

Informe final publicable de proyecto

Incorporación de herramientas de inteligencia artificial y visión computacional para la predicción del rendimiento en *Vitis vinifera* cv Tannat.

Código de proyecto ANII: IA_1_2022_1_173741

Fecha de cierre de proyecto: 01/01/2025

BENTANCOR, Marcel (Responsable Técnico - Científico)
PEREYRA ALPUIN, Cesar Gustavo (Co-Responsable Técnico-Científico)
TEIXEIRA SANTOS, Thiago (Co-Responsable Técnico-Científico)
TYSKA CARVALHO, Jônata (Co-Responsable Técnico-Científico)
DIAS JAVORNIK, Vitor (Investigador)
BORSANI CAMBÓN BORSANI, Omar (Investigador)
CASARETTO DE GREGORIO, Esteban (Investigador)
RAMÍREZ PAULINO, Ignacio (Investigador)

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE CIENCIAS (Institución Proponente) \\ UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA \\
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) \\ UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE INGENIERÍA \\
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE AGRONOMÍA \\ UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE CIENCIAS

Resumen del proyecto

La actividad agrícola moderna muestra cada vez más procesos de automatización y análisis de información que permiten un mayor monitoreo de las situaciones productivas y un mejor ajuste de las prácticas de manejo. Este enfoque moderno de la agricultura se conoce como agricultura digital. En la vitivinicultura es común la inspección ocular de las plantas a fin de tomar decisiones adecuadas de manejo por los productores e incluso por otros actores posteriores de la industria. Este sistema productivo es altamente dependiente de las condiciones de cultivo, por lo que predecir en forma temprana el rendimiento de una cosecha y adaptar las medidas de manejo del cultivo a tiempo resulta fundamental. Actualmente la estimación del rendimiento es una labor manual, pero en los últimos años ha sido identificada como blanco de automatización. Este proyecto se organizó en tres líneas de acción. La primera consistió en el diseño y fabricación de un dispositivo de bajo costo para la captura automatizada de imágenes de viñedos, generando con esto una base de datos con imágenes anotadas para su posterior procesamiento mediante técnicas de aprendizaje automático. En la segunda línea se evaluaron diferentes métodos a fin de obtener una herramienta capaz de detectar racimos de uvas, con el fin último de predecir el rendimiento de los viñedos. La tercera línea de trabajo creó una red de investigadores de la biología vegetal e inteligencia artificial, con el fin de impulsar el desarrollo de la vitivinicultura digital en nuestra región. Para esto también se llevaron a cabo actividades de difusión dirigidas a investigadores, estudiantes y productores sobre los beneficios que conlleva la incorporación de este tipo de herramienta.

El prototipo desarrollado podrá transformarse en un producto comercial para el uso por parte de los productores, con las ventajas de un desarrollo generado en la región.

Ciencias Agrícolas / Agricultura, Silvicultura y Pesca / Agricultura / Agricultura digital

Palabras clave: Detección de frutos / Predicción de rendimiento / Aprendizaje automático /

Antecedentes, problema de investigación, objetivos y justificación.

La vid perteneciente al género *Vitis*, incluye a más de 6070 especies de arbustos y lianas leñosas (Keller, 2010). Tras 6000 años de emplearse para producir vino, actualmente cubre un área mundial de 7,3 millones de hectáreas (OIV, 2021). Abarca gran diversidad de climas y suelos lo que evidencia su alta capacidad adaptativa. Además de la diversidad ambiental, los productores de los principales países se caracterizan por incorporar sofisticadas técnicas biológicas y tecnológicas para el manejo del cultivo, buscando mayor rendimiento y calidad en forma sustentable y eficiente.

En Uruguay, la historia vitivinícola comenzó con la llegada de los primeros inmigrantes europeos. A partir de 1870 nace la viticultura comercial con la introducción de variedades como Tannat y Folle Noire. En la década del 1990 al crearse el MERCOSUR el gobierno impulsó el primer plan de reconversión vitivinícola. Planteando el objetivo principal de mejorar la calidad de la producción sustituyendo variedades de bajo potencial enológico por variedades de vid de origen europeo. Desde la academia y con un fuerte impulso desde Facultad de Agronomía se propuso a la variedad Tannat como un símbolo de la viticultura nacional. En 2020, las exportaciones del sector representaron el 0.3% del PBI nacional (MGAP- DIEA, 2020) exportando a más de 40 destinos. Actualmente en el marco del plan estratégico del sector vitivinícola y la promulgación de políticas públicas que promueven la producción agroecológica (Ley 19717, Uruguay 2019), el sector vitivinícola uruguayo se enfrenta a nuevos desafíos que pueden ser abordados usando la agricultura digital. Los nuevos consumidores exigen vinos producidos en sistemas más sustentables, inocuos con el ambiente y la salud humana y que presenten trazabilidad (Buschiazzo et al., 2020). La agricultura digital permitirá un monitoreo y predictibilidad del cultivo, que hasta el momento no ha sido posible alcanzar con las técnicas tradicionales de manejo. Adicionalmente, eso logrará mayor precisión del manejo, minimizando el uso de agroquímicos contribuirá a una mayor sustentabilidad ambiental.

Estas herramientas se tornan más necesarias frente al cambio climático que está ocurriendo y que impacta intensamente en el cultivo de vid (Mosedale et al., 2016; Venios et al., 2020). El clima es uno de los factores que más condiciona al rendimiento y composición de la uva (Deloire et al., 2005). Uruguay tiene un régimen pluviométrico altamente variable (0 mm a 300 mm por mes) experimentando períodos de déficit o exceso de agua durante el período de maduración de la uva (Enero-Marzo). La determinación del rendimiento de la vid es un proceso complejo que involucra la superposición de ciclos vegetativos y reproductivos durante dos temporadas (años) de crecimiento (Pouget, 1968). De manera sencilla, en el año n se produce la formación de las yemas, la inducción y la diferenciación floral. Mientras que en el año $n+1$ se finalizan los procesos de diferenciación floral y ocurre la floración, el cuajado y maduración de la baya (Fraga et al., 2013; Pouget, 1968) y en simultáneo ocurren los procesos descritos en el año n en las nuevas yemas. Por tanto, el desarrollo del racimo se ve afectado por las condiciones climáticas durante ambos años (año n y año $n+1$). Dentro de los parámetros climáticos, la luz y la temperatura son los mayores responsables de afectar los fenómenos de inducción floral afectando el número de yemas inducidas y el tamaño de las

inflorescencias (Buttrose, 1970). El régimen hídrico es otro de los aspectos a considerar (Champagnol, 1984). Los déficits hídricos severos durante la primera fase de desarrollo del cultivo (brotación-cuajado) impactan sobre el rendimiento en el año en curso, así como en el año siguiente (Ferrer et al., 2017; Guilpart et al., 2014; Ojeda et al., 2002). La viticultura tendrá que adaptarse y mitigar los efectos de la variabilidad climática y el cambio climático. Las perspectivas (2010-2070) para Uruguay y la región indican un aumento de las precipitaciones (primavera-verano) con aumentos de temperatura media de entre 1,5 y 3,0 °C y aumentos de los fenómenos de ola de calor (PNA-AGRO, 2019). Esta situación impactaría sobre los procesos bioquímicos y fisiológicos relacionados con la determinación del rendimiento, aumentando así la variabilidad en la producción.

La participación en este proyecto de un integrante (Ing. Agr. PhD Pereyra) del "Grupo de Vitivinicultura" (ID:851 CSIC-UDELAR) asegura el conocimiento sobre el cultivo. Este grupo cuenta con la ejecución de más de 20 proyectos nacionales e internacionales, 100 artículos en revistas arbitradas y más de 150 ponencias en congresos. Desde el 2014 hasta la fecha se viene trabajando en herramientas de agricultura de precisión aplicadas a la viticultura. En proyectos anteriores (ANII FSA_12937; FMV_1_2017_1_136657; POS_2018_1_1007825; CSIC_INI_2019_216) se determinaron las bases y las herramientas para la ejecución de la viticultura de precisión a partir del cálculo de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y el manejo sitio específico a pequeña escala. En el sitio experimental elegido (que se detallará a continuación) se han delimitado zonas de vigor contrastantes haciéndolo adecuado para esta propuesta. Se delimitaron dos zonas de vigor bien contrastante (Alto vs Bajo) en una parcela de 1 hectárea (Ferrer et al., 2020). Además, se determinó que esa variabilidad del vigor fue estable en las zonas y en el tiempo (Ferrer et al., 2020; Pereyra et al., 2022). Estos estudios aportaron conocimiento sobre las relaciones existentes entre el vigor y los componentes productivos como el rendimiento y la composición de la uva. El vigor alto presentó un crecimiento vegetativo excesivo, con altos rendimientos y una mayor incidencia de enfermedades de racimo. Mientras que la zona de bajo vigor presentó un menor crecimiento vegetativo y bajo rendimiento en comparación con la zona de alto vigor (Ferrer et al., 2020; Pereyra et al., 2022). De dicho sitio experimental, se posee una base de datos (2014-2022) donde se tienen valores de rendimiento (kg/planta y número de racimos por planta) de más de 700 plantas y un archivo con más de 150 fotos de racimos. Además asociado a esta base de datos se tiene registros climáticos y microclimáticos (próximos a la zona de racimos), datos de área foliar, estado hídrico, composición de la uva, entre otros datos relevantes.

Las facultades de ciencias y agronomía (UdelaR) crearon un espacio de prototipado integrado por investigadores formados en áreas biológicas (agronomía, fisiología y biología molecular vegetal) y áreas tecnológicas (robótica e inteligencia artificial). Desde el año 2020 allí se desarrolla una plataforma de fenotipado vegetal para caracterizar la respuesta de soja frente al estrés hídrico (proyecto CSIC I+D, responsables: Dres. Bentancor y Casaretto). Este espacio fue creado para contribuir a potenciar la agricultura digital en Uruguay, incluyendo la incorporación de herramientas de inteligencia artificial en las actividades agrícolas. En particular, la aplicación de estas herramientas resulta interesante para la vitivinicultura, donde la multiplicidad de factores que afectan a la calidad del vino, hace que su manejo dependa de un análisis multidimensional para el cual la inteligencia artificial es especialmente apta (Bannerjee et al., 2018).

En nuestro grupo además de los especialistas en biología vegetal, fenotipado y estudio de la vid, se integran investigadores de inteligencia artificial y visión computacional, de Brasil y Uruguay. El grupo del Dr. Thiago Teixeira (una muestra de los proyectos en que ha trabajado puede verse en <https://ttsantos.net/>) pertenece a la división de agricultura digital del EMBRAPA de Brasil, y tiene más de 12 años de experiencia en estas técnicas aplicadas al fenotipado vegetal de diferentes cultivos, entre los que destaca la vid. Tiene numerosas publicaciones que incluyen la reconstrucción tridimensional de cultivos, estudios termográficos de cultivos, identificación y cuantificación de frutos mediante aprendizaje automático, área en la que ha implementado importantes innovaciones. El otro grupo brasileiro que incluye este proyecto, es liderado por el Dr. Jônata Tyska de la Universidad Federal de Santa Catarina. Sus áreas de especialización son la robótica y la inteligencia artificial, investiga en computación evolutiva y aplicada a sistemas complejos. Entre los abordajes que emplea para sus trabajos, se incluyen la lógica difusa y los algoritmos genéticos. En los últimos años, ha integrado el plantel docente de un posgrado internacional de robótica e inteligencia artificial entre universidades de la región (cursado por el Dr. Bentancor). Por su parte, el Dr. Ignacio Ramirez, colabora con el espacio de prototipado antes mencionado y es responsable de un grupo en la Facultad de Ingeniería (UdelaR) especializado en abordajes que combinan la visión computacional y la inteligencia artificial. Tiene numerosos trabajos en este campo, con más de 1500 citas, incluyendo el desarrollo de nuevos métodos para el procesamiento de imágenes. Es responsable de cursos en el área, integra el plantel docente del posgrado en ciencia de datos de UdelaR y es responsable del curso de aprendizaje automático dirigido a científicos de diversas disciplinas.

La integración de este equipo binacional, muestra una clara disposición de los investigadores a impulsar en la región la inclusión de la inteligencia artificial en diferentes áreas. En este contexto, buscan a través de este proyecto contribuir a consolidar una red de colaboración para potenciar el desarrollo de la agricultura digital.

Los objetivos de este proyecto fueron:

1. Desarrollar un sistema para adquisición de imágenes aptas para el reconocimiento automático de inflorescencias y racimos en viñedos.

2. Generar una base de datos nacional con datasets de imágenes de vid, aptos para el entrenamiento de sistemas de aprendizaje automático.
3. Desarrollar un sistema de visión computacional capaz de reconocer y cuantificar inflorescencias y racimos en viñedos.
4. Establecer un sistema predictivo del rendimiento vitivinícola a partir del análisis automatizado de imágenes de un viñedo, en forma no invasiva y en condiciones de campo
5. Establecer una red de colaboración entre grupos de investigación regionales.

Metodología/Diseño del estudio

1. Desarrollo de un sistema para adquisición de imágenes aptas para el reconocimiento automático de inflorescencias y racimos en viñedos.

En este proyecto se adquirieron imágenes en el viñedo de referencia, durante 4 etapas de desarrollo del ciclo anual de la vid. Las 4 etapas fenológicas fueron: a partir del momento de surgimiento de las inflorescencias (octubre-noviembre), al comienzo de la fase lag del crecimiento de la baya (fines de diciembre), el comienzo de la maduración (o envero, enero) y al momento de la cosecha (marzo). Para cada una de estas instancias se hicieron varias tomas de imágenes, probando capturas diurnas y nocturnas. En las tomas nocturnas las condiciones de iluminación fueron más controladas e impactaron positivamente en el reconocimiento de los racimos (Nuske et al., 2014). Tratándose en ambos casos de equipos portátiles (GoPro), adosados a un tractor. Además de las cámaras RGB también se usaron cámaras de profundidad. Para la iluminación se usaron paneles LED. Para el georeferenciamiento se usaron dos unidades GNSS de alta precisión (fija y móvil) EMLID Reach M2, las cuales brindaron mayor resolución espacial que un módulo GNSS común.

2. Generación de una base de datos nacional con datasets de imágenes de vid, aptos para el entrenamiento de sistemas de aprendizaje automático.

Las cámaras grabaron los videos del viñedo, y a partir de esos registros se extrajeron las imágenes, estando éstas georreferenciadas con alta precisión, con lo cual se pudo obtener la ubicación de las inflorescencias y racimos detectados. Esto permitió determinar variaciones o patrones de rendimiento diferencial a lo largo de un mismo viñedo. Esta información constituye la base para el manejo sitio específico basado en la variabilidad natural del viñedo.

Posteriormente a la obtención de las imágenes, un conjunto de las mismas fue seleccionado para realizar el anotado manual de racimos. Las imágenes anotadas conformaron un base de datos, que de acuerdo a nuestro conocimiento es la primera en Uruguay dedicada al cultivo de vid y la primera base de datos de la variedad Tannat. Esta base de datos está destinada a su uso en el desarrollo de sistemas de aprendizaje automático. Adicionalmente estas imágenes están anotadas con metainformación tal como su localización, varietal y fecha de captura.

3. Desarrollo de un sistema de visión computacional capaz de reconocer y cuantificar inflorescencias y racimos en viñedos.

A partir de los datasets de imágenes se los analizó mediante dos abordajes paralelos: uno basado en técnicas tradicionales de visión computacional y otro haciendo uso de aprendizaje profundo mediante redes neuronales multicapa. Estos análisis se concentraron principalmente en los racimos, por ser su cuantificación la que tiene mayor impacto directo en la estimación de la cosecha. En cada uno de estos abordajes se estudiaron diferentes algoritmos para el reconocimiento de los racimos. Durante esta etapa los sistemas de reconocimiento fueron optimizados, estudiando el impacto que tuvo la modulación de diversos parámetros e hiperparámetros sobre su performance.

4. Establecimiento de un sistema predictivo del rendimiento vitivinícola a partir del análisis automatizado de imágenes de un viñedo, en forma no invasiva y en condiciones de campo.

Los cuadros del viñedo que fueron objeto de estudio en este proyecto fueron subdivididos en sectores de unos pocos metros de longitud, siendo estos sectores la mínima unidad de cuantificación, tanto de la uva cosechada como de la detectada por las imágenes. Para los análisis de correlación entre estas dos variables, se consideró tanto a estos sectores individualmente como a las filas a las pertenecen en cada cuadro del viñedo. Se implementó también un método de calibración a fin de corregir las eventuales variaciones de distancia entre las cámaras y los racimos de uva .

5. Establecimiento de una red de colaboración entre grupos de investigación regionales.

La ejecución de este proyecto permitió formar vínculos académicos entre los grupos académicos involucrados, comprendiendo investigadores residentes en Brasil y Uruguay. En particular, la amplia experiencia en el desarrollo de herramientas de inteligencia artificial, y en la aplicación de ésta del Dr. Teixeira, representa una importante incorporación, que fué aprovechada tanto por investigadores del área biológica como tecnológica en Uruguay.

Se ejecutó un intenso cronograma de actividades a fin de afianzar la colaboración entre estos grupos y servir de punto de difusión para la región en lo que tiene que ver con la aplicación de inteligencia artificial en la agricultura.

Resultados, análisis y discusión

Se obtuvieron miles de imágenes del viñedo en diferentes etapas fenológicas. También se recopilamos datos de la estructura

tridimensional de dos cuadros del viñedo, totalizando varios Terabytes de información.

El sistema desarrollado logró predecir el rendimiento de plantas de vid con un margen de error que rondó el 7-8% y para algunos sectores logró hacerlo con un margen de error de tan solo 4,2%.

El impacto económico del desarrollo de este sistema es prematuro considerarlo, ya que en este proyecto el sistema fue desarrollado como prototipo. Explorando diversas configuraciones de hardware y flujos de análisis de los datos, llegando a un prototipo funcional. La posible conversión del mismo en un producto, será la que permitirá que éste tenga un impacto económico sobre los productores vinícolas que lo adopten, optimizando así la gestión de los recursos del viñedo, así como también la mejora logística en el proceso de cosecha de la uva y la planificación de las actividades en bodega. Además la información generada podrá ser de utilidad para ajustar medidas de manejo en futuras zafras en función de la capacidad del sistema de detectar áreas con diferentes niveles productivos.

Respecto a la generación de recursos humanos este proyecto tuvo un impacto importante. En el marco de éste un estudiante de Ingeniería hizo su tesis de grado en la Universidad Federal de Santa Catarina, y un estudiante de la Maestría en Bioinformática ha llevado a cabo su tesis, la cual se espera defender en el primer semestre de 2025. Además, este proyecto permitió formar una red de investigadores de inteligencia artificial aplicada a la agricultura, y como parte de sus actividades se llevaron a cabo tres ciclos de intercambio presencial entre investigadores de Brasil y Uruguay. En uno de ellos además se llevó a cabo un curso internacional denominado " AgroKHIPUx: Inteligencia artificial y visión computacional como herramientas para vincular la fisiología y mejoramiento vegetal con la agricultura de precisión a través de la fenómica." el cual fue seleccionado para ser apoyado y ofrecido por el Centro Latinoamericano de Biotecnología (CABBIO). Contando con el apoyo además de la Universidad de la República, la organización KHIPU y participando también investigadores del Donald Danforth Plant Center de Estados Unidos, y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina. En este curso participaron estudiantes de Uruguay, Brasil, Paraguay y Colombia. Esta red también tuvo a cargo, por pedido de docentes de la Universidad de Buenos Aires, el curso "Herramientas de inteligencia artificial y visión computacional aplicadas en la agricultura" dirigido a estudiantes de la Carrera de Especialización en Inteligencia Artificial de la Facultad de Ingeniería de dicha Universidad. Curso que tuvo estudiantes de Argentina, Colombia, Perú y Ecuador.

Durante la ejecución del proyecto existieron tres reuniones con productores, a fin de difundir las actividades y resultados de este proyecto, además de permitir la retroalimentación del equipo para adaptar el sistema a las necesidades de los productores.

Conclusiones y recomendaciones

Este proyecto logró en tan solo un año formar una red internacional de investigadores en agricultura digital, adquirir equipamiento, desarrollar un dispositivo y flujo de trabajo que permitió generar un sistema predictivo del rendimiento de viñedos: el sistema IaVid. Este sistema permite en base a la captura y análisis de imágenes predecir el rendimiento de un viñedo con un margen de error reducido y permite analizar la heterogeneidad zonal de dicho rendimiento a lo largo del predio.

Si bien se logró formar la red de investigadores, formar recursos humanos en la región y obtener un prototipo funcional, la conversión de éste en un producto factible de ser operado autónomamente por los productores y la consolidación de la red de investigadores requieren nuevos apoyos financieros a estas iniciativas. Esta nueva fase se beneficiará de la infraestructura y recursos humanos obtenida y organizados durante la ejecución de este proyecto.

Productos derivados del proyecto

Tipo de producto	Título	Autores	Identificadores	URI en repositorio de Silo	Estado
Tesis de grado/monografías	Aprendizado Profundo na Viticultura: Técnicas de Segmentação Semântica para Imagens de Uvas	Vitor Dias (Orientadores: Thiago Texeira, Jonata Tyska)		https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/256111	Finalizado
Tesis de maestría	Desarrollo de herramientas de visión computacional y aprendizaje automático en la producción vitivinícola	Marcelo Piriz (Orientadores: Ignacio Ramírez, Marcel Bentancor, Gustavo Pereyra)			En proceso

Referencias bibliográficas

- Bannerjee, G., Sarkar, U., Das, S., & Ghosh, I. (2018). Artificial intelligence in agriculture: A literature survey. *International Journal of Scientific Research in Computer Science Applications and Management Studies*, 7(3), 1–6.
- Buschiazzo, M, Merino, N, De Mori, J, Villarino, A, Passadore, A, Bertola, B, Fasiolo, C, Coniberti, A, & Zoppolo, R. (2020). Producción Vitícola sustentable. *FPTA 353. Revista INIA*, 62, 123–126.
- Buttrose, M. S. (1970). Fruitfulness in grape-vines: The response of different cultivars to light, temperature and daylength. *VITIS - Journal of Grapevine Research*, 9, 121–125. <https://doi.org/10.5073/VITIS.1970.9.121-125>
- Champagnol, F. (1984). *Elements de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Déhan. Cheng, B., Misra, I., Schwing, A. G., Kirillov, A., & Girdhar, R. (2022). Masked-attention Mask Transformer for Universal Image Segmentation (arXiv:2112.01527). [arXiv. http://arxiv.org/abs/2112.01527](http://arxiv.org/abs/2112.01527)
- Deloire, A., Vaudour, E., Carey, V. A., Bonnardot, V., & Van Leeuwen, C. (2005). Grapevine responses to terroir: A global approach. *OENO One*, 39(4), 149. <https://doi.org/10.20870/oenone.2005.39.4.888>
- Ferrer, M., Echeverría, G., & Miras-Avalos, J. M. (2017). Meteorological conditions: Influence on yield, sanitary status and grape composition. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 3(8), 16–27.
- Ferrer, M., Echeverría, G., Pereyra, G., Gonzalez-Neves, G., Pan, D., & Mirás-Avalos, J. M. (2020). Mapping vineyard vigor using airborne remote sensing: Relations with yield, berry composition and sanitary status under humid climate conditions. *Precision Agriculture*, 21(1), 178–197. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09663-9>
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2013). Future scenarios for viticultural zoning in Europe: Ensemble projections and uncertainties. *International Journal of Biometeorology*, 57(6), 909–925. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0617-8>
- Guilpart, N., Metay, A., & Gary, C. (2014). Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal of Agronomy*, 54, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>
- Keller, M. (2010). Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 56–69.

de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/anuario-estadistico-agropecuario-2020> Millan, B., Velasco-Forero, S., Aquino, A., & Tardaguila, J. (2018). On-the-Go Grapevine Yield Estimation Using Image Analysis and Boolean Model. *Journal of Sensors*, 2018, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2018/9634752>

Mosedale, J. R., Abernethy, K. E., Smart, R. E., Wilson, R. J., & Maclean, I. M. D. (2016). Climate change impacts and adaptive strategies: Lessons from the grapevine. *Global Change Biology*, 22(11), 3814–3828. <https://doi.org/10.1111/gcb.13406>

Nuske, S., Wilshusen, K., Achar, S., Yoder, L., Narasimhan, S., & Singh, S. (2014). Automated Visual Yield Estimation in Vineyards: Automated Visual Yield Estimation. *Journal of Field Robotics*, 31(5), 837–860. <https://doi.org/10.1002/rob.21541>

OIV. (2021). Actualidad de la coyuntura del sector vitivinícola mundial en 2021. Organización Internacional de la Uva y el Vino. <https://www.oiv.int/public/medias/8780/es-state-of-the-world-vine-and-wine-sector-abril-2022.pdf>

Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., & Deloire, A. (2002). Influence of Pre- and Postveraison Water Deficit on Synthesis and Concentration of Skin Phenolic Compounds during Berry Growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 261.

Pereyra, G., Pellegrino, A., Ferrer, M., & Gaudin, R. (2022). How Soil And Climate Variability Within a Vineyard can Favor Heterogeneity of the Grapevine Vigor and Production. [Preprint]. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1654410/v1>

PNA-AGRO. (2019). Plan Nacional de Adaptación a la variabilidad y el cambio climático para el sector Agropecuario. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Uruguay. <https://plataformaparticipacionciudadana.gub.uy/uploads/decidim/attachment/file/178/pna-agro-uruguay.pdf>

Pouget, R. (1968). Nouvelle conception du seuil de croissance chez la vigne. *Vitis*, 7(201–205), 201–205.

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 779–788. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>

Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A., & Banilas, G. (2020). Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming. *Plants*, 9(12), 1754. <https://doi.org/10.3390/plants9121754>

Licenciamiento

Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. (CC BY-NC-ND)

