

## Laboratorio Autocontenido de Hidroponía 4.0

Agustín Mattei <sup>1</sup>, Matía Orué <sup>2</sup> y María Laura Caliusco <sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Grupo de Investigación GIEDI – UTN Facultad Regional Santa Fe Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina- [amattei@frsf.utn.edu.ar](mailto:amattei@frsf.utn.edu.ar), [morue@frsf.utn.edu.ar](mailto:morue@frsf.utn.edu.ar).

<sup>3</sup> Centro de Investigación CIDISI - UTN Facultad Regional Santa Fe Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina- [mcaliusco@frsf.utn.edu.ar](mailto:mcaliusco@frsf.utn.edu.ar).

### RESUMEN

La hidroponía es el método de cultivo con ausencia de suelos, es decir, las plantas crecen en diferentes sustratos o incluso sólo sobre una película de agua. Esta técnica se está utilizando para el cultivo de hortalizas y verduras ya que el rendimiento de los cultivos hidropónicos puede duplicar o más los de los cultivos de suelo.

Los avances tecnológicos aplicados al control y ejecución de procesos han hecho de la automatización del cultivo hidropónico una realidad que ha permitido la incorporación de este tipo de método en diferentes industrias como la farmacéutica. Dichas industrias están interesadas en cultivar con sistemas hidropónicos plantas medicinales para fabricar medicamentos para el tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas. El desafío existente actualmente es que la cosecha de este tipo de plantas se realiza en su estado silvestre, por lo cual se da en la mayoría de los casos por recolección artesanal. Por lo tanto, la información disponible sobre producción hidropónica para estos insumos vegetales es aún escasa.

Con el advenimiento de la Industria 4.0 y el concepto de digitalización que incorpora, se puede ir más allá del control del proceso de hidroponía para digitalizar información necesaria que permita vincular parámetros de la calidad de una planta con los factores ambientales que se consideran prioritarios en el proceso de cultivo.

Este trabajo presenta el diseño e implementación de una unidad autocontenida, basada en tecnologías de la Industria 4.0, para realizar ensayos de procesos hidropónicos, registrando y procesando información interviniente en la totalidad de factores decisivos para el crecimiento de las plantas, buscando resultados que optimicen y estandaricen su proceso de cultivo. Así, utilizando estas unidades autocontenidas se podrá llegar a la definición de los valores adecuados para los diferentes parámetros controlados, como la luz, la humedad, la temperatura y el caudal de agua, para el cultivo de plantas de interés para las industrias farmacéuticas.

**Palabras Clave:** Hidroponía, Industria 4.0, Laboratorio autocontenido, plantas medicinales.



## 1. INTRODUCCIÓN

La hidroponía es un sistema de cultivo que hace crecer las plantas en una solución de agua con nutrientes. En esta técnica las raíces se sumergen en la solución nutritiva, la cual presenta los macronutrientes y micronutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo [1]. Entre muchos métodos de crecimiento de plantas, los sistemas hidropónicos artificiales son ampliamente utilizados ya que permiten un manejo más fácil de las plantas y una mejor reproducibilidad con un bajo daño a las raíces y una menor absorción de metabolitos [2].

Durante los últimos años se han realizado muchos avances en lo que respecta al diseño e implementación de sistemas hidropónicos automatizados [3]. Esto se debe principalmente a que estos tipos de sistemas tienen la ventaja de proporcionar un gran rendimiento, alta eficiencia y no requieren mano de obra especializada. Además, las tareas que se llevan a cabo en un sistema hidropónico se pueden automatizar fácilmente [4].

La creciente demanda de alimentos, tanto en cantidad como en calidad, ha hecho que los sistemas hidropónicos automatizados sean ampliamente utilizados como método agrícola [5]. Sin embargo, hay un interés particular por las industrias farmacéuticas en cultivar con sistemas hidropónicos plantas medicinales para fabricar diferentes tipos de medicamentos [6]. Uno de ellos es aquellos para el tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas. Las plantas que se usan para esta clase de medicamentos son plantas silvestres y, por lo tanto, la información disponible sobre producción hidropónica para estos insumos vegetales es aún escasa.

Con el surgimiento de la Industria 4.0 se ha introducido en diferentes sistemas el concepto de digitalización, el cual refiere a la conversión de datos de sensores adquiridos del mundo físico en sus modelos digitales que ofrecen oportunidades invaluable para la predicción y optimización de las operaciones de fabricación [7]. Teniendo esto en mente, se puede ir más allá del control del proceso de hidroponía para digitalizar información necesaria que permita vincular parámetros de la calidad de una planta con parámetros del ambiente que se controlan en un proceso automatizado de hidroponía. Esto permite poder tener un cúmulo importante de información que luego pueda ser procesada por diferentes algoritmos para encontrar las relaciones entre diferentes parámetros del cultivo hidropónico y la calidad de la planta, abordando así el problema planteado anteriormente.

El objetivo de este trabajo es presentar el diseño e implementación de una “unidad autocontenida” basada en tecnologías de la Industria 4.0, para realizar ensayos de procesos hidropónicos, registrando y procesando información interviniente en la totalidad de factores decisivos para el crecimiento de las plantas medicinales, buscando resultados que optimicen y estandaricen su proceso de cultivo. Así, utilizando estas unidades autocontenidas se podrá llegar a la definición de los valores adecuados para los diferentes parámetros controlados, como la luz, la humedad, la temperatura, el caudal y características fisicoquímicas del agua, concentración de nutrientes, para el cultivo de plantas de interés para las industrias farmacéuticas.

Para cumplir con el objetivo planteado anteriormente, el presente trabajo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se analiza el sistema hidropónico a utilizar, en la Sección 3 se introducen los conceptos principales de la Industria 4.0, en la Sección 4 se presenta el diseño e implementación del Laboratorio Autocontenido de Hidroponía 4.0 y finalmente, en la Sección 5 se discuten las conclusiones y trabajos futuros.

## 2. HIDROPONÍA DE PLANTAS MEDICINALES

La hidroponía es una técnica de cultivo en la que no se utiliza suelo, los nutrientes que necesita la planta para crecer son provistos a través de un flujo de agua. Las ventajas de esta modalidad de cultivo son reducción del requerimiento de espacio, higiene de los cultivos, comodidad del trabajador, optimización del uso del agua, producción en sitios donde el recurso de tierra es escaso o es de mala calidad, o donde el clima es muy variado.



Algunas limitaciones de la hidroponía se relacionan con la necesidad de inversión inicial, la mayor necesidad de especialización, la dependencia energética y el requerimiento de agua de buena calidad.

## 2.1. Sistemas hidropónicos

Un sistema hidropónico se refiere a las herramientas y equipos que se empaquetan juntos para cultivar plantas hidropónicamente. Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos que se pueden implementar. A continuación, se describen los sistemas que fueron analizados como alternativas.

- **Sistema “Raíz flotante”:** para el cultivo de hortalizas en la cual las plantas se sostienen por alguna estructura flotante, como placas de telgopor perforadas, mientras sus raíces están sumergidas en una solución nutritiva. El contenedor debe ser opaco para evitar entrada de luz y así estimular el crecimiento de algas que puedan afectar su desarrollo.
- **Sistema “Nutrient Film Technique”:** La técnica NFT involucra el paso de una delgada lámina de solución nutritiva a través de un caño con perforaciones donde se insertan las plantas de hoja. Los caños deben ser opacos para evitar la entrada de luz y de colores claros en el exterior para reducir el calentamiento. La circulación de la solución se controla mediante temporizadores para evitar el arrastre de las plantas, y se recomienda un caudal de 1 a 2 litros/minuto.
- **Cultivo en sustrato:** El sustrato es un material que reemplaza al suelo como sostén de la planta. Puede ser orgánico o inorgánico. La solución nutritiva se aplica a través del riego, generalmente por goteo. Se recomienda lavar el sustrato periódicamente para evitar la acumulación de sales. Ideal para frutillas, pimientos, tomates, etc.

## 2.2. Plantas Medicinales

Una planta medicinal es aquella que se puede utilizar, entera o en parte (hojas, flores, frutos, cortezas, tallos o raíces) para tratar afecciones de personas o animales. Su acción terapéutica es debido a la existencia de unas sustancias químicas denominadas principios activos.

Las plantas medicinales, por su actividad farmacológica, han servido tradicionalmente como remedios para aliviar síntomas o tratar enfermedades. Se pueden preparar como infusiones, cataplasmas, aguas medicinales, aceites medicinales, ungüentos, pomadas, vapores, tinturas, enjuagues o en formas industriales a través de ventas en farmacias como cápsulas o comprimidos. Algunas de las plantas medicinales más conocidas son las que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Ejemplo de plantas medicinales

Planta	Propiedades farmacológicas
MENTA. <i>Mentha rotundifolia</i> .	Se emplea como carminativo, estomacal para digestiones difíciles, para evitar el vómito y protector hepático (colerético).



ESPLIEGO. Lavándul La latifolia.	El aceite esencial tiene propiedades como antibacteriano, antiinflamatorio, antifúngico, antiséptico, antiespasmódico, estimulante moderado y diurético.
HINOJO. Foeniculum vulgare.	Se puede utilizar como carminativa, tónico estomacal y digestiva, favorece la digestión. La raíz es diurética. Estimula la producción de leche en la lactancia materna.
HISOPO. Hyssopus officinalis L.	La esencia, a dosis bajas tiene propiedades antisépticas, como aperitivo para abrir el apetito, para digestiones difíciles y carminativo. Indicado para catarros.
GALEGA. Galega officinalis L.	Como vermífugo, hipoglucemiante y diurético. En infecciones del aparato respiratorio, como diurética. Aumenta la producción de leche en las madres.
LAVADIN. Lavandula hybrida Rev.	Como antiespasmódica, antiséptica, se utiliza en llagas, eczemas, picaduras de insectos, quemaduras, en cefaleas, migrañas y estados depresivos, en la ansiedad, insomnio, relajante muscular en baños.
MEJORANA. Origanum majorana.	En infusión tiene propiedades carminativas, digestivas, evitan la formación de gases, estimulan el apetito, en las estomatitis y en las gastritis.
ROMERO. Rosmarinus officinalis L	El alcohol de romero se utiliza para paliar el dolor y la inflamación en pacientes con artrosis o artritis reumatoides. En el tratamiento de la alopecia como Es estimulante del cuero cabelludo, fortalece el cabello y las uñas.
SALVIA. Salvia lavandulifolia Vahl.	En infusión es comúnmente utilizado para curar las inflamaciones de las encías, de la boca y de la faringe. Es antiséptico y antifúngico.
SIEMPREVIVA AMARILLA. Helychris um stoechas (L.) DC.	Antiflebéptico, en los hematomas y edemas, antiespasmódico, como cicatrizante, antitusivo, anticatarral, como expectorante y mucolítico.

### 2.3. Definición del tipo de sistema hidropónico a utilizar

Dada las características de muchas de las plantas mencionadas, se entiende que el sistema que mejor se adapta es el de tipo NFT, las plantas recibirán los nutrientes a través de un flujo de agua, estos serán aportados en un tanque de mezcla principal, a través del cual se extraerá el agua (circulante por el sistema de cañerías) y donde retornará el excedente. Las plantas reposarán en cestas rellenas con material sustrato en contacto con el fluido nutritivo.

La herramienta a desarrollar necesitará controlar y dejar registro de la totalidad de parámetros intervinientes en el desarrollo de la planta, entre los que se encuentran los referidos al microclima en el que se desarrollan. Esta razón es la que lleva a que el sistema NFT sea de tipo “Indoor”, así se podrá tener control sobre características como irradiancia de luz, temperatura, humedad ambiente, etc.

Se hace notar la variedad de tamaños entre los ejemplares a cultivar, también son diversas sus necesidades, teniendo en cuenta esto y si bien el proyecto está basado en un sistema de tipo NFT con determinadas medidas, se marca la importancia de lograr un diseño fácilmente escalable y personalizable.

## 3. INDUSTRIA 4.0

### 3.1. Conceptos básicos

Industria 4.0 se refiere a la interconexión inteligente de máquinas y procesos para la industria con la ayuda de la tecnología de la información y la comunicación. Como fin último, la arquitectura desarrollada busca dar una



organización y formato a los datos para que sean interoperables en el ecosistema asociado.

Algunas de las características principales son:

- Internet está en todas partes, simple y económico.
- Los activos o “Assets” están digitalizados y conectados en red.
- Los activos se están volviendo cada vez más inteligentes.
- Aplicado inteligentemente, abren un nuevo mundo de servicios expuestos y/o consumidos por sistemas cibernéticos.
- Vincula a todas las partes interesadas de la cadena de suministro y el flujo de valor en procesos comerciales innovadores en un ecosistema digitalizado.
- Los datos y la información de proveedores, clientes y empresas internas se están interconectando.
- Análisis y ciencia de datos que respaldan el proceso de toma de decisiones
- Reconfiguración y flexibilidad tanto a nivel de tecnologías de las operaciones (OT-Operational Technologies) como tecnologías de la información (IT – Information Technologies).
- Colaboración usando Edge/Cloud y otras Tecnologías de la Información y la Comunicación.

### 3.2. Modelo de Arquitectura de Referencia para Industria 4.0 “RAMI4.0”

Para comprender el proceso de digitalización en el contexto del modelo diseñado, es importante seguir los lineamientos generales de la RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industrie 4.0) [8]. La industria 4.0 implica la necesidad de representar y conectar virtualmente objetos o “activos” (assets) En este sentido, el Modelo de Arquitectura de Referencia para Industria 4.0 “RAMI4.0” está destinado a crear reglas de descripción digital de un activo a lo largo de toda su vida útil, desde su desarrollo, producción y uso hasta su disposición, y de los cambios de valor asociados, como así también todos los aspectos relevantes para él. Un componente Industria 4.0 representa virtualmente un activo, usando información estructurada.

RAMI4.0 proporciona una descripción de los elementos principales de un activo utilizando un modelo de niveles que consta de tres ejes (Figura 1).

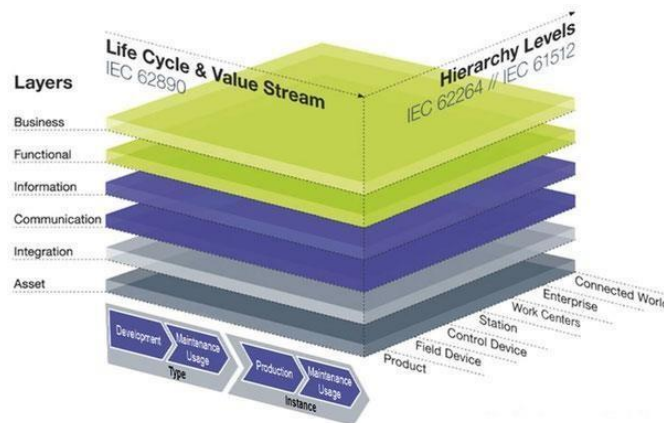


Figura 1: Sistema de coordenadas tridimensional que contiene los aspectos esenciales de Industrie 4.0.

El eje vertical “Capas (Layers)” es el de la arquitectura, con seis capas para describir las propiedades estructurales de un activo o combinación de activos. Para todos los componentes, se considera la funcionalidad de información y comunicación, sus partes constitutivas y estructura. La capa de comunicación se ocupa de los protocolos y la



transmisión de datos y archivos, la capa de información contiene los datos relevantes, la capa funcional todas las funciones necesarias (definidas formalmente) y la capa de negocio mapea los procesos de negocio relevantes.

El eje horizontal izquierdo de la Figura 1, “Ciclo de vida y flujo de valor (Life Cycle & Value Stream)”, permite dar trazabilidad a los activos a lo largo de su ciclo de vida. Este eje se basa en el estándar IEC 62890, Gestión del ciclo de vida de sistemas y productos, utilizados en la medición, control y automatización de procesos industriales.

El eje horizontal derecho se denomina “Niveles de jerarquía (Hierarchy Levels)”, y representa las diferentes jerarquías técnicas y/u organizativas dentro de las fábricas o instalaciones a las cuales se asignan los activos. Este eje se basa en las normas DIN EN 62264, la serie de estándares internacionales para sistemas de control y TI empresariales, y DIN EN 61512-1, que define modelos de referencia para el control de lotes tal como se utilizan en las industrias de procesos y la terminología que ayuda a explicar las relaciones entre estos modelos y términos. Para comenzar a implementar el concepto de Industria 4.0, lo primero que se debe hacer es definir el negocio o “business”, es decir, el propósito de la digitalización, el que guiará luego todo el proceso de digitalización.

#### 4. Diseño e implementación del Laboratorio Autocontenido de Hidroponía 4.0

##### 4.1. Identificación del “business” y los “assets”

En este caso, la propuesta se centra en la digitalización del proceso de crecimiento de plantas medicinales como “business” principal, con el objetivo de estandarizar y optimizar su desarrollo. La principal función de este proceso es obtener valores que permitan, por un lado, optimizar el crecimiento de la planta y por el otro estandarizar los parámetros de cultivo que garanticen la calidad de la materia prima para diferentes tipos de productos farmacéuticos.

Por lo tanto, los “assets” son las plantas cultivadas utilizando hidroponía y los parámetros asociados a su crecimiento, como el fluido nutritivo y el microclima.

Una vez identificados los activos a digitalizar es necesario definir las características que se van a considerar de los mismos. Para determinar qué tipo de información debe ser recolectada se conformó un grupo interdisciplinario de profesionales, esto permitió detallar los puntos de interés, contemplando la viabilidad técnica para dejar registro de sus valores. De modo tal que se divide la información en tres conjuntos diferentes basado en los tres activos a digitalizar del sistema hidropónico: el microclima, el fluido nutritivo y las características del cultivo (Tabla 2).

Tabla 2. Familias de información

Microclima	Fluido nutritivo	Cultivo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura ambiente [°C].</li> <li>• Humedad ambiente [%].</li> <li>• Ciclos lumínicos/ irradiancia lumínica [W/m<sup>2</sup>]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad [mS/cm] y cantidad de agua consumida por el cultivo [L/h]</li> <li>• Tipo y cantidad de aditivos incorporados al agua [ppm]</li> <li>• Caudal de fluido nutritivo [L/h].</li> <li>• Descripción física del fluido (temperatura [°C] y velocidad [L/h])</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de cultivo.</li> <li>• Tiempo de crecimiento [días]</li> <li>• Retroalimentación de calidad final del cultivo.</li> </ul>



#### 4.2. Identificación de componentes para digitalizar.

Como la premisa fundamental de este trabajo no es sólo realizar el control automático del proceso, sino la digitalización de los datos y procesarlos en tiempo real para alimentar modelos que den información para la toma de decisiones precisas e inmediatas, se debe implementar un sistema ciberfísico (CPS) con la capacidad de comunicar esta información en formatos preestablecidos para el entorno (capas “Integration” y “Communication” de la Figura 1). Existe una serie de componentes de bajo costo que se decidió utilizar para este cometido y que se describen en la Tabla 3. Cabe aclarar que la información referida al cultivo en el modelo de decisión se cargará en forma manual y no automática como la demás información.

Tabla 3. Componentes para captura de información y tipo de información que captura

Microclima	Fluido nutritivo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulo termohigrómetro (humedad relativa y temperatura ambiente).</li> <li>• Relay 12 Vdc Simple Inversor 10A/220Vca</li> <li>• Módulos Led de amplio espectro (control de ciclos lumínicos e irradiancia lumínica).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulo y sensor de PH (calidad de agua)</li> <li>• Caudalímetro 1 A 30 L/min (agua consumida, cantidad de aditivos y velocidad de fluido nutritivo)</li> <li>• Módulo medidor conductímetro (calidad del fluido nutritivo)</li> <li>• Sensor digital temperatura sumergible (temperatura del fluido nutritivo)</li> <li>• Bombas para el control de caudal (fluido nutritivo y aditivos).</li> </ul>

El dispositivo elegido compatible con estos sensores y actuadores (con capacidad de control, procesamiento y comunicación de datos) es la Raspberry Pi. Igualmente, es importante explicar que esta es la parte que aún está en desarrollo, ya que entre las decisiones arquitectónicas está en discusión si finalmente toda la información residirá en la nube, que se tiene prevista establecer en el cluster informático de UTN FRSF (ver Figura 2), o podrá ejercer como servidor la misma Raspberry Pi, basados en el concepto de “Edge computing”; sin embargo la segunda discusión que subyace es tecnológica, ya que se debe evaluar si desarrollar el/los servidores conforme a los protocolos de red para intercambio de datos OPC UA (OPC Unified Architecture) o MQTT (Message Queuing Telemetry Transport).

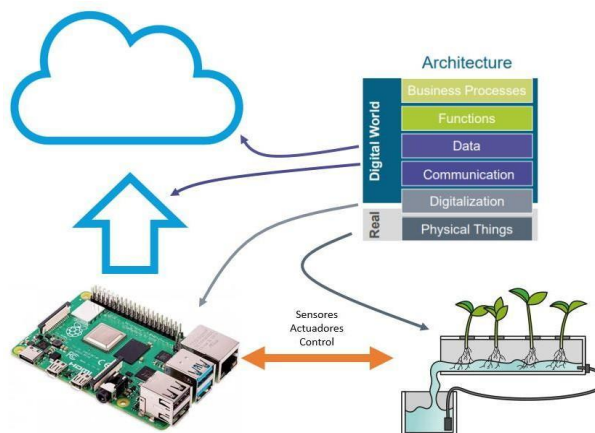


Figura 2: Esquema de recolección de datos, automatización y almacenamiento en la nube.

Los datos recolectados son volcados en la red, lo que abre camino a la implementación de conceptos de Cloud Computing; quitando la necesidad de contar con servidores físicos y haciendo uso de “SaaS” (software as a service) lo que implica una ventaja económica y competitiva: contar con los datos en las nubes permite tener una arquitectura fácilmente escalable a las necesidades y abre nuevos horizontes comerciales, datos disponibles para distintos actores de las cadenas productiva.

A su vez, en el procesamiento de datos, entra en juego la aplicación de técnicas referidas a la “Ciencia de Datos” y se deberá evaluar si las técnicas de programación tradicionales bastarán para obtener conclusiones relevantes. La estrategia de aplicación de diferentes técnicas de análisis de datos para arribar a definir las relaciones entre las variables recolectadas queda fuera del alcance de este trabajo.

### 4.3. Diseño y resultado

Definida la arquitectura del prototipo, se pretende lograr un diseño fácilmente escalable y personalizable; por lo que toma un rol importante el uso de programas de diseño paramétrico, que faciliten realizar cambios en el modelo. La implementación de este tipo de tecnologías permite generar una representación digital exacta (Digital Twin) tanto en características relevadas, como en modelos de comportamiento (que pueden ser alimentados en tiempo real); esto no sólo facilita realizar modificaciones, sino que también permite evaluar las respuestas dinámicas antes de su fabricación y dejar registros de los cambios en su etapa de prototipado. La etapa de diseño fue llevada a cabo por medio de SOLIDWORKS, que es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. Se eligió este software, ya que abre un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del prototipo, ofreciendo la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño, y rediseñar fácilmente ante cualquier cambio. Este software ha permitido contar con un tipo de gemelo digital, conocido como “digital shadow”, del prototipo desarrollado, y sus características paramétricas permitieron ejecutar y evaluar cambios decisivos para un diseño óptimo.

En la etapa de desarrollo de la estructura y envolvente, se decidió avanzar sobre un gabinete metálico con puertas rebatibles, capaz de contener la totalidad de componentes y de conservar las condiciones del microclima en su interior.

La totalidad del cuerpo ha sido diseñado para ser fabricado con chapa metálica plegada revestido con pintura epóxica (Figura 3 a).



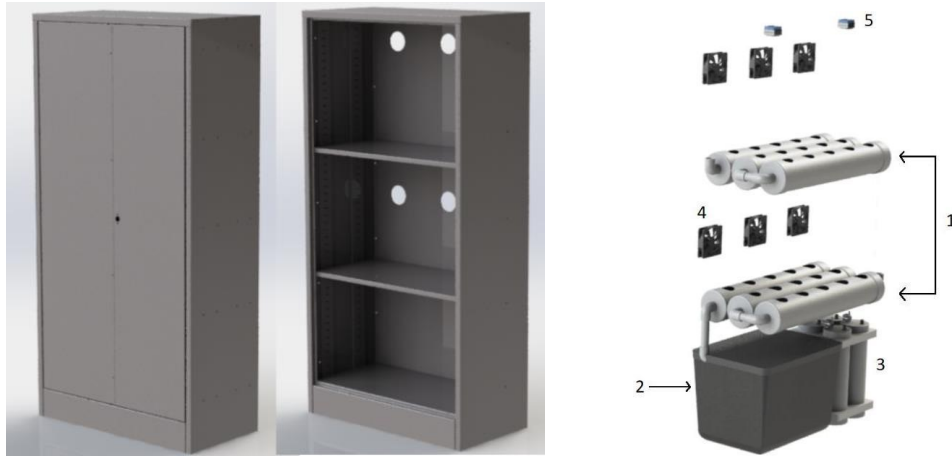


Figura 3: (a) Diseño de la estructura envolvente del sistema. (b) Subsistemas del proceso.

El cuerpo está diseñado para soportar dos “estantes hidropónicos”, a su vez, las medidas adoptadas son estándar en armarios metálicos industriales. En el interior del cuerpo se encuentran los diferentes subsistemas (Figura 3 b) encargados de llevar a cabo el proceso:

- El sistema hidropónico tipo NFT, queda conformado por los ítems 1, 2 y 3.
- El flujo de agua es canalizado por caños de PVC (ítem 1), en donde a su vez reposarán las macetas hidropónicas.
- El fluido nutritivo es almacenado y preparado en el “recipiente principal” (ítem 2). En su interior se encuentra alojada la bomba “Bomba principal” sumergible.
- El sistema cuenta con un subconjunto denominado “Control de Aditivos” (ítem 3), éste tiene por función, aportar y sensor los aditivos que son diluidos en solución acuosa en el tanque principal. Cuenta con 4 recipientes: sales nutritivas de tipo A y B y 2 cuerpos más para control de PH (control ácido y básico). Cada recipiente tiene control de caudal y nivel, componentes definidos en la Tabla 3.
- El sistema de iluminación queda conformado por un conjunto 4 módulos led full espectro mediante los cuales se pretende simular diferentes condiciones de irradiancia lumínica (ítem 5).
- El sistema de control de temperatura del microclima está compuesto por 10 coolers de los cuales 6 producen la ventilación forzada de los cultivos y 4 la refrigeración de los módulos LED.

A continuación, se puede ver el contraste entre el diseño y el resultado obtenido (Figura 4):



Figura 4: (a) Diseño del sistema. (b) Sistema real.

#### 4. CONCLUSIONES

Se logró el diseño de un prototipo que sienta las bases para la creación de una herramienta para digitalización del proceso de cultivo de plantas medicinales por métodos hidropónicos, utilizando componentes compatibles con la industria 4.0 y haciendo uso de las tecnologías que son tomadas como pilares en estos procesos.

Se destaca la versatilidad del sistema, capaz de contener cualquier tipo de cultivo hidropónico, totalmente customizable, con la aptitud de generar información útil para la totalidad de actores presentes en la cadena productiva de productos medicinales.

Una vez ajustadas las características del proceso conforme al eje de “Ciclo de Vida”, este podrá ingresar en la etapa de “Instance”, donde el sistema será potencialmente capaz de producir de forma continua; como por ejemplo: una empresa farmacéutica que cultive plantas medicinales con características organolépticas y fisicoquímicas particulares, podrá optimizar y estandarizar sus procesos productivos ajustando la parametrización de dicho sistema, a vez, contará con información del comportamiento de los aditivos utilizados y cómo afectan el crecimiento del cultivo, todo disponible en la red, con datos fácilmente comunicables e interoperables. Por otra parte, esta información podría ser de utilidad para los productores de aditivos, ya sea para generar nuevos productos, u optimizar los procesos productivos propios.

Poder crear condiciones y escenarios específicos en el microclima y la alimentación de los cultivos, dejando registro de ello, brinda un cúmulo de información para evaluar el desempeño de todo tipo de planta en diferentes condiciones, generando gran cantidad de modelos a partir de ello, y así obtener gemelos digitales que puedan ser puestos a prueba, sin la necesidad de invertir tiempo y dinero en experimentos reales.

Este prototipo, deja a las claras, que es una herramienta útil no sólo para cultivo de plantas medicinales sino para todo tipo de plantas que sean susceptibles de ser cultivadas mediante el método de hidroponía, de modo tal que facilite la tarea de laboratorios relacionados al cultivo de plantas en términos generales. Como trabajo futuro se avanzará en el diseño e implementación de la arquitectura de captura de información y un sistema para gestionar los datos recolectados.

#### Agradecimientos.

Los autores agradecen al soporte financiero recibido por la Maestría Binacional en “Informática Industrial – Mención Sistemas Físico Cibernéticos Industriales” en el marco del programa binacional CUA-DAHZ entre la UTN-Facultad Regional Santa Fe (Argentina) y la Universidad de Emden/Leer (Alemania).



## REFERENCIAS

- [1] Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S., Terzano, R. y Cesco, S. *Hydroponic solutions for soilless production systems: issues and opportunities in a smart agriculture perspective*. *Frontier Plant Science*, 10, pp.923, 2019.
- [2] Jung Eek Son, Hak Jin Kim, Tae In Ahn, *Chapter 20 - Hydroponic systems*, Editor(s): Toyoki Kozai, Genhua Niu, Michiko Takagaki, *Plant Factory (Second Edition)*, Academic Press, pp. 273-283, 2020.
- [3] Modu, F., Adam, A., Aliyu, F., Mabu, A., Alhaji Musa, M. *A Survey of Smart Hydroponic Systems*. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 5. pp. 233 - 248, 2020.
- [4] Rajeswari, A., Saipriya, S. *A survey on Hydroponic methods of smart farming and its effectiveness in reducing pesticide usage*. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 119, no. 12, pp. 1503-1510, 2018.
- [5] Thakur, P., Malhotra, M. *Role of IOT in Automated Hydroponic System: A Review*. En: Dutta, P., Chakrabarti, S., Bhattacharya, A., Dutta, S., Piuri, V. (eds) *Emerging Technologies in Data Mining and Information Security*. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 491. Springer, Singapore, 2023.
- [6] Atherton, H, Li, P. *Hydroponic Cultivation of Medicinal Plants—Plant Organs and Hydroponic Systems: Techniques and Trends*. *Horticulturae*. 9. 349, 2023.
- [7] Morteza Ghobakhloo, M. *Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability*, *Journal of Cleaner Production*, Volume 252, 2020.
- [8] Deutsches Institut für Normung (2016) “Reference architecture model industrie 4.0 (RAMI4.0)”. Accesibel en: <https://www.en-standard.eu/din-spec-91345-reference-architecture-model-industrie-4-0-rami4-0/>