



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Identificación de estados fenológicos de la flor de durazneros mediante visión por computadora

Autor:

Ing. Héctor Luis Sánchez Márquez

Director:

Ing. Juan Ignacio Cavalieri

Codirector:

Esp. Lic. Nicolás Eduardo Horro

Jurados:

Nombre del jurado 1 (pertenencia)

Nombre del jurado 2 (pertenencia)

Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre agosto de 2023 y junio de 2024.*

Resumen

Esta memoria presenta un algoritmo desarrollado para el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria que es capaz de identificar los estados fenológicos de la flor de duraznero y extraer información de su vareta a partir de imágenes. El objetivo de este desarrollo es agilizar y automatizar la toma de datos de las varetas de duraznero a través de fotos. Con ello, se busca aumentar el caudal de datos existente y conocer el estado fenológico a campo.

Para su desarrollo e implementación fueron aplicados los conocimientos de visión por computadora, análisis de datos, aprendizaje profundo y buenas prácticas de despliegue adquiridas en la carrera.

Agradecimientos

Esta sección es para agradecimientos personales y es totalmente **OPCIONAL**.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Descripción de la problemática	1
1.2. Motivación	2
1.3. Requerimientos	3
1.4. Objetivo y alcances	4
1.5. Estado del arte	4
1.5.1. Medición de la vareta	4
1.5.2. Detección de los estados fenológicos de la flor de duraznero	4
1.5.3. Conteo de flores	5
2. Introducción específica	7
2.1. Estilo y convenciones	7
2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones	7
2.1.2. Este es el título de una subsección	7
2.1.3. Figuras	8
2.1.4. Tablas	9
2.1.5. Ecuaciones	10
3. Diseño e implementación	13
3.1. Análisis del software	13
4. Ensayos y resultados	15
4.1. Pruebas funcionales del hardware	15
5. Conclusiones	17
5.1. Conclusiones generales	17
5.2. Próximos pasos	17
Bibliografía	19

Índice de figuras

1.1. Proceso para obtener los datos genómicos [1].	2
1.2. Frutales afectados por las heladas primaverales [2].	2
2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.	8
2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador ¹	9
2.3. ¿Por qué de pronto aparece esta figura?	9
2.4. Tres gráficos simples	9

Índice de tablas

2.1. caption corto	10
------------------------------	----

Dedicado a... [OPCIONAL]

Capítulo 1

Introducción general

En este capítulo se presenta la problemática y la motivación que llevaron a la realización del presente trabajo.

1.1. Descripción de la problemática

La fenómica hace referencia a la obtención de un gran caudal de datos de las características de las plantas, lo que se denomina el fenotipo de la planta. Esta disciplina está en auge en la actualidad debido a sus aplicaciones potenciales. Por un lado, habilita el mejoramiento a gran escala debido a que es necesario vincular una gran cantidad de datos genéticos con datos fenotípicos para identificar la función de los genes. Por otro lado, si se incluyen otros conjuntos de datos como son los climáticos, permite realizar predicciones precisas sobre el comportamiento de las variedades, necesario para implementar lo que se conoce como agricultura de precisión. Sin embargo, la fruticultura no ha dado el salto hacia la fenómica.

En la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) de San Pedro se ha logrado secuenciar el ADN de más de 250 variedades de duraznero [1] y se dispone de una base de datos genómica de 75 gigabases (Gb) de ADN. Esta base permite identificar genes que controlan características del duraznero mediante algoritmos de inteligencia artificial (IA). Además, se dispone de datos climáticos diarios que se toman de forma automática que incluyen: las temperaturas medias, precipitaciones, horas de frío, radiación, etc. Esta información se combina con los datos genómicos y posteriormente, con modelos de IA se predice el comportamiento de las variedades en escenarios climáticos futuros. En la figura 1.1, se observa el proceso para obtener los datos genómicos.

En la actualidad, las heladas primaverales son el mayor problema de los frutales a nivel mundial. Este fenómeno ocurre cuando las flores abiertas se someten a temperaturas cercanas a los -2.5°C . Las heladas primaverales tienen una temperatura parecida a cualquier otra helada que se puede presentar en la temporada de invierno. Sin embargo, estas heladas suelen presentarse después del invierno, creando un gran impacto contra las flores y los frutos. Los productores de frutas, en general, se ven altamente afectados pagando un alto precio por estas inesperadas heladas tardías. En la figura 1.2, se puede observar cómo este fenómeno meteorológico afecta a los frutales.

Genotipado por secuenciación

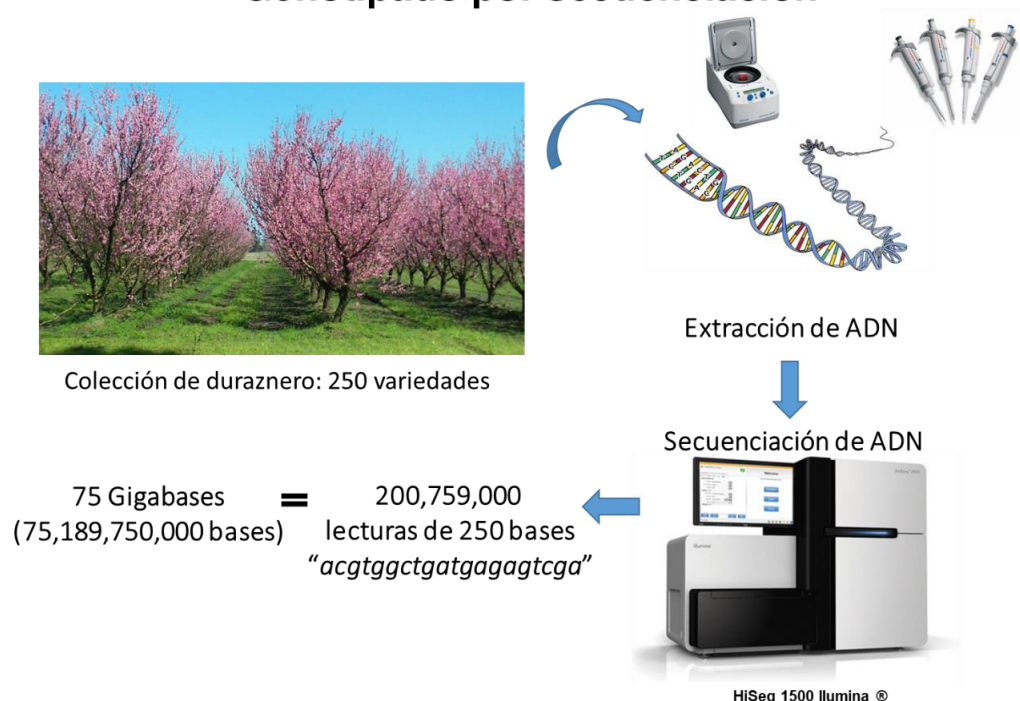


FIGURA 1.1. Proceso para obtener los datos genómicos [1].



FIGURA 1.2. Frutales afectados por las heladas primaverales [2].

1.2. Motivación

Por lo explicado anteriormente, es del interés del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) determinar el estado fenológico a campo y mejorar para la tolerancia a heladas.

Para determinar el estado fenológico a campo, es necesario conocer el número de flores que se encuentran en estado vulnerable ante un pronóstico de heladas primaverales, así como también la densidad de flores.

En cuanto al mejoramiento, se ha realizado una caracterización a gran escala de la tolerancia a heladas de la colección de duraznero con el objetivo de identificar los genes responsables. Parte de ese experimento consistió en registrar el estado fenológico mediante fotos.

El presente trabajo permitirá automatizar la toma de datos de varetas de duraznero a partir de fotos para aumentar el caudal de datos y mejorar los modelos de IA.

1.3. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales

- a) El sistema tomará como entrada imágenes de varetas de durazneros en formato JPG.
- b) El algoritmo debe detectar la presencia de las varetas de los durazneros e identificar el tipo de flor que posee.
- c) El algoritmo debe identificar el estado fenológico de cada flor de duraznero en la vareta. Este estado se clasificará como *flor abierta*, *flor cerrada*, *flor sinpetalos*, *incierto*.
- d) El algoritmo debe determinar la cantidad de flores por centímetro de vareta.
- e) El sistema debe entregar como resultado un archivo en formato CSV con los datos detectados por el algoritmo y una imagen donde se puedan visualizar las detecciones.
- f) El sistema debe funcionar en una computadora local.

2. Requerimientos de diseño e implementación

- a) El diseño debe ser modular.
- b) El algoritmo se elaborará en una notebook de Google Colab, utilizando el lenguaje de programación Python y bibliotecas de IA correspondientes.

3. Requerimiento de evaluación y prueba

- a) El modelo se evaluará con imágenes provenientes del mismo dataset de imágenes entregado por el cliente.
- b) La métrica que se utilizará para la evaluación del modelo de detección será *mean average precision* (mAP) y para el clasificador se tomarán en cuenta las métricas *accuracy*, *precision* y *recall*.

4. Requerimientos de documentación

- a) El funcionamiento del sistema debe estar correctamente explicado y documentado.
- b) El código estará correctamente comentado como parte de buenas prácticas del desarrollo de software.
- c) Inclusión de documentación en un repositorio, mediante un archivo README.md (opcional).

1.4. Objetivo y alcances

El objetivo de este trabajo es desarrollar un algoritmo que permita automatizar la toma de datos de las flores de duraznero a través de fotos de varetas.

El presente trabajo incluye:

- El preprocesamiento de las fotos para entrenar el modelo.
- La selección del modelo a entrenar.
- La elaboración del notebook de pruebas en Python.
- La implementación local del modelo.

El trabajo no incluye:

- La recolección de datos/fotos.
- La integración con otros modelos que utilice el cliente.

1.5. Estado del arte

El presente trabajo contiene distintos algoritmos que, integrados, logran tomar los datos deseados. Es por este motivo que para determinar el estado del arte es necesario desglosar cada algoritmo y evaluarlo individualmente como se hace a continuación.

1.5.1. Medición de la vareta

En la actualidad, se han desarrollado algoritmos que pueden determinar el tamaño de distintos objetos a través de imágenes usando visión por computadora. Muchos parten de encontrar un objeto de referencia al que se le conocen sus dimensiones (alto y ancho). Este objeto de referencia, normalmente se selecciona por ser fácil de detectar, por conocer sus dimensiones y por ser un objeto único. El procedimiento habitual para su detección, es pasar la imagen a escala de grises, aplicar filtros gaussianos para eliminar el ruido, utilizar detección de bordes y por último utilizar detección de contornos, tal y como se realiza en el trabajo [3]. Cabe destacar que usualmente el fondo es de un color blanco lo que facilita la detección.

En el presente trabajo se tienen imágenes con fondos de color naranja en su mayoría, el objeto de referencia a veces se encuentra ocluido, las imágenes se encuentran en horizontal o vertical, el objeto de referencia no siempre tiene la misma posición, etc. Por estos motivos, se utilizó un método de detección más complejo con un modelo de detección de objetos que se conoce como *YOLOv8* y se considera el estado del arte a la fecha.

1.5.2. Detección de los estados fenológicos de la flor de duraznero

La detección de flores ha sido estudiada con diferentes enfoques y arquitecturas de *deep learning*, como por ejemplo el estudio [4] que exploró la viabilidad de detección de estados fenológicos de las rosas con técnicas del contraste del color y comparando con el modelo de detección *Faster-RCNN*. Sin embargo, no utilizó

ninguna arquitectura de una etapa para la detección, lo que podría ser más eficiente. Por otro lado, se tienen trabajos que sí utilizaron la arquitectura de una etapa, en específico de *YOLO* en sus versiones 4 y 5 como se presenta en [5] [6], pero su enfoque fue basado para las flores de kiwi.

La presente memoria busca en particular los estado fenológicos de la flor de duraznero utilizando y comparando dos modelos de detección, donde el primero tiene una arquitectura de dos etapas y el segundo tiene una arquitectura de una etapa. El detector de una etapa sería la arquitectura de *YOLO* en su version 8, la cual se propuso para la realización efectiva y eficiente de esta tarea, además de representar el estado del arte en la actualidad.

1.5.3. Conteo de flores

El conteo de objetos en imágenes a través de visión por computadora es otro campo que ha sido altamente estudiado y tiene muchos enfoques tanto simples como complejos. De esta forma, se expone el caso [7], donde, se hace uso de redes convolucionales para predecir mapas de densidad que permiten hacer un conteo preciso de objetos en imágenes de alta densidad. Así como también se tiene el trabajo [8] que utiliza *transformers* con el mismo propósito.

Por otro lado, este trabajo propone una combinación entre el uso del modelo de detección de objetos y métodos de visión por computadora tradicionales para el conteo de las flores de duraznero.

Capítulo 2

Introducción específica

Todos los capítulos deben comenzar con un breve párrafo introductorio que indique cuál es el contenido que se encontrará al leerlo. La redacción sobre el contenido de la memoria debe hacerse en presente y todo lo referido al proyecto en pasado, siempre de modo impersonal.

2.1. Estilo y convenciones

2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones

Si en el texto se hace alusión a diferentes partes del trabajo referirse a ellas como capítulo, sección o subsección según corresponda. Por ejemplo: “En el capítulo **1** se explica tal cosa”, o “En la sección **2.1** se presenta lo que sea”, o “En la subsección **2.1.2** se discute otra cosa”.

Cuando se quiere poner una lista tabulada, se hace así:

- Este es el primer elemento de la lista.
- Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

Si se desea poner una lista numerada el formato es este:

1. Este es el primer elemento de la lista.
2. Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

2.1.2. Este es el título de una subsección

Se recomienda no utilizar **texto en negritas** en ningún párrafo, ni tampoco texto subrayado. En cambio sí se debe utilizar *texto en itálicas* para palabras en un idioma extranjero, al menos la primera vez que aparecen en el texto. En el caso de palabras que estamos inventando se deben utilizar “comillas”, así como también para citas textuales. Por ejemplo, un *digital filter* es una especie de “selector” que permite separar ciertos componentes armónicos en particular.

La escritura debe ser impersonal. Por ejemplo, no utilizar “el diseño del firmware lo hice de acuerdo con tal principio”, sino “el firmware fue diseñado utilizando tal principio”.

El trabajo es algo que al momento de escribir la memoria se supone que ya está concluido, entonces todo lo que se refiera a hacer el trabajo se narra en tiempo pasado, porque es algo que ya ocurrió. Por ejemplo, "se diseñó el firmware empleando la técnica de test driven development".

En cambio, la memoria es algo que está vivo cada vez que el lector la lee. Por eso transcurre siempre en tiempo presente, como por ejemplo:

"En el presente capítulo se da una visión global sobre las distintas pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Se explica el modo en que fueron llevados a cabo los test unitarios y las pruebas del sistema".

Se recomienda no utilizar una sección de glosario sino colocar la descripción de las abreviaturas como parte del mismo cuerpo del texto. Por ejemplo, RTOS (*Real Time Operating System*, Sistema Operativo de Tiempo Real) o en caso de considerarlo apropiado mediante notas a pie de página.

Si se desea indicar alguna página web utilizar el siguiente formato de referencias bibliográficas, dónde las referencias se detallan en la sección de bibliografía de la memoria, utilizando el formato establecido por IEEE en [9]. Por ejemplo, "el presente trabajo se basa en la plataforma EDU-CIAA-NXP [10], la cual...".

2.1.3. Figuras

Al insertar figuras en la memoria se deben considerar determinadas pautas. Para empezar, usar siempre tipografía claramente legible. Luego, tener claro que **es incorrecto** escribir por ejemplo esto: "El diseño elegido es un cuadrado, como se ve en la siguiente figura:"



La forma correcta de utilizar una figura es con referencias cruzadas, por ejemplo: "Se eligió utilizar un cuadrado azul para el logo, como puede observarse en la figura 2.1".



FIGURA 2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.

El texto de las figuras debe estar siempre en español, excepto que se decida reproducir una figura original tomada de alguna referencia. En ese caso la referencia de la cual se tomó la figura debe ser indicada en el epígrafe de la figura e incluida como una nota al pie, como se ilustra en la figura 2.2.

FIGURA 2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador¹.

La figura y el epígrafe deben conformar una unidad cuyo significado principal pueda ser comprendido por el lector sin necesidad de leer el cuerpo central de la memoria. Para eso es necesario que el epígrafe sea todo lo detallado que corresponda y si en la figura se utilizan abreviaturas entonces aclarar su significado en el epígrafe o en la misma figura.



FIGURA 2.3. ¿Por qué de pronto aparece esta figura?

Nunca colocar una figura en el documento antes de hacer la primera referencia a ella, como se ilustra con la figura 2.3, porque sino el lector no comprenderá por qué de pronto aparece la figura en el documento, lo que distraerá su atención.

Otra posibilidad es utilizar el entorno *subfigure* para incluir más de una figura, como se puede ver en la figura 2.4. Notar que se pueden referenciar también las figuras internas individualmente de esta manera: 2.4a, 2.4b y 2.4c.



(A) Un caption.



(B) Otro.



(C) Y otro más.

FIGURA 2.4. Tres gráficos simples

El código para generar las imágenes se encuentra disponible para su reutilización en el archivo **Chapter2.tex**.

2.1.4. Tablas

Para las tablas utilizar el mismo formato que para las figuras, sólo que el epígrafe se debe colocar arriba de la tabla, como se ilustra en la tabla 2.1. Observar que sólo algunas filas van con líneas visibles y notar el uso de las negritas para los encabezados. La referencia se logra utilizando el comando `\ref{<label>}` donde label debe estar definida dentro del entorno de la tabla.

¹Imagen tomada de <https://goo.gl/images/i7C70w>

```

\begin{table}[h]
\centering
\caption[caption corto]{caption largo más descriptivo}
\begin{tabular}{l c c}
\toprule
\textbf{Especie} & \textbf{Tamaño} & \textbf{Valor}\\
\midrule
Amphiprion Ocellaris & 10 cm & \$ 6.000 \\
Hepatus Blue Tang & 15 cm & \$ 7.000 \\
Zebrasoma Xanthurus & 12 cm & \$ 6.800 \\
\bottomrule
\hline
\end{tabular}
\label{tab:peces}
\end{table}

```

TABLA 2.1. caption largo más descriptivo

Especie	Tamaño	Valor
Amphiprion Ocellaris	10 cm	\$ 6.000
Hepatus Blue Tang	15 cm	\$ 7.000
Zebrasoma Xanthurus	12 cm	\$ 6.800

En cada capítulo se debe reiniciar el número de conteo de las figuras y las tablas, por ejemplo, figura 2.1 o tabla 2.1, pero no se debe reiniciar el conteo en cada sección. Por suerte la plantilla se encarga de esto por nosotros.

2.1.5. Ecuaciones

Al insertar ecuaciones en la memoria dentro de un entorno *equation*, éstas se numeran en forma automática y se pueden referir al igual que como se hace con las figuras y tablas, por ejemplo ver la ecuación 2.1.

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left(\frac{d\sigma^2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2 [d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2] \right) \quad (2.1)$$

Es importante tener presente que si bien las ecuaciones pueden ser referidas por su número, también es correcto utilizar los dos puntos, como por ejemplo “la expresión matemática que describe este comportamiento es la siguiente:”

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V(\mathbf{r})\Psi = -i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (2.2)$$

Para generar la ecuación 2.1 se utilizó el siguiente código:

```

\begin{equation}
\label{eq:metric}
ds^2 = c^2 dt^2 \left( \frac{d\sigma^2}{1-k\sigma^2} + \right.
\sigma^2 \left[ d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2 \right] \left. \right)
\end{equation}

```


Y para la ecuación 2.2:

```
\begin{equation}
\label{eq:schrodinger}
\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + V(\mathbf{r})\Psi =
-i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}
\end{equation}
```


Capítulo 3

Diseño e implementación

3.1. Análisis del software

La idea de esta sección es resaltar los problemas encontrados, los criterios utilizados y la justificación de las decisiones que se hayan tomado.

Se puede agregar código o pseudocódigo dentro de un entorno `lstlisting` con el siguiente código:

```
\begin{lstlisting}[caption= "un epígrafe descriptivo"]
las líneas de código irían aquí...
\end{lstlisting}
```

A modo de ejemplo:

```
1 #define MAX_SENSOR_NUMBER 3
2 #define MAX_ALARM_NUMBER 6
3 #define MAX_ACTUATOR_NUMBER 6
4
5 uint32_t sensorValue[MAX_SENSOR_NUMBER];
6 FunctionalState alarmControl[MAX_ALARM_NUMBER]; //ENABLE or DISABLE
7 state_t alarmState[MAX_ALARM_NUMBER]; //ON or OFF
8 state_t actuatorState[MAX_ACTUATOR_NUMBER]; //ON or OFF
9
10 void vControl() {
11
12     initGlobalVariables();
13
14     period = 500 ms;
15
16     while(1) {
17
18         ticks = xTaskGetTickCount();
19
20         updateSensors();
21
22         updateAlarms();
23
24         controlActuators();
25
26         vTaskDelayUntil(&ticks, period);
27     }
28 }
```

CÓDIGO 3.1. Pseudocódigo del lazo principal de control.

Capítulo 4

Ensayos y resultados

4.1. Pruebas funcionales del hardware

La idea de esta sección es explicar cómo se hicieron los ensayos, qué resultados se obtuvieron y analizarlos.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

La idea de esta sección es resaltar cuáles son los principales aportes del trabajo realizado y cómo se podría continuar. Debe ser especialmente breve y concisa. Es buena idea usar un listado para enumerar los logros obtenidos.

Algunas preguntas que pueden servir para completar este capítulo:

- ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los requerimientos?
- ¿Cuán fielmente se pudo seguir la planificación original (cronograma incluido)?
- ¿Se manifestó algunos de los riesgos identificados en la planificación? ¿Fue efectivo el plan de mitigación? ¿Se debió aplicar alguna otra acción no contemplada previamente?
- Si se debieron hacer modificaciones a lo planificado ¿Cuáles fueron las causas y los efectos?
- ¿Qué técnicas resultaron útiles para el desarrollo del proyecto y cuáles no tanto?

5.2. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.

Bibliografía

- [1] Maximiliano Martín Aballay; Natalia Cristina Aguirre; Carla Valeria Filippi; Gabriel Hugo Valentini; Gerardo Sánchez. «Fine-tuning the performance of ddRAD-seq in the peach genome». En: *Scientific Reports* (2021).
- [2] DEBORAH PUEBLA.
lujan-y-tunuyan-las-zonas-mas-afectadas-por-las-heladas-tardias.
<https://www.mendozapost.com/sociedad/lujan-y-tunuyan-las-zonas-mas-afectadas-por-las-heladas-tardias/>. Oct. de 2023. (Visitado 12-10-2023).
- [3] T. Dhikhi; Allagada Naga Suhas; Gosula Ramakanth Reddy; Kanadam Chandu Vardhan. «Measuring Size of an Object using Computer Vision». En: *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)* (2019).
- [4] Jose Luis Osorio Naranjo. «VIABILIDAD IDENTIFICACIÓN DE ESTADOS FENOLOGICOS EN LA ROSA APLICANDO ALGORITMOS DE RECONOCIMIENTO DE IMAGENES». En: *UNIVERSIDAD EAFIT* (2019).
- [5] J. Dhupia; K. Zhao; R. Li; Y. Cui G. Li; L. Fu; C. Gao; W. Fang; G. Zhao; F. Shi. «Multi-class detection of kiwifruit flower and its distribution identification in orchard based on YOLOv5l and euclidean distance». En: *Comput. Electron. Agric.* (2022).
- [6] G. Li; R. Suo; G. Zhao; C. Gao; L. Fu; F. Shi; J. Dhupia; R. Li; Y. Cui. «Real-time detection of kiwifruit flower and bud simultaneously in orchard using YOLOv4 for robotic pollination». En: *Comput. Electron. Agric.* (2022).
- [7] D. Oñoro-Rubio; R.J. López-Sastre. «Towards perspective-free object counting with deep learning». En: *Computer Vision ECCV 2016, Springer International Publishing* (2016).
- [8] Y. Tian; X. Chu; H. Wang. «Cctrans: simplifying and improving crowd counting with transformer». En: *Computer Vision and Pattern Recognition (cs.CV)* (2021).
- [9] IEEE. *IEEE Citation Reference*. 1.^a ed. IEEE Publications, 2016. URL: <http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf> (visitado 26-09-2016).
- [10] Proyecto CIAA. *Computadora Industrial Abierta Argentina*. Visitado el 2016-06-25. 2014. URL: <http://proyecto-ciaa.com.ar/devwiki/doku.php?id=start>.