

Riego automatizado por Arduino aplicado en la germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*)

Automated irrigation by Arduino applied in the germination of cucumber (*Cucumis sativus*) seeds

Eval Sánchez¹, Paola Ruiloba¹, Luis Morales¹, Erick Sánchez^{2*}

¹Licenciatura en Informática, Facultad de Informática, Universidad Tecnológica Oteima, ²Facultad de Informática, Universidad Tecnológica Oteima

Resumen Se desarrolló una prueba de germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*) en sustrato compostado bajo condiciones de riego no automatizado (T1) vs riego automatizado (T2) con el objetivo de evaluar la eficacia del riego sobre el porcentaje de germinación. El T1 se regó con 1lt de agua en la bandeja diariamente, en el T2 se realizó el riego haciendo uso de un sensor de humedad del suelo para captar la información y mediante programación en Arduino controlar una válvula solenoide que habilita el paso del agua a un sistema de riego por inmersión en las bandejas. Se sembraron cuatrocientas semillas para ambos tratamientos, se observan diferencias de germinación a favor del riego automatizado (T2), se discuten los factores relevantes que condicionan esta primera etapa del establecimiento del cultivo.

Palabras clave Arduino, humedad, riego, sustrato compostado.

Abstract A test was developed to measure the germination of cucumber seeds (*Cucumis sativus*) in substrate under composting conditions, (T1) non-automated irrigation vs automated irrigation (T2) with the objective of evaluating the effectiveness of irrigation on the percentage of germination. The T1 was irrigated with 1lt of water daily. T2 carried out irrigation using a humidity sensor placed in the soil to record the humidity. This information was then transferred to an Arduino which was programmed to control a valve solenoid that enabled the transition of water to an irrigation system by immersion in the trays. Four hundred seeds for both treatments were sown. Differences in germination between T1 and T2 favored the use of automated irrigation (T2), with the relevant factors affecting this first stage of the establishment of the crop being discussed.

Keywords Arduino, moisture, irrigation, composted substrate, irrigation.

* Corresponding author: tecnologia@oteima.ac.pa

1. Introducción

1.1 Alimentos sanos y las huertas de traspatio

La implementación de huertos caseros tiene grandes beneficios para las familias, en algunos casos son económicos, otros ambientales y definitivamente psicológicos en su conjunto que contribuye a la sociedad. Una ventaja fundamental es el poder cultivar alimentos de una manera saludable y autosustentable, las familias pueden desarrollar huertos para cultivar sus propios alimentos y sobre todo cultivar una gran variedad de plantas, esto supone un ahorro significativo en relación a comprar los alimentos y una mayor accesibilidad a los alimentos de calidad.

Para lograr un buen desarrollo en las plantas es necesario un suministro adecuado del agua mediante el riego, entendiéndose por adecuado, evitar la escasez, así como la saturación, esto permitirá un excelente desarrollo de las plantas y una mayor producción. Para ello es necesario el suministro constante según los requerimientos que tengan las plantas.

La germinación requiere agua para activar las enzimas encargadas de este proceso [1]. El agua ayuda a la semilla a que pueda hincharse y suavizarse para permitir que la planta salga.

Para que se dé el proceso de germinación en una planta se necesita de oscuridad, humedad y un riego controlado, ya que es la fase donde la planta requerirá de cuidados especiales para garantizar que su crecimiento sea óptimo y sobre todo pueda ser una planta resistente a plagas y cambios en el medio ambiente. El suministro adecuado de agua juega un papel muy importante, ya que sin agua el proceso de germinación puede comprometerse.

Mediante una encuesta realizada en el corregimiento de San Félix, provincia de Chiriquí, por jóvenes de la localidad, orientada a conocer las limitaciones para la ingesta de alimentos sanos, se determinó, que una de las mayores limitaciones para el cultivo de huertos caseros era la disposición para realizar el riego de los cultivos [2].

El agua es uno de los principales elementos que requieren los cultivos para un excelente desarrollo, por ello se debe procurar que la planta reciba la cantidad de agua requerida. Este es uno de los principales objetivos a lograr durante su cultivo, es por esta razón que se busca implementar una solución tecnológica para un riego adecuado.

1.2 Tecnología de automatización para el control de riego

Ya se han desarrollado soluciones tecnológicas que automatizan el riego de los cultivos, un ejemplo de estas soluciones son los timers, estos son dispositivos que activan el riego mediante una programación basada en el tiempo, pero no consideran factores como la humedad del suelo o la radiación solar al momento del riego. Por este motivo, se debe implementar una solución que pueda considerar información de los factores mencionados y los tome en cuenta al momento de regar los cultivos.

La humedad del sustrato depende de muchas condiciones ambientales y no ambientales. Para poder medir el resultado final de la interacción de estos elementos, se utilizó un sensor de humedad basado en la plataforma Arduino, que tiene como ventaja principal ser de código abierto (Open-Source). Esta plataforma permite un desarrollo libre y con muchos recursos a su disposición, además existe una gran variedad de sensores de fácil acceso sin mayores restricciones de licencias y que funcionan con librerías abiertas a todos los desarrollos.

Ya se han realizado estudios que demuestran que “los sensores de humedad de suelo deben ser calibrados para determinar los valores de humedad que tiene el sustrato donde se va a sembrar la planta” según Sánchez, Ruiloba y Morales [3].

1.3 Riego por inmersión

El riego por inmersión es una alternativa segura para el suministro de humedad durante el proceso de germinación. Consiste en colocar los semilleros en una bandeja e irrigarlos desde abajo, de manera que el sustrato quede humedecido de forma uniforme, esto garantizará que las semillas adquieran la humedad adecuada para su proceso de germinación, evitando que las semillas se muevan de lugar, caso que ocurriría si se regaran con una regadera. Como ventajas, destacan:

- Humedad del sustrato uniforme en todo el semillero.
- El agua se puede reutilizar para volver a regar.
- Las semillas adquieran la humedad necesaria para germinar.
- Las semillas no se mueven de lugar ya que el agua les llega por capilaridad.
- Bajo coste de implementación.

1.4 Sustrato

La producción exitosa de plantas de alta calidad en macetas, recipientes o contenedores requiere de una compensación del ambiente único encontrado en la maceta y como éste es afectado por las propiedades físicas y químicas de los sustratos utilizados, resultando los procesos exacerbados

por el limitado volumen disponible en comparación al suelo en su estado natural [4].

Una planta que crece en el campo, comparada con otra que crece en una maceta, se expone generalmente a un ambiente más estresante y de cambios constantes. Esta dinámica se ejemplifica a continuación:

Una planta en plena actividad de crecimiento puede extraer toda el agua disponible en un recipiente común en uno o dos días[4]:

- Después de un riego, el sustrato se satura desde el fondo del recipiente, y las raíces de esa zona permanecen sin aire.
- No es sino hasta que la planta utiliza suficiente agua, que se crean espacios a ocuparse por aire.
- Al secarse el sustrato, la concentración de sales en la solución de suelo puede aumentar a niveles altos.
- Nutrientes, tales como el nitrógeno y potasio se pierden por absorción de la misma planta y otra parte por lixiviación, pudiendo llegar a ser rápidamente abatidos si no son abastecidos periódicamente.
- Las temperaturas de un sustrato en una maceta, particularmente aquellas de colores oscuros, pueden fluctuar a veces hasta en 30 °C entre el día y la noche.

Con lo antes descrito se visualiza algunos cambios a los cuales son expuestas las raíces de las plantas, sea en sustratos o en el medio natural o suelo. Es aquí donde toma importancia el amortiguar estas fluctuaciones con sistemas automatizados que de manera premeditada mantengan las condiciones de crecimiento y se minimicen las inconveniencias para el mismo. El sustrato compostado tiene un conjunto de beneficios para la germinación, ya que este ha sido elaborado para suministrar las condiciones físicas-químicas y biológicas deseables durante el proceso de germinación.

1.5 Pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una de las hortalizas cucurbitáceas más conocidas. Se cultiva en casi todo el mundo, principalmente para consumo de sus frutos no climatéricos en estado inmaduro [5].

La mayor producción de este cultivo en el país, se realiza en la provincia de Chiriquí con un 93% del total de la producción. Es importante mencionar que en los años 2015-16 y 2016-17 se redujo la producción en un 30% o sea en 29,012 quintales [6].

1.6 Arduino

El Arduino tiene la gran ventaja de ser una plataforma que incluye la integración del hardware y el software, su funcionamiento está basado en entradas y salidas, por lo que la mayoría de su hardware se puede instalar muy fácilmente, y para que este funcione, se deberá desarrollar algoritmos basados en lenguaje C.

El Arduino, al ser una plataforma electrónica de código abierto con costos accesibles, nos permite crear un prototipo de

sistema que trabaja sobre una válvula para los sistemas de riego compatibles.

Como condición adicional, la plataforma Online de Arduino cuenta con una sección de foro, del cual muchos aspirantes, y profesionales, programadores comparten sus ideas para creaciones de códigos generales o específicos.

Las piezas de Arduino también son relativamente simples de conseguir en línea, inclusive permite la compra de Kits con las especificaciones necesarias para cada uno de los experimentos que se tenga planeado trabajar.

Una ventaja enorme que podemos obtener al utilizar Arduino para desarrollar proyectos, es la gran cantidad de recursos de apoyo que existen en la comunidad online. En esta hay diferentes esquemas de modelos ya desarrollados que se pueden replicar o se pueden crear nuevos y compartirlos en los foros con el fin de contribuir a que otras personas puedan tener acceso a los aportes realizados por los desarrolladores.

El programa Fritzing [7] le ofrece al usuario crear un modelo virtual experimental con el cual hará las conexiones de todo el hardware del sistema sin correr el riesgo de dañar las piezas y al mismo tiempo probar su funcionalidad con el código a compilar.

2. Materiales y método

2.1 Componentes de hardware y software

Para el ensamblaje del dispositivo se emplearon:

- Placa Arduino Mega 2560 R3
- Sensor de humedad del suelo YL-69
- Módulo Relay 2CH con optoacoplador
- Pantalla LCD 1602
- Interface serial I2C para pantalla LCD
- Módulo Data Logger con chip DS1307 y Almacenamiento SD
- Válvula solenoide 12V DC, ½ pulg
- Breadboard de 830 Contactos
- Breadboard de 400 contactos
- Jumpers hembra-hembra 20cm
- Jumpers macho-macho 20cm
- Fuente de poder USB 5V DC 1
- Fuente de poder 12V DC 500mA

Los componentes necesarios para obtener los datos fueron: el sensor de humedad del suelo, la unidad de almacenamiento de los datos, la pantalla LCD y los cables de conexión. Los datos que brinda el sensor son: en tiempo real, de manera que muestra los datos en la pantalla LCD de manera inmediata.

Para fabricar el sistema donde se conecta el sensor de humedad del suelo se utiliza el siguiente hardware:

- Sensor de humedad del suelo YL-69
- Placa Arduino Mega 2560 R3
- Cables de red
- Placas Breadboard
- Pantalla LCD 1602 con Módulo I2C
- Fuente de poder USB de 5V 1^a

El sensor obtiene datos y los almacena en la placa Arduino, también se requiere de un diagrama físico para realizar las conexiones. Los softwares necesarios para instalar el programa en la placa Arduino y diseñar el diagrama físico son:

- Programa Arduino 1.8.5
- Driver USB de reconocimiento de la placa Arduino
- Fritzing 0.9.3

El sustrato que se empleó para la germinación es un sustrato compost.

El sensor de humedad del suelo está conectado a una protoboard, donde están las conexiones de suministro eléctrico y la pantalla LCD. En la protoboard se conectan los cables de datos que se conectan a la placa Arduino.

La resistencia es el principio básico del funcionamiento del sensor YL-69. La resistencia que posee el suelo depende de la humedad, como el sensor posee un pequeño voltaje, este reacciona, cuando hay bastante humedad la corriente aumenta y el sensor empieza a enviar datos a la placa Arduino. Lo mismo ocurre cuando la humedad disminuye, la corriente también lo hace, el sensor puede hacer lecturas en tiempo real, dependiendo del código que se programó en la placa Arduino.

Para obtener datos de la humedad del suelo, el sensor se entierra en el sustrato, e interpreta la información mediante señales eléctricas, luego son procesadas y finalmente la placa Arduino muestra los datos en la pantalla LCD.

2.2 Siembra

Para sembrar las semillas se emplearon:

- Semillas de pepino variedad Poinsett
- Sustrato compostado
- Bandejas plásticas para semillas de 120 células
- Manguera de polietileno de ½ pulg
- Codos PVC de ½ pulg
- T PVC de ½ pulg
- Unión PVC de ½ pulg
- Bandejas de hornear que funcionaron para la inmersión.

2.3 Preparación de semilleros con riego irregular

Para sembrar las semillas que fueron sometidas a condiciones de riego irregular se tuvieron los siguientes pasos:

- Bandejas para semillas: se agregó sustrato comercial a una bandeja de germinación con capacidad para 104 semillas para realizar la primera prueba. Un día después se agregó sustrato compostado a tres bandejas con la misma capacidad de semillas.
- Sustrato: a la bandeja con sustrato comercial se le dejó un espacio de 0.5cm a la superficie de cada célula y a las tres bandejas con sustrato compost un espacio de 0.8 cm para sembrar la semilla, luego de sembrar la semilla se añadió sustrato hasta rellenar cada célula por completo.
- Riego: las cuatro bandejas de semilleros se colocaron en bandejas de hornear para aplicarle un riego por inmersión, se le aplicó 1 litro de agua diariamente.

- Bandeja de riego: a cada bandeja de riego se le perforó un agujero a 1 cm de abajo hacia arriba para el drenaje del agua excedentaria, a objeto de evitar la saturación.

2.4 Preparación de semilleros con riego automatizado por Arduino

Para sembrar las semillas que fueron sometidas a condiciones de riego automatizado por Arduino se realizó el siguiente procedimiento:

- Bandejas para semillas: se aplicó la misma metodología de los semilleros con riego irregular y se prepararon cuatro bandejas.
- Sustrato: a las cuatro bandejas se les dejó un espacio de 0.8 cm a la superficie de cada célula para sembrar la semilla, luego de sembrar la semilla se procedió a rellenar todas las células de sustrato.
- Riego: las cuatro bandejas de semilleros se colocaron en bandejas de hornear y se les aplicó una irrigación por inmersión bajo el control del sistema de riego automatizado por Arduino.
- Bandeja de riego: a cada bandeja de riego se le perforó un agujero de 1 cm de abajo hacia arriba para el drenaje, además se diseñó un sistema de riego por gravedad controlado por una válvula solenoide que abre o cierra el paso a cuatro salidas de agua.
- Sensor de humedad del suelo: este se enterró hasta su último nivel en el sustrato y se colocó en el centro de una de las cuatro bandejas de germinación.



Figura 1. Preparación de semilleros.

3. Resultados y discusión

3.1 Ensamblaje

A continuación, se presenta el modelo físico del dispositivo de control de riego en una caja con los componentes de hardware del sistema (figura 2):

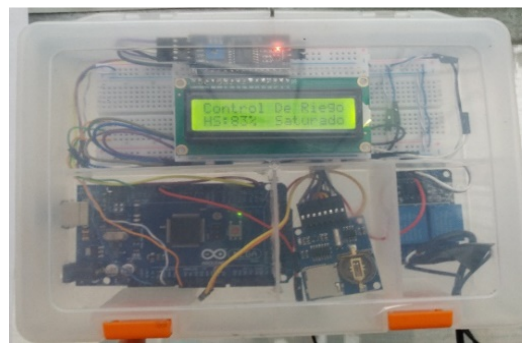


Figura 2. Modelo físico del dispositivo de control de riego.

3.2 Programación del sistema

El código fuente para controlar el riego está basado en la estructura de control If else; esta estructura permite controlar el estado (HIGH y LOW) de la válvula solenoide. Dependiendo del porcentaje de humedad, la válvula se cierra o se abre y de esta manera se controla el paso del agua al sistema de riego. A continuación, se muestra el algoritmo:

```

if (porcentaje <=30){
  digitalWrite(7, LOW);
  lcd.setCursor(8,8);
  lcd.print("Regando");
}
else if (porcentaje >=70){
  digitalWrite(7, HIGH);
  lcd.setCursor(8,8);
  lcd.print("Saturado");
}
else{
  digitalWrite(7, HIGH);
  lcd.setCursor(8,8);
  lcd.print("Saturado");
}
    
```

3.3 Resultados de prueba de germinación

Se realizó una prueba de germinación con 400 semillas sometidas a el riego irregular(T1) vs el riego automatizado por Arduino(T2). A continuación, se muestran las tablas de germinación por día:

Tabla 1. Semillas germinadas por día: riego irregular.

Prueba de Germinación con riego irregular(T1)										
	Día									
Semillero	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
1	0	0	5	18	50	13	2	0	0	88
2	0	0	0	4	9	48	7	2	0	70
3	0	0	0	3	10	40	6	0	0	59
4	0	0	0	3	7	47	5	3	0	65
Total										282

Evaluando los datos obtenidos (tabla 1) se observó que para el T1 que la germinación de las semillas tuvo un 70.5% de porcentaje de germinación.

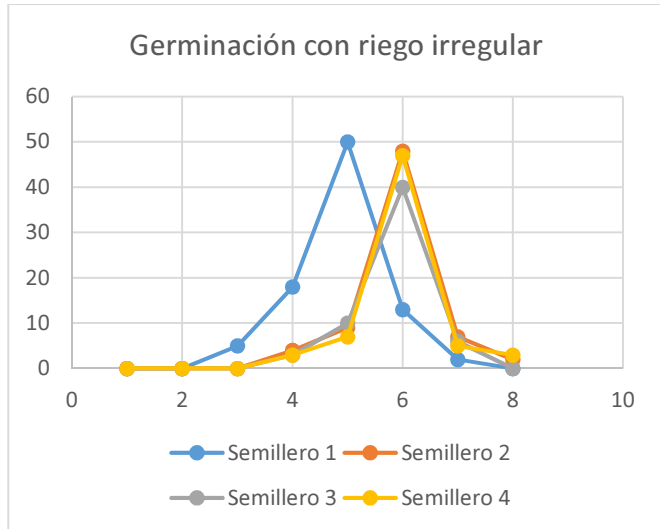


Figura 3. Gráfico de germinación por riego irregular (T1).

Se observa la germinación diaria de las semillas de pepino en sustrato compostado (figura 1), tomando el valor total de semillas al sexto día para generar el porcentaje de germinación utilizando la fórmula:

Total, de Semillas Germinadas entre Cantidad de Bandejas.

$$\frac{\text{Semillas germinadas}}{\text{Bandejas de germinación}} \equiv \text{Porcentaje germinación} \quad (1)$$



Figura 4. Vista de germinación en los semilleros con riego irregular.

Tabla 2. Semillas germinadas por día: riego automatizado por Arduino.

Prueba de Germinación con Riego Automatizado(T2)										
Semillero	Día									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0	0	7	13	51	9	4	0	0	84
2	0	0	0	7	13	55	7	1	0	83
3	0	0	0	5	13	43	9	2	0	72
4	0	0	0	6	14	48	4	5	0	77
Total										316

Evaluando los datos obtenidos (tabla 2) se observó que, para el T2, la germinación de las semillas tuvo un 79% de porcentaje de germinación.

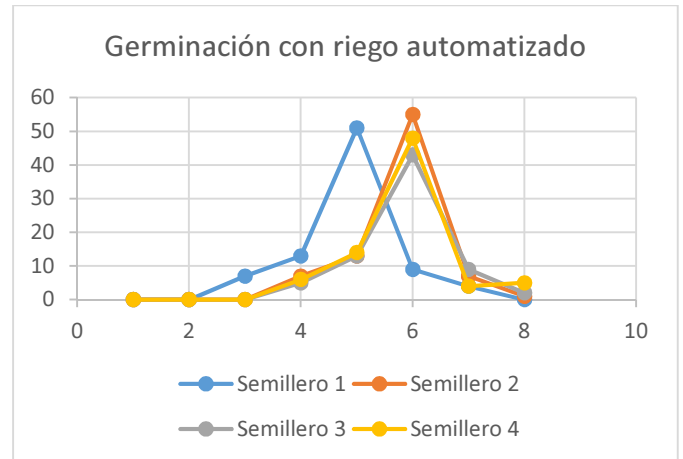


Figura 5. Gráfico de germinación por riego con Arduino (T2).

Para el T2 se observa menor desviación de los datos de germinación entre las 4 bandejas de semillero y un incremento del 8.5% con respecto al T1.



Figura 6. Semilleros con riego automatizado por Arduino.

Tabla 3. Prueba de análisis de varianza.

Prueba ANOVA				
Origen	GL	MC	F	VF
Entre grupos	7	11.2301	0.046	2.1564
error	64	240.4791		
Total	71			

Por medio de una prueba ANOVA (tabla 3) se determina que no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados: riego irregular (T1) y riego automatizado (T2).

Se debe señalar que la siembra de las semillas, tanto para el riego irregular como el automatizado se realizó con dos días de antelación. Esto da como resultado que en ambos semilleros el proceso de germinación se manifestó primero que en el resto de los otros seis semilleros.



Figura 7. Válvula solenoide, tuberías y sensor de humedad del suelo.

4. Conclusiones

Se puede concluir que mediante la metodología de riego automatizado por Arduino existe un incremento porcentual positivo a la hora de germinación de las semillas de pepino en sustrato compost.

La metodología permitió que ambos sustratos de los semilleros tuviesen una humedad adecuada para que se diera el proceso de germinación, la eficacia del riego automatizado se ve reflejada considerablemente en los cuatro semilleros.

Se observan resultados similares en los porcentajes de germinación en ambos casos, considerando que el criterio para restablecer la lámina de agua fue visual dependiendo de la apreciación. Podemos concluir que ambos riegos tienen una similar respuesta en el porcentaje de germinación, lo cual implica que el método automatizado puede lograr similares rendimientos en los plántones que los métodos tradicionales, sin la dependencia del factor humano.

La metodología de riego automatizado por Arduino le disminuye la dependencia por horarios de riego, considerando las condiciones climáticas, otorgándole tiempo el cual puede ser utilizado para investigar métodos que ayuden a la planta durante el proceso de germinación hasta su cosecha.

Se hace referencia a un efecto de sembrador referente a la bandeja de sustrato comercial con riego irregular, debido a la profundidad a la que se sembraron las semillas en cada celda. Este semillero tuvo un número de germinación de semillas por día un poco más alto que los demás semilleros, además en el primer semillero, tanto para riego regular como riego automatizado, las semillas germinaron con antelación debido a que se sembraron dos días antes, por ende, se recomienda que sea un solo sembrador quien ejecute el proceso.

AGRADECIMIENTO

Por la confianza y el apoyo dispensado a este proyecto a Nixa Gnaegi de Ríos, quien siempre está motivando el deseo por la investigación y la innovación a los estudiantes, a la Escuela de Informática por creer en esta innovadora propuesta tecnológica para el desarrollo de la sociedad y la Coordinación de Investigación de la Universidad Tecnológica OTEIMA por todo el esfuerzo y dedicación al desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Grupo Rotoplas, “6 Razones que evidencian la importancia del agua en las plantas”, Grupo Rotoplas, 24 Agosto 2017. [En línea]. Disponible: <https://fandelagua.com/importancia-del-agua-en-las-plantas/>. [Último acceso: 15 Agosto 2019].
- [2] P. Ruiloba, “Estudio sobre el consumo de hortalizas para una alimentación más sana de los pobladores del corregimiento de San Félix, distrito de San Félix, provincia de Chiriquí, Panamá”, Grupo juvenil de la Iglesia de Séptimo Día, San Félix, provincia de Chiriquí, Panamá, 2018.
- [3] E. Sánchez, P. Ruiloba, L. Morales y E. A. Sánchez, “Calibración de sensor de humedad aplicado a sustrato de fibra de coco comercial comandado por programación en ARDUINO”, *Revista de Iniciación Científica*, vol. 5, Edición Especial, Octubre 2019.
- [4] R. Cabrera, “Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta”, *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 5, n° 1, pp. 5-11, 1999. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/profile/Raul_Cabrera4/publication/259910311_Propiedades_uso_y_manejo_de_sustratos_de_cultivo_para_la_produccion_de_plantas_en_maceta/links/0046352f13c3e0eb5f000000/Propiedades-uso-y-manejo-de-sustratos-de-cultivo-para-la-produccion-de-plantas-en-maceta.pdf
- [5] F. Barraza-Álvarez, “Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales”, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 9, n° 1, p. 2, 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v9n1/v9n1a06.pdf>
- [6] MIDA, «Cierre agrícola 2018-2019,» Ciudad de Panamá, Panamá, 2018. [En línea]. Disponible: https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/cierre_2018-2019_ok.pdf
- [7] Fritzing, “Fritzing: electronics made easy”, 2019. [En línea]. Disponible: <https://fritzing.org/>. [Último acceso: 15 Agosto 2019].