

## FORMULARIO DE INSCRIPCIÓN, PRESENTACIÓN DE RESUMEN Y TRABAJO COMPLETO

<b>Universidad:</b>	Universidad Nacional de Itapúa
<b>Facultad/Centro/Instituto:</b>	Facultad de Ingeniería
<b>Autor/es:</b>	Vanessa Antonella Garayo Martínez
<b>Título de trabajo:</b>	Software para monitorear el estado hídrico del suelo en ambientes controlados
<b>Núcleo Disciplinario / Comité Académico / Otros temas:</b>	13. Tecnologías de Información y de Comunicación
<b>Email:</b>	<a href="mailto:vanegarayo@gmail.com">vanegarayo@gmail.com</a>
<b>Palabras claves (Máximo 3):</b>	Estrés hídrico, suelo, sensores
<b>Tiene interés en hacer presentación oral de su trabajo? ( )SI (x)NO</b> <b>*Esta preferencia está sujeta a cambio en función de disponibilidad.</b>	

### RESUMEN

El agua es indispensable para las plantas, e incide directamente en el rendimiento de la producción agrícola, por tanto, es necesario conocer la cantidad adecuada para el desarrollo óptimo. El objetivo del trabajo fue desarrollar un software que interactúe con un dispositivo electrónico para monitorear el estado hídrico del suelo como prevención del estrés hídrico en ambientes controlados. Para determinar el nivel del agua, se utilizó sensores que indican el nivel de humedad y se llevó un registro de los niveles de humedad con diferentes tipos de cultivos y en diferentes tipos de suelo. Conociendo estas variables fue posible saber si la planta podría estar en los límites de sufrir estrés hídrico o si posee un buen nivel de humedad. La aplicación desarrollada se comunica a un dispositivo electrónico que gestiona las lecturas del estado del suelo. Se mantiene un historial de los cultivos monitoreados, del estado hídrico del suelo y el clima (temperatura y humedad) en el cual se produjeron estas lecturas. Se alerta al usuario mediante mensajes y sonidos de manera a evitar el estrés y el marchitamiento del cultivo. Por medio de un monitoreo de los cultivos resulta más eficaz saber qué cantidad de agua necesita la planta, sin sobrepasar sus necesidades. Identificar cuando el cultivo necesita agua permite ahorrarla y reduce el tiempo que el usuario dedica al control, augurando el crecimiento óptimo.

## Introducción

La producción agrícola constituye una de las principales actividades económicas del Paraguay.

Existen variedad de cultivos aptos para nuestro tipo de suelo, pero en algunas regiones se requiere mayor cuidado, más nutrientes y agua.

Para asegurar un crecimiento óptimo de los cultivos el suelo debe poseer suficiente cantidad de agua, de manera a satisfacer la demanda de la planta. De no ser así, el cultivo podría estar expuesto a sufrir estrés hídrico, afectando la producción total.

Controlar las variables que condicionan el ciclo de producción de un cultivo, entre ellos la humedad del suelo favorece a una mejor rentabilidad por lo que en ello radica su importancia.

Actualmente los ingenieros agrónomos realizan estudios especializados del suelo, monitoreando los cultivos, de manera a evaluar a la planta frente al fenómeno de “estrés”.

Conocer el momento apto para el regadío implica estar pendiente del cultivo, por lo que monitorear la humedad del suelo en momentos claves del día es una tarea muy conveniente.

Para conocer el nivel de agua, se utilizan sensores que indican el nivel de humedad. Conociendo este parámetro es posible saber si la planta podría estar en los límites de sufrir estrés hídrico, el cual se produce por exceso o escasez de agua.

Existe en el mercado equipos que indican sobre el nivel de humedad del suelo, sin embargo, no dan mayor información. También existe software que programan el riego de un cultivo.

Con este trabajo se pretende monitorear cultivos en ambientes controlados; ya sean invernaderos o huertas, así como también pequeñas porciones de tierra, a través de un dispositivo que obtenga los datos del suelo mediante sensores y se comunique a una aplicación que analice estos datos e informe si el cultivo necesita regarse o se encuentra con un buen balance hídrico.

Conocer el nivel hídrico de los cultivos trae consigo beneficios tanto para el productor como así también para el medio ambiente. El productor obtendrá mayor calidad en sus productos y el uso moderado y racional del agua contribuirá a un ahorro notable.

Actualmente no se cuenta con un mecanismo de monitoreo del nivel de humedad del suelo en el cual interactúen software y hardware que informe al productor si su cultivo está con un buen nivel hídrico o está sufriendo estrés.

## Objetivos

El objetivo principal fue desarrollar un software que interactúe con un dispositivo electrónico para monitorear el estado del suelo como prevención del estrés hídrico de cultivos en ambientes controlados.

Los objetivos específicos fueron:

- Establecer las variables elementales que intervienen en la toma de decisión de riego.
- Implementar un dispositivo electrónico con sensores que interactúe con un software, para medir la humedad del suelo.
- Diseñar un método de alerta cuando el estado se acerque a los índices de estrés hídrico.
- Establecer el mecanismo de comunicación entre el medio físico y el software

## Materiales y Métodos

La solución que se propone es un software para monitorear el nivel de humedad del suelo como prevención del estrés hídrico de los cultivos en ambientes controlados, ya sea invernaderos, huertas o pequeños cultivos a través de un dispositivo electrónico que obtenga los datos del suelo mediante sensores.

Es de suma importancia saber el momento en el cual regar el suelo, de manera a que el cultivo tenga a disposición siempre el agua que necesita.

Para conocer el estado del suelo, específicamente el nivel de agua, se necesitó conocer el nivel de humedad. Al conocer este parámetro es posible saber si la planta puede estar en los límites de sufrir estrés hídrico, el cual se produce por exceso o escasez de agua, de manera a poder evitarlo.

Los estudios agronómicos sobre el suelo establecen valores del agua en el suelo de manera a monitorear sus necesidades hídricas, entre ellas la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y un umbral de humedad que se conoce como déficit de humedad de admisible. Dependiendo de cada tipo de suelo estos valores van variando, así como también, dependiendo del tipo de cultivo.

Al tener en cuenta el análisis de los textos bibliográficos se determinaron las siguientes variables para la toma de decisiones.

Para determinar si el nivel de humedad es el adecuado para el cultivo se delimitan niveles máximos y mínimos de manera a alertar cuando esté próximo a sufrir estrés hídrico.

La capacidad de campo (CC) <sup>ii</sup> es el máximo nivel de agua que puede absorber el suelo por lo que es considerado como el referente máximo. El punto de marchitez permanente se produce cuando el suelo ya no puede absorber agua por lo que inminentemente sufre las consecuencias del estrés hídrico. Otra variable que se consideró es el déficit de humedad admisible (DHA) este valor se tuvo como referencia mínima para evitar que el cultivo sufra estrés hídrico.

Al medir la humedad del suelo se comparó con los valores de referencia para conocer el estado hídrico del suelo. Se evaluó varios casos posibles. Si la humedad supera la capacidad de campo el cultivo puede sufrir estrés hídrico. Otro caso es si la humedad llega al punto de marchitez en este caso el cultivo presenta características de mortandad.

Cuando la humedad se acerca a los límites del DHA es posible que el cultivo sufra estrés hídrico por lo que es conveniente regar. En la Figura 1 se muestra

un esquema de agua disponible para la planta luego de un riego. Si la humedad se encuentra dentro del porcentaje de agua útil, el cultivo tiene menos posibilidades de sufrir estrés.

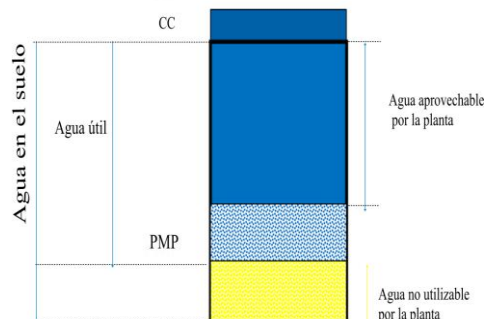


Figura 1 Agua utilizable en programación de riegos

Fuente: (Orgaz Rosúa & Pastor Muñoz Cobos, 2005)

En cada uno de los casos planteados es necesario emitir un mensaje de información o alerta, de manera a poner en conocimiento al productor, de la situación.

En cuanto a la comunicación para la extracción de estos datos se utilizaron varios componentes sensores de humedad de suelo, de temperatura ambiente, placas opensource y otros componentes electrónicos para la conexión de los mismos.

Los sensores están conectados a la placa Arduino, que se conecta al raspberryPi por medio de un puerto serial de manera a intercambiar datos. El raspberryPi posee un módulo WiFi que permite la conexión a internet. En ocasiones donde la comunicación de internet no está disponible se asegura el resguardo de datos de manera local mediante una base de datos sqlite, permitiendo sincronizar estos datos cuando la conexión a internet esté disponible.

La comunicación se concreta a través de un framework Opensource de máquina a máquina llamado Devicehive que implementa la librería Twisted. Este framework posibilita la comunicación de la aplicación, alojado en un hosting, con el dispositivo raspberryPi, a la vez este se comunica con la placa Arduino por puerto serial, obteniendo las lecturas de los sensores. Estas lecturas se

envían por medio de una api al servidor alojado de manera a poder visualizar seguidamente los datos en la aplicación.

El servidor implementa una api desarrollado con Apigility. La comunicación de raspberry con el API se realiza por peticiones rest full permitiendo el manejo y resguardo de los datos en Mysql.

La aplicación se despliega en Angularjs, y se comunica a través de peticiones al API, que gestiona estas peticiones de manera que permita visualizar los datos obtenidos por los sensores.

La aplicación posee formularios para agregar tipos de suelo, cultivos y especificar sus atributos. También dispone de un formulario para el registro , en el cual se especifican los datos más relevantes para identificar al monitoreo respectivo a cada cultivo.

La aplicación solicita el estado del suelo a los sensores, y muestra al usuario los resultados obtenidos. Si el estado del suelo no es el adecuado para el cultivo muestra una alerta al usuario.

## Resultados y Discusión

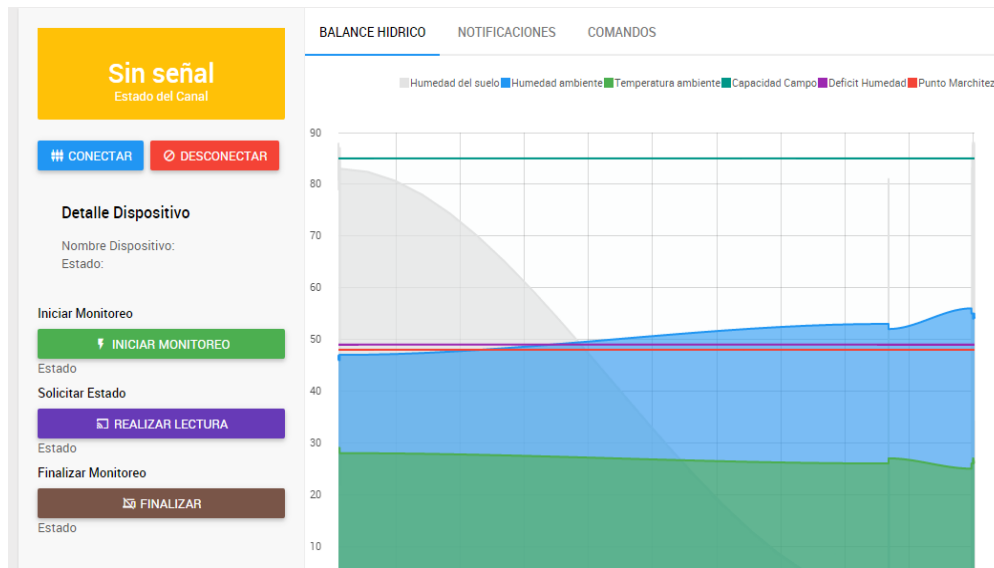
Una vez registrado todos los datos necesarios para el monitoreo, se debe vincularlo al dispositivo de manera a establecer la comunicación entre la aplicación y hardware. Se especifica el identificador del dispositivo, el usuario registrado en el devicehive y la contraseña de acceso de manera a poder lograr la comunicación con todos los permisos que requiere el framework. Los dispositivos son registrados a través de una clave única de manera a poder ser identificado por el Gateway. Primero verificar que el Arduino está conectado al raspberry pi. Seguido se verifica que el modem Wifi esté conectado al raspberry pi. Una vez

que esté todo conectado se enchufa a la fuente de alimentación. Posterior a esto, se escanea todas las redes cercanas de manera a establecer conexión a internet. Una vez que todo este encendido y con conexión a internet, es posible ejecutar devicehive de manera a establecer un canal de comunicación entre los dispositivos y la aplicación. El éxito de todos los procesos se visualiza por medio de los colores azul, amarillo, rojo.

Para obtener una buena lectura de la humedad del suelo hay que verificar que los sensores estén correctamente colocados en el suelo, lo más cercano a las raíces o tallo en el caso que ya sea visible el cultivo. En el caso que aún no exista crecimiento del cultivo colocarlo en el centro o cerca de donde se sembró la semilla. En el listado de monitoreos existen acciones que permite iniciar el monitoreo. Al elegir esta opción se muestra una vista en la cual se dispone de una serie de botones que realizan determinadas acciones.

Para conectar el dispositivo se debe presionar el botón Conectar. En caso de éxito la aplicación muestra un mensaje, si ocurrió algún error o algo que imposibilito la conexión del dispositivo se muestra una notificación de error (Figura 2). Una vez conectado el dispositivo aparecerá el nombre del dispositivo y su estado.

Para la realización de las pruebas de campo se tuvo en cuenta los valores hídricos y la diversidad de tipo de cultivo y de suelo.



Un suelo arenoso de textura fina un coeficiente de 0,67; si es de una textura media es de 0,56 y de textura gruesa es 0,50.

Se realizaron lecturas de humedad cada 10 minutos de manera a visualizar rápidamente los datos. Se evaluó cada lectura y se procedió a regar aquellas plantas que necesitaban agua. En los suelos que fueron regados recientemente se evidenciaba altos valores de humedad.

Se seleccionaron algunos tipos de suelo con las siguientes características observables en los cuadros. Se tomaron 3 recipientes pequeños de 10 cm de diámetro. En uno se colocó arena blanca, en el segundo recipiente tierra abonada, y en el tercero se mezclan ambos tipos de suelo.

Se establecieron los valores de capacidad de campo a 88% de humedad y el cultivo seleccionado fue el tomate con un coeficiente de 1,15. Con estos datos se calcularon los valores hídricos y estos fueron los resultados:

Tipo de Suelo	CC	PMP	AU
<b>Arena (textura gruesa)</b>	88	44	44
<b>Tierra abonada (textura fina)</b>	88	58	30
<b>Arena y tierra (textura media)</b>	88	49	39

Cuadro 1. Cálculo del Punto de Marchitez

Fórmula:  $PMP = coef * CC$ .

Cuadro 2. Cálculo del agua útil

Fórmula:  $AU = CC - PMP$

Tipo de Suelo	CC	coef	PMP
<b>Arena (textura gruesa)</b>	88	0,50	44
<b>Tierra abonada (textura fina)</b>	88	0,67	58
<b>Arena y tierra (textura media)</b>	88	0,56	49

Cuadro 3. Cálculo de Déficit de humedad Admisible Cultivo: TOMATE

Tipo de Suelo	Kc	Z	AU	%	DHA
<b>Arena (textura gruesa)</b>	1,15	0,05	44	2,53	46
<b>Tierra abonada (Textura fina)</b>	1,15	0,05	30	1,725	31
<b>Arena y tierra (textura media)</b>	1,15	0,05	39	2,24	51

Fórmula:  $DHA = Kc * Z * AU$

Con estos valores calculados manualmente se comprobó que el sistema produce los mismo datos de manera a verificar que las fórmulas estén bien.

## Conclusiones

Para este trabajo se desarrolló un software que interactuó con un dispositivo electrónico para monitorear el estado hídrico del suelo como prevención al estrés hídrico en ambientes controlados. La aplicación muestra las lecturas de los sensores y permite realizar seguimiento a los cultivos, informando las lecturas realizadas y los mensajes de alerta.

Para la lectura de los datos se implementó un dispositivo electrónico que maneja sensores, que leen los datos requeridos respondiendo a determinados comandos programados.

Se diseñó un mecanismo de alerta de manera a facilitar al usuario las notificaciones que emite el

sistema así como también cuando el cultivo está al límite de sufrir estrés hídrico.

Para planificar mejor la siembra de los cultivos es importante contar con un historial de los niveles de humedad del suelo y la temperatura a las cuales estuvo expuesto para lo cual es necesario resguardar las lecturas diarias, ya que los índices de humedad recogidos indicarán como en determinadas horas del día la planta absorbe más agua y en cuales conserva su humedad.

Garantizar a las plantas el agua necesaria ayuda a su crecimiento y producción, así como también ayuda a ahorrar agua, utilizando solo aquello que la planta necesita, contribuyendo así a la conservación del agua.

## Agradecimientos

A mi familia por brindarme su tiempo, por ayudarme con mi hija Angie, protegiéndola, mimándola.

A mis docentes, por todos los conocimientos y consejos brindados.

A mi tutor, por sus consejos tan precisos.

A las profes Dra. Elena y Dra. María Teresa Szostak por su tiempo y sus consejos.

A mis compañeros de facultad.

A todos los profesionales Lic. Richard Aguilar y Lic. Johana Lezcano por sus consejos y ayuda en momentos críticos.

Eodos. (2015). PFG – Sensor de humedad FC-28 | Eodos. Retrieved November 6, 2015, from <http://eodos.net/pfg/sensor-de-humedad#.VjzsdTlvfIU>

Medrano, H., & Flexas, J. (2003). Respuesta de las plantas al estrés hídrico. In *La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis* (pp. 253–286). Madrid: Editorial Thompson

<sup>i</sup> Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D. (2006). Evapotranspiración del cultivo. [http://doi.org/ISBN 92-5-304219-2](http://doi.org/ISBN%2092-5-304219-2)

Brouwer, C., Goffeau, A., Heibloem, M. (1985). Irrigation Water Management: Training Manual No. 1 - Introduction to Irrigation. Retrieved November 6, 2015, from <http://www.fao.org/docrep/R4082E/r4082e00.htm#Contents>

Chandrasinh, Thakor; Mahatme, C. (2015). Development of Horizontal IoT Platform using DeviceHive Framework. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 3(5). <http://doi.org/2321-8169>

Almorox Alonso, J. (2007). Capacidad de retención de agua disponible. *OpenCourseWare de La Universidad Politécnica de Madrid*, (cm). Retrieved from <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-9/CAPACIDAD-DE-RETENCION-DE-AGUA-DISPONIBLE.pdf>