

Modelo digital para la reducción del impacto ambiental de las actividades agrícolas en tiempo real: Revisión de Literatura

Mg. Leonardo Navarria ^{1,2} , Ariel Pasini ³ , Elsa Estévez ⁴ 

¹Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP) Paseo del Bosque S/N La Plata

²Facultad de Ingeniería (UNLP) 1 esq. 47 La Plata, Buenos Aires

³Instituto de Investigación en Informática III- LIDI -Facultad de Informática (UNLP) 50 esq. 120 La Plata, Buenos Aires

Centro Asociado CIC

⁴Laboratorio de Ingeniería de Software y Sistemas de Información (LISSI)

Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación – UNS

Av. San Andrés 800 – Campus de Palihue - Bahía Blanca, Buenos Aires

Centro Asociado CIC

lnavarria@fcaglp.unlp.edu.ar

apasini@lidi.info.unlp.edu.ar

ece@cs.uns.edu.ar

Resumen. Los gemelos digitales han sido aceptados en una determinada diversidad de situaciones. Este concepto fue incorporado allá por el año 2002 donde se lo aplicó al ciclo de vida de un determinado producto industrial. La terminología ha cambiado con el tiempo, pero el concepto de modelo de Gemelo Digital se ha mantenido desde el origen. El Product Lifecycle Management o Gestión del ciclo de vida del producto significaba que esto no era una representación estática, sino que los dos sistemas estarían vinculados en todo momento del ciclo de vida del producto. Utilizar gemelos digitales para poder reducir el impacto ambiental en las actividades agrícolas cumplirá con varios objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) de las Naciones Unidas. Con el cumplimiento de estos ODS se promueve el uso de políticas públicas para arribar a una ciudad inteligente, en donde el desarrollo integral, planificado y coordinado es parte de las acciones a llevar adelante.

La propuesta de este trabajo analizar publicaciones que permitan relacionar con gemelos digitales aplicados a la producción frutihortícola para la reducción del uso de los recursos hídricos con el fin de ayudar a los productores frutihortícolas para así aplicar la tecnología disponible y generar políticas que mejoren el uso de recursos acorde a ciudades inteligentes sostenibles.

Keywords: producción frutihortícola, modelado, riego, sustentable, decisiones

1 Introducción

El modelo de asistencia a productores frutihortícolas con un enfoque de sostenibilidad basado en los principios de ciudades inteligentes puede generar de forma significativa una mejora en la producción agropecuaria local, como así también una mejora en el aprovechamiento del recurso hídrico.

Este modelo puede colaborar con la toma de decisiones un productor frutihortícola local para mejorar su producción, al generar una determina sostenibilidad en el tiempo, se podrá identificar las mejores decisiones a la hora de mantener las condiciones ambientales ideales para la producción. La mejora en la toma de decisiones no sólo maximizará el valor económico y social de la producción, sino que cuidará el recurso hídrico como también reducirá el consumo de energía durante el proceso. Los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos los habitantes del planeta. Es importante que se logre cumplir con cada uno de estos objetivos para 2030¹.

A lo largo de este trabajo se busca responder al interrogante ¿existen publicaciones que traten un modelo digital que registren variables climatológicas y asistan a los productores agropecuarios en la toma de decisiones respecto al uso del recurso hídrico? Para lo cual se contextualizará la situación, se definirán los conceptos utilizados, se plantearán objetivos de la revisión bibliográfica y finalmente se listarán los trabajos encontrados en los distintos motores de búsqueda.

Las directrices que se seguirán en este trabajo corresponden a lo enunciado en el trabajo de Kofod-Petersen [1]

2 Contexto

La presente revisión de literatura surge en el marco del trabajo de la Tesis en curso para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Informáticas titulado “Modelo digital para la reducción del impacto ambiental de las actividades agrícolas utilizando variables climatológicas en tiempo real aplicado al cordón frutihortícola del gran La Plata”. En esta publicación se mostrará la fase de análisis del estado del arte y el resultado de los vínculos directos de las publicaciones y los temas fundamentales que se aborda en el trabajo de investigación.

2.1 Producción frutihortícola

La provincia de Buenos Aires es el motor productivo del país debido a que está conformada por ambientes muy heterogéneos que almacenan una riqueza muy significativa en cuanto al potencial de rendimiento y la calidad de la producción de los cultivos que sobre estos se realizan. [2]

En el interior de la provincia de Buenos Aires coexisten un conjunto de actividades productivas que son eslabones fundamentales en la suma de las actividades

¹ <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

agropecuarias. En este sentido, la producción hortícola y la frutícola son dos de los principales cultivos intensivos que promueven el desarrollo local y regional de diferentes zonas bonaerenses. Estas dos actividades presentan características específicas que permiten diferenciarlas del resto del sector agropecuario y sobre las cuales se desagregan un conjunto de beneficios y desafíos para fortalecer la producción primaria, el agregado de valor, la generación de empleo y los circuitos cortos de comercialización.

2.2 Modelado

El modelo de asistencia a productores frutihortícolas con un enfoque de sostenibilidad basado en las políticas de ciudades inteligentes puede generar de forma significativa una mejora en la producción agropecuaria local, como así también una mejora en el aprovechamiento del recurso hídrico.

Este modelo asistencial no sólo colaborará con las decisiones de los productores locales para mantener las condiciones ambientales óptimas sino que podrá mejorar la producción maximizando el valor económico y cuidando el recurso hídrico como también reduciendo el consumo energético, dos valores de sustentabilidad ambiental fundamentales en los ODS 2030.

Para llevar adelante el modelado digital se utilizará el concepto de gemelo digital, los cuales son representaciones actualizadas, por ejemplo, de un activo físico real en funcionamiento. Reflejan el estado actual del activo e incluyen datos históricos relevantes acerca de él. Los gemelos digitales se pueden utilizar para evaluar el estado actual del activo y, lo que es más importante, predecir su comportamiento futuro, refinar el control u optimizar el funcionamiento. En el caso de estudio, se podría construir el modelo digital del sistema de bombeo para riego, por ejemplo, o modelizar las condiciones necesarias para realizar un riego.

El concepto del gemelo digital (Digital Twin) fue incorporado en la Universidad de Michigan [3] por Michael Grieves en una presentación a la industria en el año 2002. Allí se mencionó el concepto para la formación del gerenciamento del ciclo de vida de un determinado producto (Product Lifecycle Management (PLM)). La terminología ha cambiado con el tiempo, pero el concepto de modelo de Gemelo Digital se ha mantenido desde el origen.

El gemelo digital ha sido aceptado en una determinada diversidad de situaciones, por ejemplo la NASA lo ha utilizado en sus rutas de tecnologías aplicadas, en sistemas de mantenimiento, por ejemplo en el módulo SAP PM donde se carga el árbol de mantenimiento de la planta industrial con todos los componentes que conforman la planta y sus características propias.

Para poder avanzar con el trabajo de investigación doctoral se deben recolectar los datos de interés, esta recolección de datos por parte de los productores puede hacerse de forma manual, realizando procedimientos de observación meteorológica o de forma automática con estaciones meteorológicas automáticas, generando una base de datos para la construcción del modelo digital.

2.3 Riego

El agua es el recurso natural más importante que existe. No solo es la base fundamental de toda forma de vida, sino que también es fundamental para el desarrollo de diversas actividades económicas esenciales, que van desde la agricultura hasta las grandes industrias. El principal usuario de agua a escala mundial es la agricultura. El aumento en la demanda de alimentos causa un aumento en la producción de estos, lo que lleva a la expansión de las tierras regadas, que han causado no solo una mayor utilización de aguas superficiales, sino también una creciente explotación de aguas subterráneas. La única solución a este problema es que la gestión y regulación del recurso hídrico mejore.

De acuerdo con la ley 12.257 [4], la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires posee las facultades necesarias para establecer las reglamentaciones sobre los sistemas de medición para la explotación del Recurso Hídrico.

El Objetivo 6 de las ODS busca garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

2.4 Sustentabilidad

El trabajo de [5] muestra que existen diferentes modelos de tecnología digital para las ciudades, partiendo de Digital Cities (ciudades digitales) hasta Intelligent Cities (ciudades inteligentes) a Smart Cities (ciudades Smart). Cada una de ellas incorporan un diferente grado de tecnología. Las ciudades digitales integran la tecnología digital en la infraestructura de la ciudad, las ciudades inteligentes están un escalón más arriba incorporando edificios inteligentes, sistemas de transportes, escuelas, espacios y servicios públicos y las integran en sistemas urbanos inteligentes. Smart cities despliegan sistemas para servir a la sociedad, economía y cuidado del medio ambiente para mejorar la calidad de vida y atacar los orígenes de los problemas de inestabilidad social.

El desarrollo de una ciudad inteligente es un desafío complejo. La integración de sistemas urbanos en un único sistema capaz de adaptarse y administrarse de forma autónoma es difícil. Las limitaciones en la interoperabilidad del sistema, la reutilización de datos los datos provistos por el gobierno de forma pública y la conciencia ciudadana son temas que disminuyen la capacidad para interconectar modelos analíticos.

La Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) [6] abarca tres dimensiones:

- Sostenibilidad medioambiental y cambio climático,
- Sostenibilidad urbana y
- Sostenibilidad fiscal y gobernanza.

Estos conceptos finales refuerzan la idea de sustentabilidad en ciudades con el uso de tecnología, en el ámbito de este trabajo no sólo corresponde al riego eficiente, sino a la mejora social, económica y política de aquellos habitantes que producen frutas y hortalizas. Sumado a lo indicado anteriormente, se busca que la sustentabilidad genere políticas públicas abarcadas dentro de las incumbencias del organismo de control, en este caso, la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires.

2.5 Asistencia para la toma de decisiones

El modelo de asistencia a productores frutihortícolas con un enfoque de sostenibilidad basado en las ciudades inteligentes puede generar de forma significativa una mejora en la producción agropecuaria local, como así también una mejora en el aprovechamiento del recurso hídrico.

Este modelo puede colaborar con la toma de decisiones un productor frutihortícola local para mejorar su producción, al generar una determina sostenibilidad en el tiempo, se podrá identificar las mejores decisiones a la hora de mantener las condiciones ambientales ideales para la producción frutihortícola. La mejora en la toma de decisiones no sólo maximizará el valor económico y social de la producción, sino que cuidará el recurso hídrico como también reducirá el consumo de energía en la producción. Con el modelo de asistencia se busca que se cumplan parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles 6, 7, 8, 9, 11, 12 y 13.

Para poder construir el modelo de asistencia al productor frutihortícola para realizar un uso del recurso hídrico eficiente se deben obtener los datos meteorológicos necesarios y luego realizar su procesamiento utilizando lo propuesto en el apartado 2.2

3 Revisión Bibliográfica

En este apartado se enuncian los objetivos y los criterios que se utilizaron para realizar el relevamiento. Esta búsqueda está orientada a establecer uniones entre los temas a fin de encontrar un vínculo con la totalidad de las palabras claves. Como indica el trabajo de Kofod-Petersen [1] una revisión literaria no es garantía de poder encontrar toda la literatura relevante en un área determinada, pero hay muchas ventajas en el uso de ella. Una revisión sistemática puede relevar soluciones existentes antes de que un investigador intente abordar una determinada área; ayuda a los investigadores a evitar sesgos en su trabajo y finalmente realizar la publicación de estas revisiones también beneficia a la comunidad al permitir que otros eviten duplicar el esfuerzo; permite a los investigadores identificar lagunas de conocimiento; y destaca las áreas en las que se requiere investigación adicional.

A su vez se muestra un listado de la bibliografía consultada para abordar el tema.

3.1 Objetivos

El espíritu del trabajo consistió en la comprobación de la literatura de los cinco temas principales publicaciones que pueda unir la producción frutihortícola utilizando riego sustentable basándose en decisiones asistidas por la toma de datos ambientales. Para ello tomando el modelo de revisión bibliográfica de Petkoff Bankoff et al. [7] se plantearon los siguientes sub – objetivos:

1. Analizar la bibliografía de modelado utilizando modelos basados en gemelos digitales.
2. Buscar relaciones entre huertas sustentables y modelos basados en gemelos digitales.

3. Verificar si existen líneas de investigación orientadas a la producción frutihortícola local utilizando tecnología sustentable para poder promocionar políticas públicas.

3.2 Búsqueda

Para poder llevar adelante la búsqueda se utilizaron diversos motores y plataformas como ser Scopus, ResearchGate, Springer Google Scholar. Las expresiones utilizadas fueron “sustainable orchard”, “Watering”, “digital twins”, “decisions”. Se debe aclarar que la plataforma Scopus ha dejado de estar disponible para búsquedas por Keywords, por lo que el trabajo fue mucho más dificultoso y requirió de un recurso temporal mayor al planificado para poder ser llevado adelante.

3.3 Alcance y Publicaciones

Avanzando con los criterios propuestos en [1], es menester que el alcance de la revisión incluyera los temas basados en gemelos digitales, huertas, sustentabilidad y riego en agricultura. Se ha encontrado documentación técnica referida a temas de agricultura y exclusivamente a gemelos digitales que no ha sido incluida en su análisis, pero que será tomada en cuenta, sobre todo aquellas de temas agrícolas para el desarrollo del trabajo.

Tal cual lo enuncia de Kofod-Petersen [1], se debe realizar una extracción de datos, monitoreo y síntesis lo cual es realizado en la tabla 1 adjuntado también el enlace ²a la planilla de datos. En esta planilla se fueron cargando las menciones obtenidas, año de publicación, lugar de publicación y breve resumen. La tabla contiene el número ordinal del trabajo para ser ubicado en la base de datos (#), el título de la publicación y el tema que menciona, como ser OP: Orchard Production (producción de huertas), M: modeling (modelado), W: watering (riego), S: sustanaible (sustentabilidad), D:decisions (decisiones)

Tabla 1: Listado de publicaciones

#	Título	OP	M	W	S	D
1	Herramientas para el desarrollo y la entrega de servicios públicos digitales de acción social para municipios bonaerenses				1	
2	Forecast climate data use in irrigation scheduling models			1		
3	Forecasting irrigation scheduling based on deep learning models using IoT			1		1
4	Using weather forecast data for irrigation scheduling under semi-arid conditions			1		1
5	Sustainable Orchard Management System for Intermountain Orchards	1			1	

²

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1zUrdRWihjzeriua7sYpmMjgRDKwKmd5flbKVIBRCLis/edit?usp=sharing>

6	Sustainable orchards' redesign: at the crossroads of multiple approaches [8]	1				
7	Diseño de un sistema de riego automatizado para huertas caseras con IoT					1
8	Adoption Of Technologies for Sustainable Farming Systems Wageningen Workshop Proceedings					
9	Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture [8]	1	1	1	1	
10	Control de una Bomba Centrífuga Monofásica Comercial para Irrigación de Huertas Rurales Utilizando Energía Solar Fotovoltaica					
11	Huerta Indoor Automatizada.	1				
12	Investigación y desarrollo de huertas inteligentes y sustentables	1				
13	Sustainable Fruit Growing	1			1	
14	IOT-Based Self-nourishing System for Plants	1				
15	An analysis framework to evaluate irrigation decisions using short-term ensemble weather forecasts			1		1
16	digital twin: orchard management using uav	1	1			
17	Digital twins in farm management: illustrations from the FIWARE accelerators SmartAgriFood and Fractals	1	1			
18	Empowering Agriculture: Leveraging Intelligent Systems for Sustainable Farming	1				
19	Solar Fertigation: A Sustainable and Smart IoT-Based Irrigation and Fertilization System for Efficient Water and Nutrient Management [9]	1		1	1	
20	Application of Smart Techniques, Internet of Things and Data Mining for Resource Use Efficient and Sustainable Crop Production [10]	1	1	1	1	
21	The Grape Remote Sensing Atmospheric Profile and Evapotranspiration Experiment	1				1
22	Gemelos digitales para mantenimiento predictivo		1			
23	Digital twins in smart farming [11]	1	1			1
24	Asesoramiento Profesional y Manejo de nuevas tecnologías en unidades de producción hortícola del gran La Plata	1				
25	Caracterización de la producción Florícola en el Partido de La Plata	1				
26	Producción intensiva flori-hortícola sustentable en el gran la plata	1				
27	Intelligent digital twins and the development and management of complex systems		1			
28	Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication		1			
29	Impact of AI-Driven Digital Twins in Industry 4.0: An Exploratory Analysis		1			
30	Gemelos digitales basados en tecnología 4.0 para petróleo y gas		1			
31	Lecture Notes in Information Systems and Organization		1			
32	Sage Journals		1			
33	Digital Twins in Smart Manufacturing		1			

34	Handbook of Digital TWINS					
35	Key Technologies of Digital Twins: A Model-Based Perspective		1			
36	A Generic Deployment Methodology for Digital Twins – First Building Blocks.		1			
37	Automated Inference of Simulators in Digital Twins		1			
38	Digital Twins for Process Industries		1			
39	Digital Twins in Agriculture: Orchestration and Applications [12]	1	1	1	1	

4 Resultados

El diagrama de Venn es una herramienta que permite comparar datos y medir la probabilidad de encontrar cualidades compartidas en las intersecciones. El gráfico siguiente es propuesto en [1] en dónde el centro del diagrama corresponde a la intersección de todos los temas.

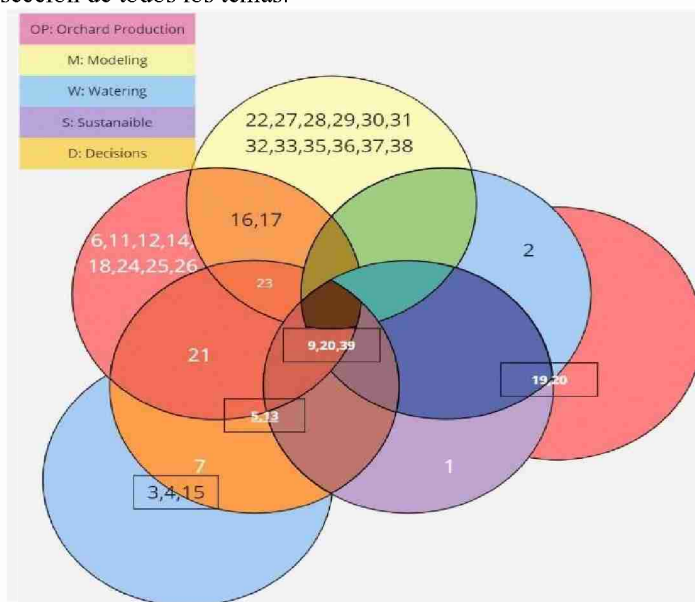


Figura 1: Diagrama de Ven con los trabajos según el tema

Cada uno de los círculos muestra el número de los trabajos analizados en el apartado anterior. En la figura 1 se realiza la intersección ubicando cada uno de los trabajos en el tema correspondiente.

Luego de realizar un análisis de las publicaciones mostradas en la figura 1, se construyó la tabla 2 ponderando las coincidencias desde dónde se obtuvieron las siguientes estadísticas que se muestran tanto en mencionada tabla como en la figura 2.

Tabla 2: Resumen por temas

Cantidad de trabajos	Temas Coincidentes	%
3	4	21%
2	3	11%
8	2	28%
23	1	40%

En la tabla se puede apreciar que solamente hay tres trabajos que poseen cuatro temas coincidentes, que sumado y ponderado sería un 21% del total de las coincidencias, con tres temas, solo el 11% y luego con 2 temas de coincidencias el 28%. Esto quiere decir que no hay trabajos que contemplen la totalidad de los temas entre sí, si bien existen 3 trabajos con cuatro temas de coincidencia, los mismos no contemplan el espíritu de la investigación de fondo.

En el gráfico de la figura 2 se puede apreciar que solamente hay tres trabajos que poseen cuatro temas coincidentes, que sumado y ponderado correspondería con un 21% del total de las coincidencias.

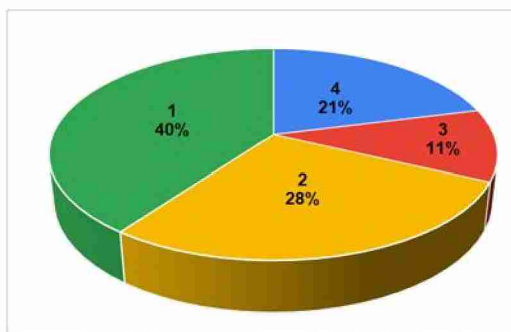


Figura 2: Gráfico por temas

Analizando los trabajos de las coincidencias más importantes, en el trabajo de Pierre-Eric Lauri [8] adopta un enfoque participativo para identificar alternativas, estudiar su combinación e implementación, condiciones y consecuencias para la concepción de huertos sostenibles innovadores. Propone que la conformación de un grupo de trabajo que reúne a fruticultores, asesores y científicos con una motivación común para poder construir huertas más sustentables.

En la investigación de Uzair Ahmad et al [10] describe los modelos agronómicos que deben utilizarse en un sistema inteligente de riego y fertilización de acuerdo con las necesidades de la planta. Indica cuales son las variables a tener en cuenta y los cálculos que se realizan para poder llevar adelante un riego y una nutrición de suelo con el fin de mejorar la producción hortícola. Propone un sistema de control de riego basado en variables meteorológicas utilizando distintos cálculos de variables físicas para llevar adelante un modelo que permita realizar un riego eficiente.

En el trabajo de Awais Ali et al. [10] se proporciona un resumen de las estrategias utilizadas para combatir el cambio climático y poder mantener una producción agrícola eficiente. Se muestra que la implementación de técnicas inteligentes e internet de las

cosas (IoT) es necesaria para poder impulsar la productividad de los sistemas de cultivos. El uso de redes neuronales y modelos de simulación podrían ayudar en la predicción del rendimiento para apoyar las decisiones a tomar.

En la publicación de Muthumanickam Dhanaraju et al. [9] se propone un modelo de agricultura sostenible basado en el ahorro de energía, el ambiente y la sociedad. Se coincide con el autor de esta publicación en que es el momento adecuado para conectar el campo agrícola con la tecnología inalámbrica y adaptarse a la necesidad de los agricultores. Se debe generar una etapa intermedia entre la visita constante al campo y el monitoreo remoto del campo, todo eso se logra de forma con la utilización de nuevas tecnologías en estudio.

El trabajo de Escribà-Gelonch [13] retoma el concepto de Gemelos Digitales, citando a [3] y se muestran las distintas alternativas para integrar distintas tecnologías inteligentes como ser IoT, inteligencia artificial, big data, robótica automatización para llegar al concepto de agricultura 4.0. Otro de los ítems que remarca el trabajo es que las estimaciones de mercado utilizando Internet de las cosas (IoT) predicen un aumento de inversiones tecnológicas de 17,1 millones de dólares para el año 2030 con la obtención de beneficios del alrededor de 1,5 billones de dólares.

5 Conclusiones y trabajo a futuro

Se ha buscado, relevado y analizado un cierto volumen de publicaciones relacionados con los términos producción hortícola, sustentable, riego, modelado y toma de decisiones. Se realizaron búsquedas en distintas bibliotecas como ser ResearchGate, Springer Google Scholar, Scopus se ha utilizado de forma parcial, ya que la UNLP no posee más el acceso para la búsqueda completa.

Se realizaron conexiones entre los distintos temas, pero no se han podido encontrar coincidencias que sigan el espíritu de la línea de investigación que es el modelado digital para la reducción del impacto ambiental de las actividades agrícolas utilizando variables climatológicas en tiempo real con el fin de fomentar políticas públicas para abordar una producción más sustentable basado en los principios de ciudades sustentables.

De los objetivos planteados podemos decir que:

1. *Analizar la bibliografía de modelado utilizando modelos basados en gemelos digitales.* Existe diversa bibliografía acerca de modelos digitales, todas ellas se basan en el modelo que Michael Grieves [2] propuso por el año 2002, y sus distintos renovados modelos.
2. *Buscar relaciones entre huertas sustentables y modelos basados en gemelos digitales:* Los gemelos digitales se aplican a diversos procesos industriales, por lo que puede modelar la agricultura teniendo en cuenta los pasos intermedios, ya que de un productor que visita todos los días un campo a poder verlo de forma remota se debe realizar una serie de acciones conjuntas que requieren cambios en la forma del seguimiento del producto.
3. *Verificar si existen líneas de investigación orientadas a la producción frutihortícola local utilizando tecnología sustentable para poder promocionar políticas públicas:*

Si bien existen investigaciones o implementaciones del uso de tecnología en la producción frutihortícola, no se han hallado otros autores o instituciones que busquen mejorar la eficiencia estimulando agricultura sustentable para fomentar políticas públicas que mejoren el cuidado del recurso hídrico como apuntan los objetivos del trabajo de tesis doctoral.

Como se explicó en el punto anterior, respondiendo a la pregunta realizada en la introducción, se llega a la conclusión que es posible seguir avanzando en la investigación que es el objetivo de la tesis doctoral.

Cómo línea de trabajo a futuro se debe tener en cuenta que este trabajo se encuadra dentro del estudio de ciudades inteligentes, por lo que:

- Se avanzará con la construcción y diseño de estaciones meteorológicas.
- Se continuará con el proyecto UNLP “¿cómo está el tiempo en tu escuela?, el cual el tesista es el director del proyecto, lo cual fomenta una política de cuidado del recurso hídrico y se intercambian saberes con la comunidad educativa de nivel inicial y primario.
- Se implementará la base de datos que permita realizar una asistencia al productor, pudiendo este tomar o no las sugerencias, y en algunos casos implementar soluciones de forma automática, sin intervención del productor.

6 Referencias

- [1] Kofod-Petersen, Anders. (2015). How to do a Structured Literature Review in computer science.
- [2] Revista MDA. ISSN en línea 2718- 6660, Vol. 2, N 3, (2021), La Plata, Argentina
- [3] Grieves, Michael. (2016). Origins of the Digital Twin Concept. 10.13140/RG.2.2.26367.61609
- [4] Ley 12257. Provincia de Buenos Aires. <https://normas.gba.gob.ar/documentos/xbROJHGx.html>
- [5] Estevez, Elsa. (2016). Smart Sustainable Cities - Reconnaissance Study.
- [6] Bouskela, Mauricio; Casseb, Márcia; Bassi, Silvia; De Luca, Cristina; Facchina, Marcelo. (2016) The Road toward Smart Cities <http://dx.doi.org/10.18235/0012831>
- [7] Petkoff Bankoff, K., Muñoz, R., Pasini, A. C., & Pesado, P. M. (2023). Sistemas de gestión de calidad y Blockchain en la era de la industria 4.0: revisión de literatura. In XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) (La Rioja, 3 al 6 de octubre de 2022).
- [8] Penvern, Servane & Simon, Sylvaine & Bellon, Stéphane & Alaphilippe, Aude & Lateur, M. & Lauri, Pierre-Eric & Dapena, Enrique & Jamar, L. & Hemptinne, Jean-Louis & Warlop, François. (2012). Sustainable orchards' redesign: at the crossroads of multiple approaches
- [9] Dhanaraju, M.; Chenniappan, P.; Ramalingam, K.; Pazhanivelan, S.; Kaliaperumal, R. Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. Agriculture (2022), <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
- [10] Ahmad, U.; Alvino, A.; Marino, S. Solar Fertigation: A Sustainable and Smart IoT-Based Irrigation and Fertilization System for Efficient Water and Nutrient Management. Agronomy (2022). <https://doi.org/10.3390/agronomy12051012>

- [11] Ali, A.; Hussain, T.; Tantashutikun, N.; Hussain, N.; Cocetta, G. Application of Smart Techniques, Internet of Things and Data Mining for Resource Use Efficient and Sustainable Crop Production. *Agriculture* (2023). <https://doi.org/10.3390/agriculture13020397>
- [12] Cor Verdouw, Bedir Tekinerdogan, Adrie Beulens, Sjaak Wolfert, Digital twins in smart farming, *Agricultural Systems*, Volume 189, (2021) ISSN 0308-521X, <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103046>
- [13] Marc Escribà-Gelonch, Shu Liang, Pieter van Schalkwyk, Ian Fisk, Nguyen Van Duc Long, and Volker Hessel. Digital Twins in Agriculture: Orchestration and Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2024 72 (19), 10737-10752. DOI: 10.1021/acs.jafc.4c01934.