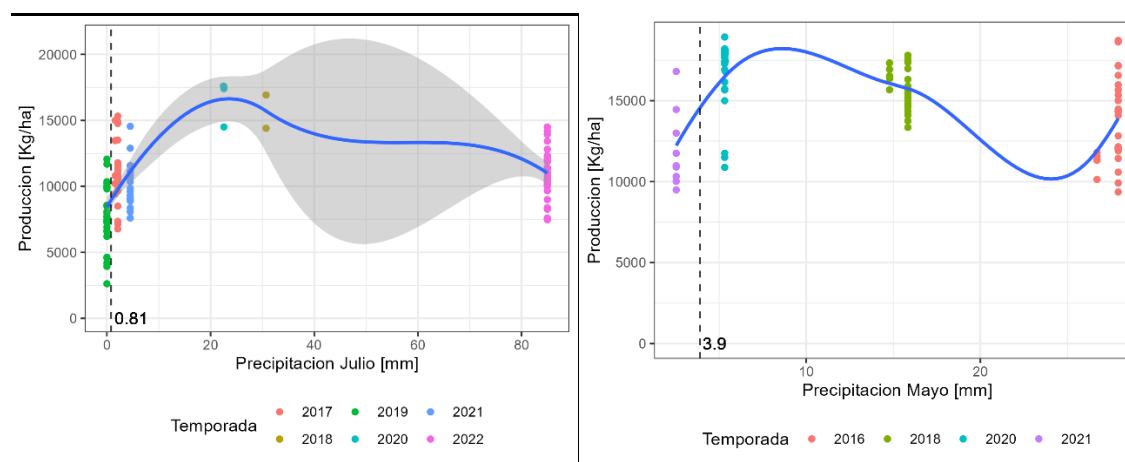
Este tipo de diagramas de árbol siempre parte con un nodo principal (rectángulo azul) y una regla (rombo verde) que da la primera partición de los datos. Cada rombo tiene especificada una regla, que en caso de cumplirse se avanza hacia el lado izquierdo y en caso contrario hacia el lado derecho. En los rectángulos azules se especifica primero el nivel de producción promedio de todos los nodos que se encuentran por debajo. Bajo este número se encuentra un porcentaje que representa la cantidad de datos que caen en dicho conjunto de datos.

El modelo del campo Olimpo muestra las temperaturas y la precipitación como las variables más importantes para determinar la producción. La primera variable corresponde a la temperatura mínima de la superficie durante el mes de diciembre. Cuando esta temperatura es mayor a 31°C se obtienen un rendimiento promedio de 10.000 kg/ha y en caso contrario se obtiene un rendimiento promedio de 15.000 kg/ha (Figura 9).

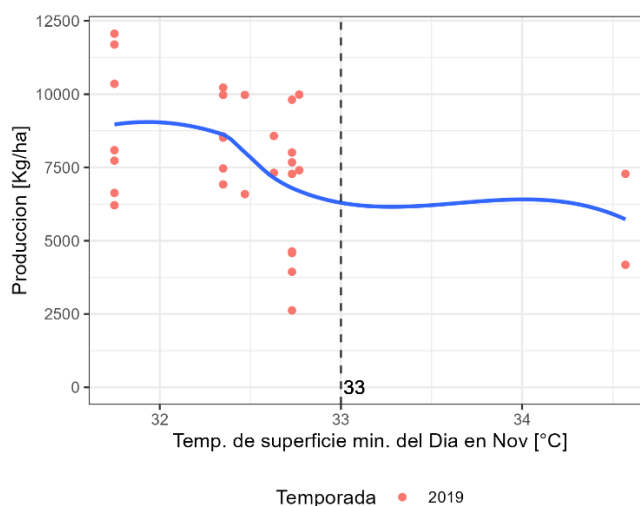


**Figura 9.** Relación entre la producción y la temperatura mínima del día durante noviembre. La línea punteada representa el primer límite que marca el modelo para determinar la producción.

Los filtros de precipitación establecidos por el modelo son utilizados para dividir las producciones de los distintos años. En la Figura 10 izquierda se observa como el límite de 0.81 es utilizado por el modelo para dividir la producción del año 2019 mientras que en la figura de la derecha se utiliza el límite de 3.9 para dividir la producción del año 2021. Luego el modelo utiliza la temperatura de la superficie que tiene una resolución menor para estimar límites que expliquen la variación entre los cuarteles de un mismo año, por ejemplo para los cuarteles que cumplen que la precipitación de julio es menor a 0.81 mm (Figura 11) donde se ve la división que se utiliza para definir el cuarto nivel del diagrama donde valores a mayores a 33°C dan un rendimiento de 6472 kg/ha mientras que valores menores a este límite dan un rendimiento promedio de 9146 kg/ha.

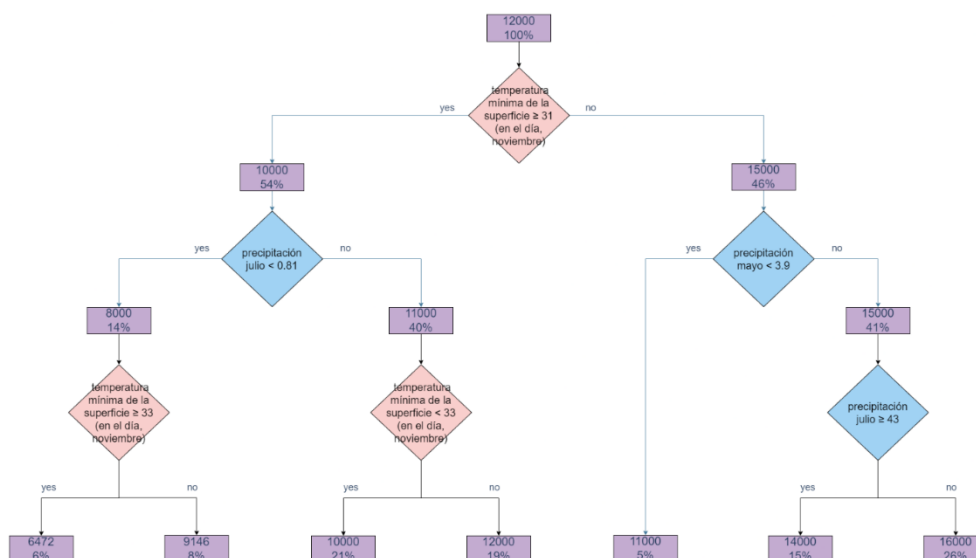


**Figura 10.** Relación entre la precipitación de los meses de Julio (izquierda) y los meses de Mayo (derecha) con respecto a la producción.



**Figura 11.** Relación entre la Temperatura mínima de la superficie del día en noviembre con respecto a la producción. En este grafico se muestran los cuartes que cumplen con que su temperatura mínima fue mayor a 31°C y los niveles de precipitación fueron menores a 0.81.

En conclusión, los niveles de la temperatura superficial son muy relevantes para definir los niveles de precipitación en el campo Olimpo lo que puede estar relacionado a las altas temperaturas que se pueden llegar a presentar en la cuarta región. Frente a esto existen maneras de regular la temperatura de la superficie disminuyendo el calor sensible del ambiente asegurando niveles de humedad adecuados para los cultivos mediante la aplicación de riegos, que les permita transpirar y regular su temperatura.



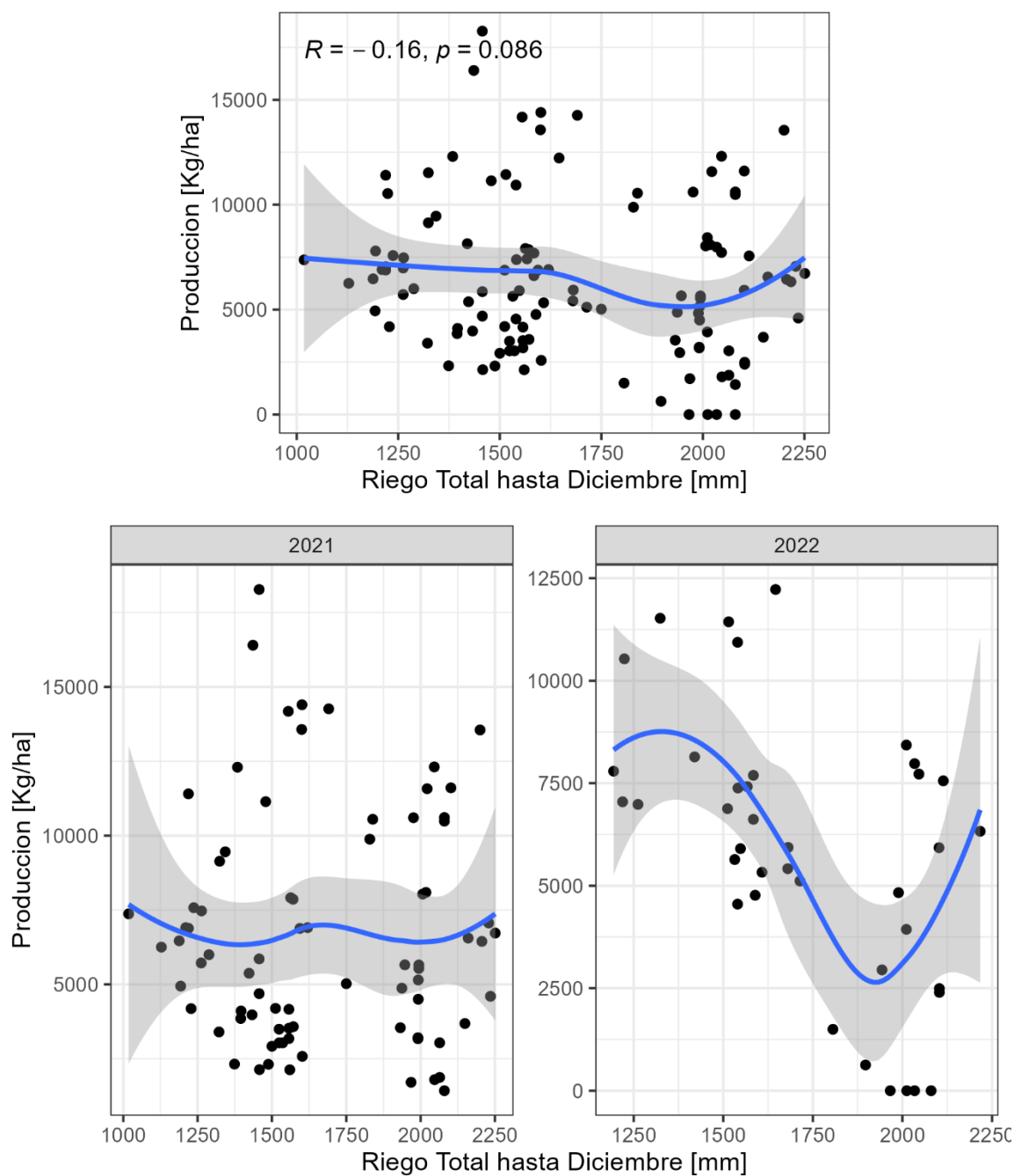
**Figura 12.** Diagrama de árbol de decisión según modelo CART. Este diagrama muestra la relación entre las variables ambientales y los niveles de producción obtenidos para todas las temporadas.

#### IV. Modelos Interpretativos- Reserva de Llancay, RM.

##### Análisis de la relación entre variables ambientales y producción.

El objetivo principal de este proyecto era poder arrojar luces en cuanto a la relación que tienen las variables climáticas y los niveles de riego con respecto a la producción. La selección de los modelos adecuados para este tipo de problema se basa primero en los tipos de relaciones (lineales/no lineales) que se pueden observar entre las variables ambientales como el riego o la precipitación con respecto a los niveles de producción.

Se analizó la relación de todas las variables ambientales con respecto a los niveles de producción para observar los tipos de relaciones que presentaban los datos. A modo de ejemplo de las relaciones estudiadas la figura 8 muestra la relación entre los niveles de riego totales hasta el mes de diciembre con respecto a la producción. Al observar todos los datos de producción para todo el periodo (2016-2022) se observa que para Llançay no se observa una relación clara entre los niveles de riego y la producción de fruta. así mismo, cuando se desglosa esta relación para cada año los niveles de riego no son suficiente para explicar la diferencia de producción entre los distintos cuarteles, lo que puede deberse a que es la influencia combinada de otras variables ambientales las que han determinado los niveles de producción.



**Figura 8.** Relación entre los niveles de riego aplicado durante todas las temporadas de producción. El gráfico superior muestra la relación para todos los años donde se puede observar una línea de tendencia lineal (línea roja) con un ajuste medio de 0.68. Los gráficos inferiores muestran la misma relación, pero desglosada para cada temporada. Se observa como la relación se vuelve

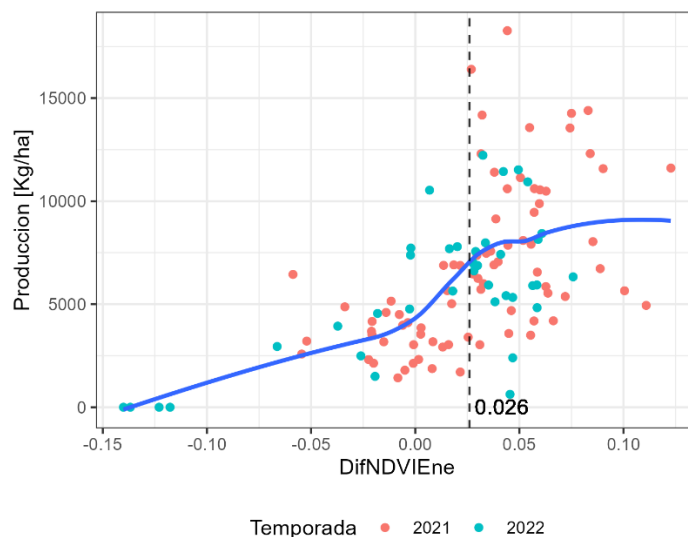
mas difusa cuando se considera solo la producción de un año, lo que indica que la variación entre cuarteles esta dada por la influencia de mas variables ambientales.

## Resultados modelo interpretativo CART

Debido a la complejidad de las relaciones encontradas se decidió por utilizar un modelo no paramétrico basado en arboles de decisión llamado CART (Classification and Regression Trees). Este tipo de modelos trabaja particionando recursivamente los datos en distintos subespacios de acuerdo al cumplimiento de una regla basada en los valores de los predictores. Este tipo de algoritmos nos ofrece una visualización intuitiva de los niveles de producción que se pueden obtener de acuerdo a distintas combinaciones de los factores ambientales (Figura 11).

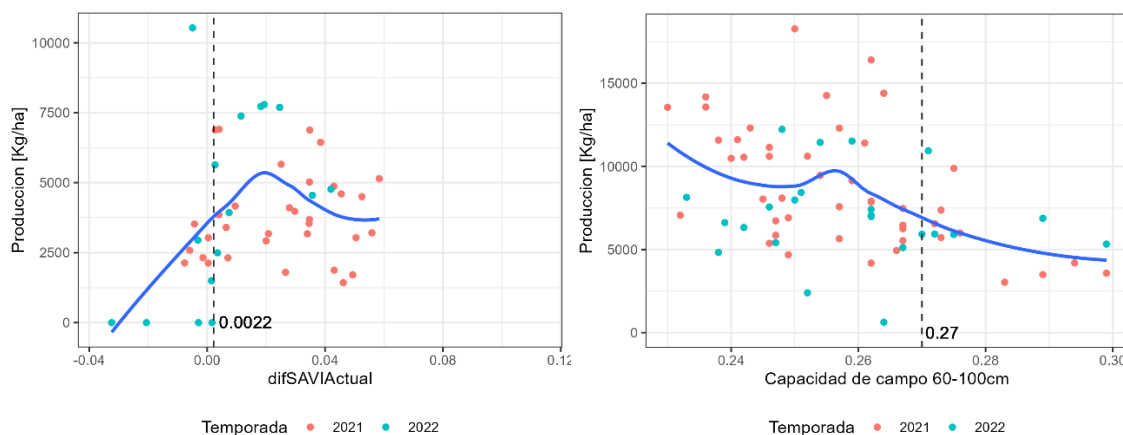
Este tipo de diagramas de árbol siempre parte con un nodo principal (rectángulo azul) y una regla (rombo verde) que da la primera partición de los datos. Cada rombo tiene especificada una regla, que en caso de cumplirse se avanza hacia el lado izquierdo y en caso contrario hacia el lado derecho. En los rectángulos azules se especifica primero el nivel de producción promedio de todos los nodos que se encuentran por debajo. Bajo este número se encuentra un porcentaje que representa la cantidad de datos que caen en dicho conjunto de datos.

El modelo del campo Llançay muestra que la producción está especialmente determinada por factores que dependen del estado de la vegetación con alguna influencia de los suelos y la acumulación de días grado. El primer nodo del árbol de decisión corresponde a la diferencia del índice NDVI entre el enero de la temporada presente y el enero de la temporada anterior. Este índice está relacionado con el vigor de la planta y por lo tanto por su capacidad de realizar fotosíntesis, al igual que el índice SAVI. En la Figura 9 vemos cual es la relación que se encontró en el modelo sobre esta variable, donde los cuarteles que tienen un valor menor a 0.0026 tienen una producción promedio de 3.753 kg/ha, y en caso contrario se obtiene una producción promedio de 8586 kg/ha. Los valores que se encuentran a la izquierda de este límite representan cuarteles cuyo vigor de la temporada fue menor al vigor presentado en la temporada anterior, lo que puede deberse a la aplicación de podas o a un menor desarrollo del follaje producto de limitaciones de humedad.



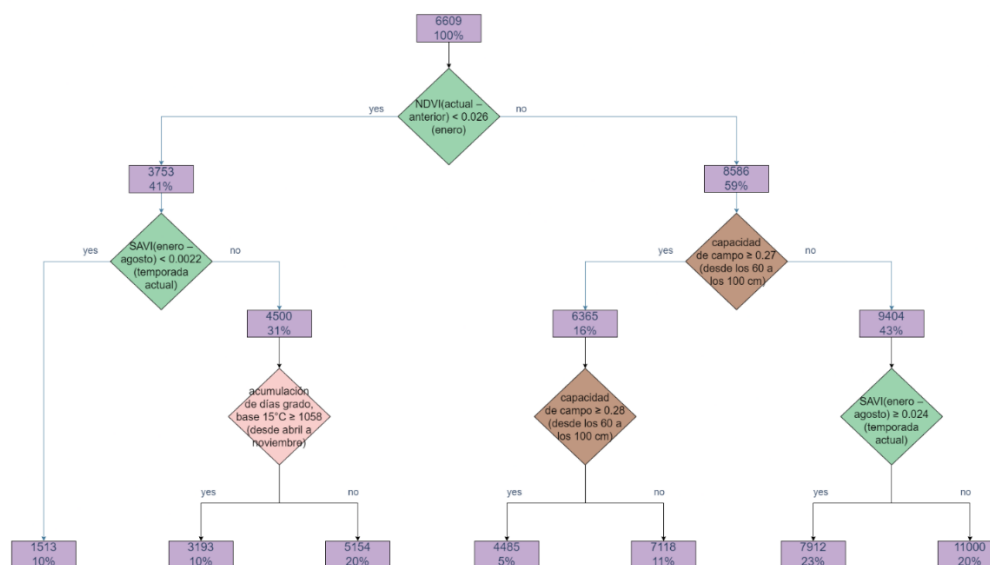
**Figura 9.** Relación entre la diferencia del índice NDVI entre el enero de la temporada actual y el enero de la temporada anterior con respecto a la producción de los cuarteles.

Los siguientes nodos del árbol tienen variables de naturaleza distinta delimitando los niveles de producción. Entre las producciones más bajas (lado izquierdo del diagrama) el vigor sigue siendo determinante para la producción estableciendo el valor de 0.0022 como límite bajo el cual la producción promedio es de 1513 kg/ha y sobre este límite la producción promedio es de 4500 kg/ha. Esta variable a diferencia de la anterior representa la diferencia del vigor de la planta entre agosto y enero de la presente temporada, es decir, el desarrollo de la planta entre invierno y verano.



**Figura 10.** Relación entre la capacidad de campo desde los 60-100cm con la producción de los cuarteles (derecha) y la diferencia entre SAVI de enero y agosto de la temporada actual (izquierda).

Por otro lado, hacia el lado derecho del diagrama el siguiente factor que determina los niveles de producción es la capacidad de campo desde los 60-100 cm. Donde para valores mayores a 0.27 la producción media es de 6.365 kg/ha y para valores menores la producción media ha sido de 9404 kg/ha. Una posible explicación de esto puede ser la presencia de suelos arcillosos que aumentan la retención de agua, pero esta puede no estar disponible para las plantas debido al tamaño de poros lo que produciría una falta de oxígeno en las plantas. Un mapeo detallado de los suelos del campo, puede derivar en procesos de riego que se adecuen al tipo de suelo sobre el que se encuentra el cultivo, lo que implicaría la reducción de los costos de riego o un mayor desarrollo de la vegetación.



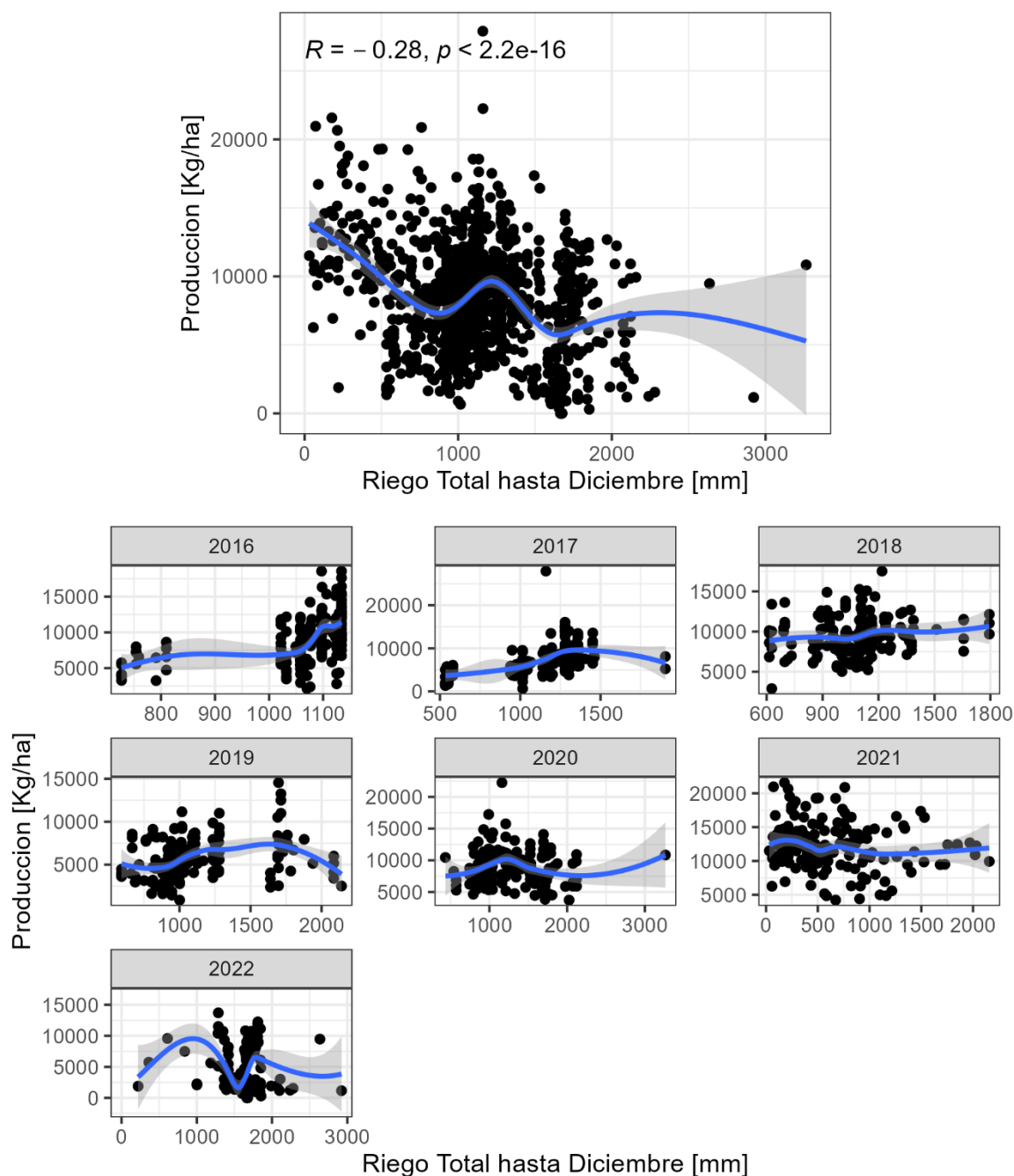
**Figura 11.** Diagrama de árbol de decisión según modelo CART. Este diagrama muestra la relación entre las variables ambientales y los niveles de producción obtenidos para todas las temporadas.

## V. Modelos Interpretativos- Siracusa. VII región.

### Análisis de la relación entre variables ambientales y producción.

El objetivo principal de este proyecto era poder arrojar luces en cuanto a la relación que tienen las variables climáticas y los niveles de riego con respecto a la producción. La selección de los modelos adecuados para este tipo de problema se basa primero en los tipos de relaciones (lineales/no lineales) que se pueden observar entre las variables ambientales como el riego o la precipitación con respecto a los niveles de producción.

Se analizó la relación de todas las variables ambientales con respecto a los niveles de producción para observar los tipos de relaciones que presentaban los datos. La figura 6 muestra la relación entre los niveles de riego totales hasta el mes de diciembre con respecto a la producción. Al observar todos los datos de producción para todo el periodo (2016-2022) no se observa una relación evidente entre los niveles de riego y la producción de fruta. Así mismo, si se desglosa esta relación para cada año se observa como los niveles de riego no son suficiente para explicar la diferencia de producción entre los distintos cuarteles.



**Figura 8.** Relación entre los niveles de riego aplicado durante todas las temporadas de producción. El gráfico superior muestra la relación para todos los años donde se puede observar una línea de tendencia lineal (línea roja) con un ajuste medio de 0.68. Los gráficos inferiores muestran la misma relación, pero desglosada para cada temporada. Se observa como la relación se vuelve

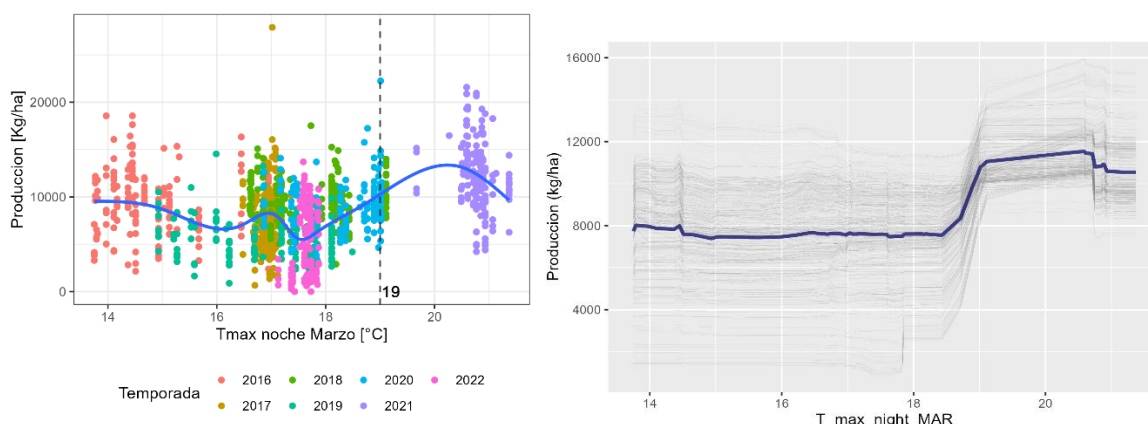
más difusa cuando se considera solo la producción de un año, lo que indica que la variación entre cuarteles está dada por la influencia de más variables ambientales.

## Resultados modelo interpretativo CART

Debido a la complejidad de las relaciones encontradas se decidió por utilizar un modelo no paramétrico basado en árboles de decisión llamado CART (Classification and Regression Trees). Este tipo de modelos trabaja particionando recursivamente los datos en distintos subespacios de acuerdo al cumplimiento de una regla basada en los valores de los predictores. Este tipo de algoritmos nos ofrece una visualización intuitiva de los niveles de producción que se pueden obtener de acuerdo a distintas combinaciones de los factores ambientales (Figura 8).

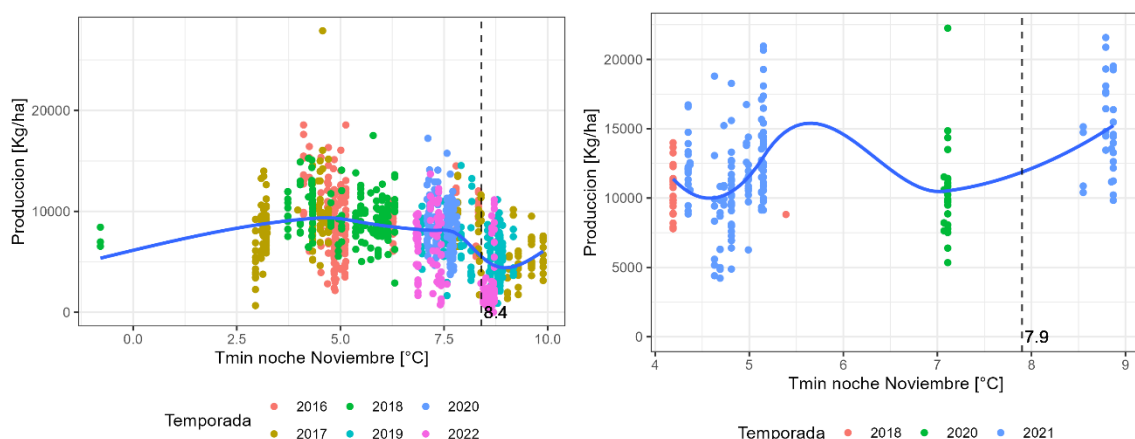
Este tipo de diagramas de árbol siempre parte con un nodo principal (rectángulo azul) y una regla (rombo verde) que da la primera partición de los datos. Cada rombo tiene especificada una regla, que en caso de cumplirse se avanza hacia el lado izquierdo y en caso contrario hacia el lado derecho. En los rectángulos azules se especifica primero el nivel de producción promedio de todos los nodos que se encuentran por debajo. Bajo este número se encuentra un porcentaje que representa la cantidad de datos que caen en dicho conjunto de datos.

El modelo entrenado para el campo Siracusa tiene una gran cantidad de datos disponible lo que dificulta en análisis del diagrama debido a su gran complejidad. Para el caso de este campo el análisis de los diagramas se complementa con un análisis de sensibilidad de la producción con respecto a los variables del modelo realizado con un modelo de Random Forest. En general se observa en el modelo que las variables más importantes están relacionadas a la temperatura de la superficie. La primera variable del diagrama corresponde a la temperatura máxima de la superficie durante las noches de marzo. Cuando el valor de la temperatura es menor a 19°C, que corresponde al 80% de los datos, la producción promedio es de 7.408 kg/ha. Por otro lado, cuando la temperatura es mayor a 19°C la producción promedio es de 12.000 kg/ha. En la Figura 9 (izquierda) se puede observar la distribución de la producción con respecto a la temperatura de la noche en marzo, donde se distingue como la producción promedio más alta que se dio en el año 2021 también se dio en el año que la temperatura de marzo fue más alta. El análisis de sensibilidad muestra como la producción permanece casi invariante para valores menores a 19°C (Figura 9 derecha), luego de esto la producción sube cercana a los 12.000 kg/ha para luego caer levemente sobre los 21°C. Estos resultados muestran que hay un rango de temperatura óptimo para el desarrollo de la planta desde los 19 a los 21 grados durante los meses de otoño



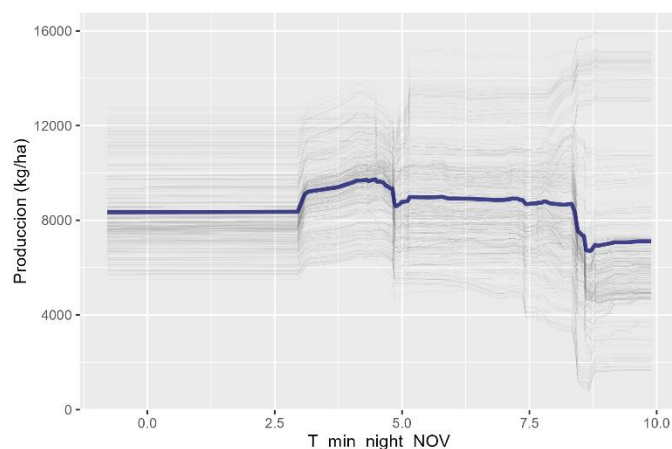
**Figura 9.** Gráfico de dispersión entre la temperatura máxima de la superficie durante las noches de marzo y la producción (izquierda); la línea azul representa la tendencia observada, mientras que línea punteada corresponde al limite identificado por el modelo para establecer el primer nodo. El gráfico de la derecha muestra la sensibilidad de la producción con respecto a la temperatura máxima de la superficie durante las noches de marzo, la línea azul representa la tendencia promedio de todos los cuarteles, cada línea gris corresponde a la producción de un cuartel.

La temperatura mínima de la noche durante el mes de noviembre es la siguiente variable que define los rendimientos en ambos lados del diagrama. Hacia el lado izquierdo donde se agrupan los rendimientos más bajos el limite encontrado por el modelo se sitúa en los 8.4°C (Figura 10). Bajo este límite la producción promedio es de 8.523 kg/ha mientras que cuando se supera esta temperatura la producción promedio baja a 4.237 kg/ha. Hacia el lado derecho del diagrama, el límite establecido en el modelo es de 7.9°C. A diferencia del caso anterior, cuando se supera este limite la producción sube a 16.000 kg/ha y en caso contrario la producción baja a 11.000 kg/ha. En base a estos resultados se puede inferir que cuando los otoños presentan temperaturas bajas durante la noche los cultivos requieren de mayores temperaturas durante las noches de primavera. En caso contrario, cuando las noches de otoño son más cálidas, los cultivos se ven beneficiados por menores temperaturas durante la primavera.



**Figura 10.** Gráfico de dispersión entre la temperatura mínima de la superficie durante las noches de noviembre y la producción. El grafico de la izquierda muestra los cuarteles que cumplen la condición del primer nodo, es decir, tienen una temperatura máxima de la noche en marzo menor a 19°C, mientras que el grafico de la derecha muestra los cuarteles que no cumplen tal condición.

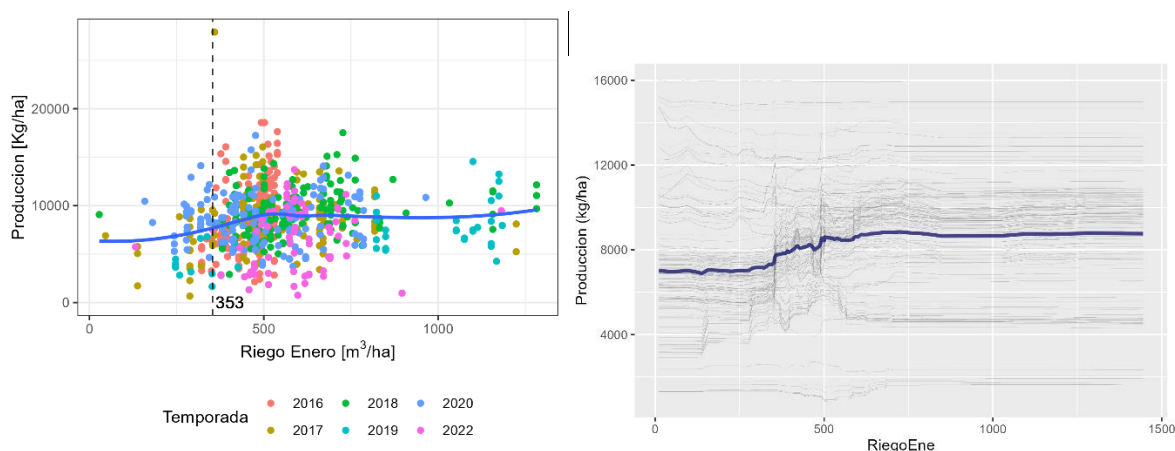
El análisis de sensibilidad de la producción con respecto a la temperatura mínima de la noche en noviembre (Figura 11) muestra que la producción es más sensible entre los 3 y los 5 grados Celsius, aumentando la productividad. Además, sobre los 8 grados parece haber una disminución de la producción tal como lo muestra el diagrama del modelo CART.



**Figura 11.** Análisis de sensibilidad de la producción con respecto a la temperatura mínima de la superficie durante las noches de noviembre.

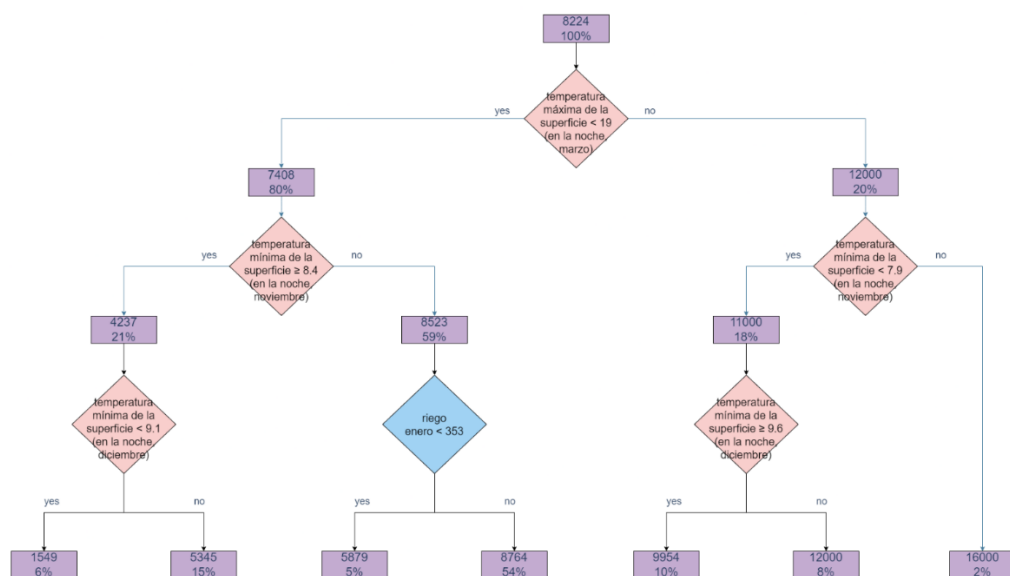
La única variable relacionada al riego que se muestra en los primeros cuatro niveles del modelo corresponde al riego de enero. El modelo establece un límite de 353 m<sup>3</sup>/ha para discriminar dos grupos

de rendimiento. Bajo este límite se obtiene una producción promedio de 5.879 kg/ha y en caso contrario la producción promedio aumenta a 8764 kg/ha (Figura 12). El análisis de sensibilidad de esta variable no muestra que la producción no es especialmente sensible al riego durante el mes de enero, ya que se observa como a partir de aproximadamente 300 m<sup>3</sup>/ha comienza un aumento de la producción hasta aproximadamente los 600 m<sup>3</sup>/ha. Pasado este último valor la producción se mantiene prácticamente inalterada.



**Figura 12.** Relación entre el riego durante el mes de enero y la producción. A la izquierda se puede ver la línea de tendencia observada según los datos de los cuarteles. A la derecha se observa el análisis de sensibilidad de la misma variable.

En conclusión el modelo del campo Siracusa muestra las temperaturas como el principal factor ambiental que se encuentra regulando la producción de los cultivos. En este sentido, el modelo nos muestra una relación estacional en donde los cultivos requieren de temperaturas más altas durante las noches de primavera cuando se enfrentan a un otoño más frío, y en caso contrario, cuando existen otoños de noches más cálidas los cultivos presentan los mayores rendimientos cuando las noches de primavera son más frías. En cuanto a los resultados sobre el riego, el análisis de sensibilidad muestra posibles rangos en donde se tiene que mover los niveles de riego para beneficiar a los cultivos. Mientras que riegos menores a 300 m<sup>3</sup>/ha presentan los peores resultados, cuando el nivel de riego está por sobre los 600 m<sup>3</sup>/ha los cultivos parecen no responder con una mayor producción.



**Figura 7.** Diagrama de árbol de decisión según modelo CART. Este diagrama muestra la relación entre las variables ambientales y los niveles de producción obtenidos para todas las temporadas

## 4. Bibliografía

- De Wit, C., J. Goudriaan & H. van Laar, 1978. Simulation of Simulation, Respiration and Transpiration of Crops. Pudoc. Wageningen, The Netherlands, 148 pp.
- Huete, A. R., 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Remote Sensing of Environment, vol. 25, pp. 295-309
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P Rodriguez, X. Gao & L.G Ferreira, 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83, 195-213.
- Key, C. & N. Benson, 2005. Landscape Assessment: Remote Sensing of Severity, the Normalized Burn Ratio; and Ground Measure of Severity, the Composite Burn Index. FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System, RMRS-GTR, Ogden, UT: Servicio forestal del USDA, Estación de investigación de las montañas Rocosas.
- Key, C. & N. Benson, 2006. Landscape Assessment: Sampling and Analysis Methods; USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD; USDA Forest Service: Washington, DC, USA; pp. 1–55.
- Melo-abreu, J. P. De, Barranco, D., Cordeiro, A. M., Tous, J., Rogado, B. M., & Villalobos, F. J., 2004. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. Agricultural and Forest Meteorology, 125, 117–127.  
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.02.009>
- Qi, J., A. Chehbouni, A. R. Huete, Y. H. Keer & S. Sorooshian, 1994. A modified soil vegetation adjusted index. Remote Sensing of Environment, vol. 48, n.º 2, 119–126.
- Rouse, J.W., R.H.Haas, J.A.Schell, & D.W.Deering, 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317
- Souza, A. P. De, Manoel, C., Ramos, C., & De, A. D, 2011. Comparison of methodologies for degree-day estimation using numerical methods. Acta Scientiarum. Agronomy, 391–400.  
<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i3.6018>
- USGS (United States Geological Survey), 2020. Landsat 8 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide. EROS Sioux Falls, South Dakota.
- Wilson, E. H. & S.A. Sader, 2002. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. Remote Sensing of