



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del  
Suelo, A.C.  
México

Lugo Espinosa, Oziel; Arellano Ostoa, Gregorio; Hernández Cote, Diego  
Automatización de un sistema de inmersión temporal con base en plataformas abiertas de  
hardware y software  
Terra Latinoamericana, vol. 35, núm. 3, julio-septiembre, 2017, pp. 269-277  
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.  
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57352066008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Automatización de un sistema de inmersión temporal con base en plataformas abiertas de hardware y software

## *Automation of a temporary immersion technique based on open platforms of hardware and software*

Oziel Lugo Espinosa<sup>1‡</sup>, Gregorio Arellano Ostoa<sup>2</sup> y Diego Hernández Cote<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Texcoco. Av. Jardín Zumpango s/n, Fracc. El Tejocote. 56159 Texcoco, Estado de México, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (ozieluz@gmail.com)

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km. 36.5. 56230 Montecillo, Estado de México, México.

### RESUMEN

Un Sistema de Inmersión Temporal (SIT) permite la micropropagación de plantas en ambientes esterilizados y herméticos; sin embargo, es una tecnología complicada y costosa. En este trabajo, se presenta una alternativa de automatización con base en plataformas abiertas de hardware y software, con los objetivos de reducir costos y aumentar las prestaciones frente a sistemas comerciales, mediante la reconfiguración por software de rutinas para la aplicación de nutrientes, monitoreo constante y control a distancia del sistema. Para el desarrollo del hardware se utilizó la metodología Bottom Up, y para el software, la metodología Kanban. El sistema propuesto tiene un costo promedio de un 10% en comparación con dispositivos electrónicos comerciales utilizados en la industria para resolver problemas de automatización de procesos. Sin embargo, es necesario una evaluación de crecimiento de los explantes para corroborar las ventajas competitivas del prototipo equiparadas a los sistemas tradicionales de inmersión temporal.

**Palabras clave:** *java, reproducción de especies in vitro, arduino, biorreactores, software libre.*

### SUMMARY

A Temporary Immersion System (TIS) enables plant micropropagation in unsterilized sealed environments. However, it is a complicated and expensive technology. In this paper, an automation alternative based on open hardware and software platforms is presented, with the objectives of reducing costs and increasing performance as compared with commercial systems, through software reconfiguration of routines for

nutrient application, constant monitoring and remote control of the system. For hardware development, the Bottom Up methodology was used, and Kanban methodology was used for the software. The cost of the proposed system is on average 10% that of commercial electronic devices used in the industry to solve process automation problems. Growth assessment of the explants is necessary to corroborate the competitive advantages of the prototype relative to the traditional systems of temporary immersion.

**Index words:** *java, in vitro species replicate, arduino, bioreactors, open software.*

### INTRODUCCIÓN

Hoy en día los cultivos expuestos a la intemperie han tenido menor producción que aquellos cultivados mediante la implementación de tecnologías y sistemas específicos, que aceleran la producción y mejoran la calidad del producto al tener un entorno regulado (Campos y Llanderal, 2003).

Al no contar con un ambiente controlado, se afecta directamente a los productores ya que en muchos casos se limitan a la producción de un solo cultivo o un solo ciclo, reduciendo la competitividad y sin remunerar la inversión. Los aportes de las ciencias computacionales pueden orientarse al cuidado de cultivos por medio de programación de labores automáticas y observación o revisión continua del desarrollo del cultivo con el fin de mejorar la producción y calidad de las cosechas (Rodríguez y Santana, 2015).

El sistema de biorreactores de inmersión temporal (SIT), es una técnica que se ha empleado para la micro propagación de varias especies agrícolas y forestales (Etienne, *et al.*, 1997). También se tienen grandes

#### Cita recomendada:

Lugo Espinosa, O. G. Arellano Ostoa y D. Hernández Cote. 2017. Automatización de un sistema de inmersión temporal con base en plataformas abiertas de hardware y software. *Terra Latinoamericana*: 35: 269-277.

Recibido: diciembre de 2016. Aceptado: mayo de 2017.

Publicado como Nota de Investigación en  
*Terra Latinoamericana* 35: 269-277.

ventajas al disminuir la manipulación manual intensiva (Ziv, 2005), incrementar la tasa de proliferación reducir costos de producción (Preil, 2005) y mejorar la calidad del material vegetal (Etienne y Berthouly, 2002), incluyendo la clonación de especies difíciles de propagar o aquellas que están en peligro de extinción. Los cultivos pueden ser iniciados a partir de varias porciones de tejido vegetal, por ejemplo de una hoja pueden regenerarse embriones somáticos o brotes adventicios (Arellano *et al.*, 2011; Mallón *et al.*, 2011) que para mantener su multiplicación se requiere del control del medio de cultivo, así como del fotoperiodo la calidad de la luz y la temperatura de forma continua y periódica durante el día y la noche, desde el inicio de su desarrollo hasta que son capaces de sobrevivir en condiciones de invernaderos (Santos *et al.*, 2011).

Un SIT se compone de frascos (biorreactores), con dos compartimentos, uno superior donde crecen los explantes y otro en la parte inferior, donde se coloca el medio de cultivo líquido (Etienne y Bertouli, 2002). A este sistema se le aplica un flujo de aire a presión por medio de un compresor que hace que suba el medio de cultivo líquido y lo pone en contacto con los explantes por tiempos intermitentes. Después de que cesa la inyección de aire el medio de cultivo desciende por gravedad. Este sistema provoca cambios en la atmósfera interna del frasco, trayendo consigo un mayor crecimiento y desarrollo del cultivo, además de que se mantiene una capa superficial de medio de cultivo hasta la próxima inmersión (Maldonado *et al.*, 2003).

La automatización de un SIT y sus efectos en cuanto a mejora y aumento de producción agrícola, tiene una relación directa con el desarrollo sustentable al contribuir con la conservación de hábitats naturales mediante la propagación de especies amenazadas o en peligro de extinción. Hoy en día existen aplicaciones y mecanismos que interfieren en el control del SIT, por ejemplo se ha empleado electroválvulas conectadas a un compresor con encendido automático y mangueras de silicón que llegan hasta el fondo del biorreactor; controlando su activación un temporizador programable para determinar la frecuencia y duración de la inmersión (Santos *et al.*, 2011). Se han usado técnicas para regular la temperatura o el suministro de nutrientes al biorreactor, para mejorar el crecimiento y la multiplicación de los explantes. Cabe mencionar que el uso, control y manejo de estos elementos es

complicado y requiere de la preparación del personal, así como de su supervisión constante para mejorar y aumentar la producción vegetal.

Existen alternativas de control, por ejemplo, un PLC (del inglés, Programmable Logic Controller), se enfoca al control de eventos o procesos en tiempo real, sin embargo, debe ser programado con un software especializado, e incluye dispositivos de alto costo o difíciles de conseguir (Vallejo, 2005). El PLC acorde a las necesidades del proyecto es el modelo ELC-PA10AADR que tiene un costo actual de \$ 10 800.00 MN<sup>1</sup>. Otra alternativa de automatización son los FPGA (del inglés, Field Programmable Gate Array), dispositivos versátiles de fácil programación y capaces de realizar funciones lógicas (Castillo *et al.*, 2008); sin embargo, contienen componentes agregados que no son útiles para proyectos sencillos, creando un desperdicio de recursos que impedirían un diseño óptimo del circuito. Un FPGA acorde a las necesidades del proyecto tiene un costo promedio actual de \$ 3530.52 MN<sup>2</sup>, sin contar los sensores y actuadores.

El objetivo de la propuesta expuesta en el presente artículo es el uso de plataformas abiertas de hardware y software, ya que la modificación de componentes acorde a las necesidades de cada proyecto genera una disminución de costos y optimiza de los recursos humanos y financieros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Hardware del Sistema

Está compuesto por tres elementos principales: 1) sensores, 2) actuadores y 3) placas electrónicas de plataforma abierta junto con shields (placas electrónicas que agregan una funcionalidad específica al sistema).

1. Los sensores que se utilizaron fueron: DS18B20: Sensor de temperatura digital creado por Dallas Semiconductor de tres terminales (5V, datos y tierra), no requiere componentes externos, se alimenta con 3V a 5.5V y captura una temperatura de -55 °C hasta 125 °C (Maxim Integrated, 2015); fotorresistencia: componente electrónico, el cual varía su resistencia conforme aumenta o disminuye la intensidad de la luz. La radiación óptica aporta la energía necesaria para incrementar el número de electrones libres, disminuyendo así la resistividad.

<sup>1</sup> [http://mx.omega.com/pptst/ELC\\_PLC.html](http://mx.omega.com/pptst/ELC_PLC.html); consultado el 06 de junio de 2016.

<sup>2</sup> Precio del dólar el 08 de noviembre de 2016 es de \$ 18.89 MN.

2. Actuadores utilizados: a) Relevador: componente electromecánico que funciona como interruptor para activar diversos aparatos a partir de una señal eléctrica; con una capacidad de 10A.

Y b) Electroválvulas: componentes electrónicos que permiten el paso de líquido o aire, siendo activados por un mecanismo (en este caso relevadores); con el fin de regar o realizar inmersiones en cultivos (Ritter *et al.*, 2009).

3. Control electrónico: Se utilizaron 2 placas Arduino Uno (una para el sistema en el SIT y otro para el control remoto), la elección se basó en la versatilidad, bajo costo, facilidad de uso y alta potencia que ofrece la plataforma de código abierto; posee un controlador ATmega con 6 entradas analógicas y 14 digitales, además cuenta con comunicación serial por USB y es compatible con una gran gama de placas prefabricadas (Martínez *et al.*, 2009).

### Sistema de Comunicación Remota

Se implementó una shield GSM Icomsat v 1.1, que es una placa compatible con Arduino, capaz de enviar mensajes de texto a partir de un chip de alguna compañía telefónica celular; trabaja con 4.5V hasta 5.5V suministrado por Arduino y es necesario programarse para determinar los envíos de mensajes y el procesamiento de los datos entrantes (Padilla *et al.*, 2015).

### Software del Sistema

Se utilizó el lenguaje Java con el paradigma orientado a objetos. Su principal característica consiste en que es un lenguaje compilado e interpretado, ya que todo programa Java se compila y el código que se genera es interpretado por una máquina virtual, de manera que logra la independencia de la misma (Arnold, 2000). El lenguaje Java ofrece una serie de posibilidades de desarrollo de software, minimizando los errores y maximizando la eficiencia del mismo (Arnold, 2000).

Para el desarrollo del software se utilizaron entornos de desarrollo integrado (por sus siglas en inglés *IDE*) que se listan a continuación:

a) NetBeans IDE: entorno de desarrollo creado por Sun Microsystems® en la que se puede escribir, compilar, depurar y ejecutar programas escritos en

el lenguaje de programación Java, el cual es un producto bajo la licencia de código abierto GPLv2 (Bain, 2009).

b) Arduino IDE: Las siglas IDE vienen de Integrated Development Environment, lo que traducido a nuestro idioma significa Entorno de Desarrollo Integrado. Esto es simplemente una forma de llamar al conjunto de herramientas software que permite a los programadores poder desarrollar (escribir y probar) sus propios programas con comodidad (Torrente, 2013). Es software libre y de uso sin restricciones que puede ser descargado desde la página oficial del dispositivo<sup>3</sup> para distintos sistemas operativos.

c) Android Studio IDE: herramienta oficial de Google para el desarrollo de aplicaciones Android, provee de diferentes clases que permiten al acceso de funcionalidades específicas de la red móvil como el GPS, GSM, gestión de archivos, entre otras. Es de descarga gratuita y uso libre, además de contar con las últimas actualizaciones de las versiones del sistema operativo móvil.

### Desarrollo del Hardware

Se empleó el uso de la metodología Bottom UP, donde las partes individuales se diseñaron con detalle y luego se enlazaron para formar componentes más grandes, que a su vez se enlazaron hasta que se formó el sistema completo (Masí, 2008). Una de las peculiaridades del trabajo con esta metodología es la cuestión del ensayo y error para la mejora del producto, lo que implica que el desarrollo a partir de una idea principal y su posterior mejora permite enfrentar el hardware y software elaborados a situaciones y problemáticas reales, por lo que es posible concluir el proyecto y reparar o solucionar los conflictos que surgen durante su desarrollo (Berón, 2006). El diagrama de la metodología se presenta en la Figura 1.

Para el desarrollo del software, se empleó el uso de la metodología *Kanban*, que consiste en la implementación de un modo de trabajo eficiente y efectivo, al tener en cuenta la producción y logística en todo momento, de manera que es posible lograr el desarrollo de un plan de trabajo específico que permita el desarrollo del objetivo de manera óptima.

Cumplir con estas reglas permite una adecuada gestión de recursos humanos, materiales e intelectuales, así como la organización del plan de trabajo, lo que conlleva a un trabajo bien logrado (Núñez, 2002).

<sup>3</sup> <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.

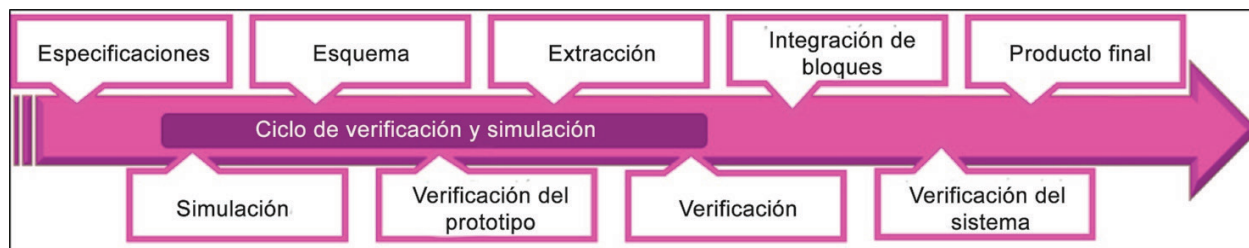


Figura 1. Metodología Bottom Up.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo del sistema se crearon diversos módulos en el que cada uno realiza una acción en la automatización, a continuación, la Figura 2 muestra un diagrama general de funcionamiento y se describen a detalle los módulos que se desarrollaron.

### Hardware

La placa Arduino realiza la función de interpretación de señales que provienen de los sensores y genera señales de control hacia los relevadores para activar dispositivos de potencia, en este caso, bombas de aire. La PC (del inglés Personal Computer) tiene la función de mostrar interfaces del usuario para que pueda configurar parámetros y umbrales de acción. Toda

la información se almacena en una base de datos para poder realizar consultas de los datos que se requieran. El Shield GSM envía y recibe mensajes cortos de texto (SMS) hacia y desde dispositivos móviles, ya sea para avisar acciones emprendidas por el sistema o recibir comandos remotos. Se realizó una aplicación móvil para el sistema operativo Android con la capacidad de interceptar los mensajes de texto que llegan al móvil y de esta manera, interpretar la información y mostrarla en interfaces de usuario agradables al usuario.

La integración de los módulos del hardware del sistema se muestra en la Figura 3.

### Software

Para la configuración flexible de los horarios, se desarrolló una interfaz de usuario en lenguaje Java

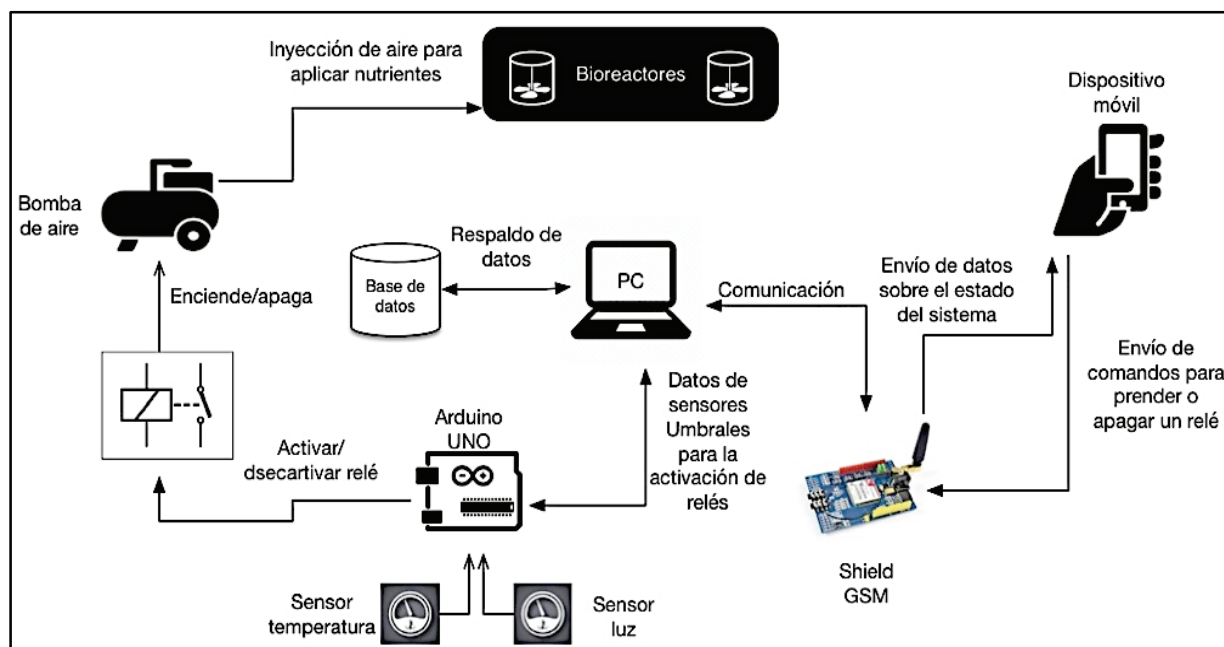


Figura 2. Automatización del SIT.



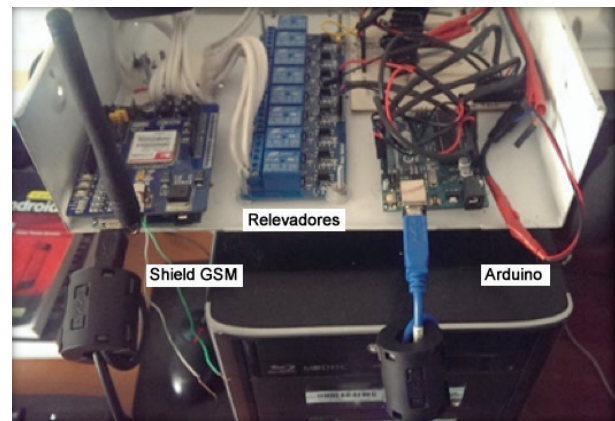
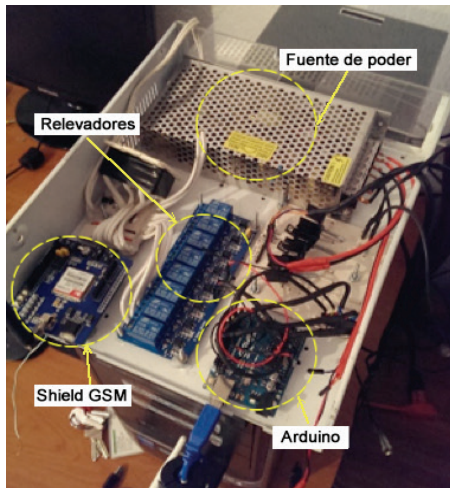


Figura 3. Prototipo.

(Figura 4), fácil de usar donde se ingresa de forma manual los horarios para los bombeos, también se despliega la información necesaria de los sensores que monitorean al SIT, así como las advertencias que aparecerán en la pantalla en caso de una incorrecta temperatura o iluminación.

### Almacenamiento de la Información

Para el manejo de la información referente a los horarios, la duración de activación en los relevadores, los registros de temperatura y los de las fotorresistencias, fue necesario implementar una base de datos en la que



Figura 4. Interfaz del software.

se pudiera guardar, modificar y eliminar información a petición del usuario. Para el presente proyecto de investigación se decidió crear una base de datos con el gestor SQLite ya que este presenta ventajas como lo es su portabilidad y el poco espacio de almacenamiento que se requiere para su instalación.

Los cuadros que contiene la base de datos son:

- 1) Usuario: proporciona al sistema un crecimiento futuro para adaptarlo a sistemas multiusuario, donde varias personas puedan controlar un mismo SIT.
- 2) Temperatura: el valor es constante en la habitación o laboratorio y sólo se lleva un registro histórico.
- 3) Iluminación: registra la hora y sector para cada aplicación de luz.
- 4) Sector: identifica al módulo que contiene el conjunto de biorreactores.
- 5) Historial de iluminación: sirve para almacenar los valores históricos de iluminación.
- 6) Bombeo: registra la hora, sector, duración para cada aplicación del bombeo de nutrientes.
- 7) Historial de bombeos: almacenar los valores históricos de aplicación de nutrientes.
- 8) Advertencia foto: almacena las alarmas o advertencias que genera el sistema cada vez que se detecta un cambio en las fotorresistencias, es decir, cada vez que se activa o desactiva la luz para algún sector en particular.

El diagrama de entidades que contiene la base de datos se muestra en la Figura 5.

## Aplicación Móvil

En la Figura 6-A se muestra la interfaz de la aplicación para dispositivos móviles Android cuando es iniciada y no posee ningún dato de información; en la Figura 6-B se presenta la ventana principal con los datos obtenidos de la petición enviada con los botones de la Figura 6-C. Por último, la Figura 6-D se muestra una notificación especial que realiza la aplicación cuando tras una petición de información, el SIT no regresa dato alguno en un tiempo de 5 min; de esta manera, se tiene el aviso de que existe un problema con la comunicación o un fallo en el sistema de inmersión.

## Prototipo Final

Después de integrar todos los elementos del sistema, el prototipo fue sometido a pruebas de funcionamiento, realizando bombeos calendarizados. Se monitorearon los valores obtenidos por el sensor de temperatura y de las fotorresistencias, confirmando su configuración y funcionamiento. En la Figura 7 se muestra el sistema de automatización implementado.

Después de un mes de prueba se obtuvieron los siguientes resultados: el biorreactor del sistema automatizado (Figura 8), presentó 131 brotes a partir de 10 explantes del cultivo de lináloe<sup>4</sup>; por otro lado, el biorreactor del sistema sin automatizar o tradicional (Figura 9) no logró un desarrollo similar,

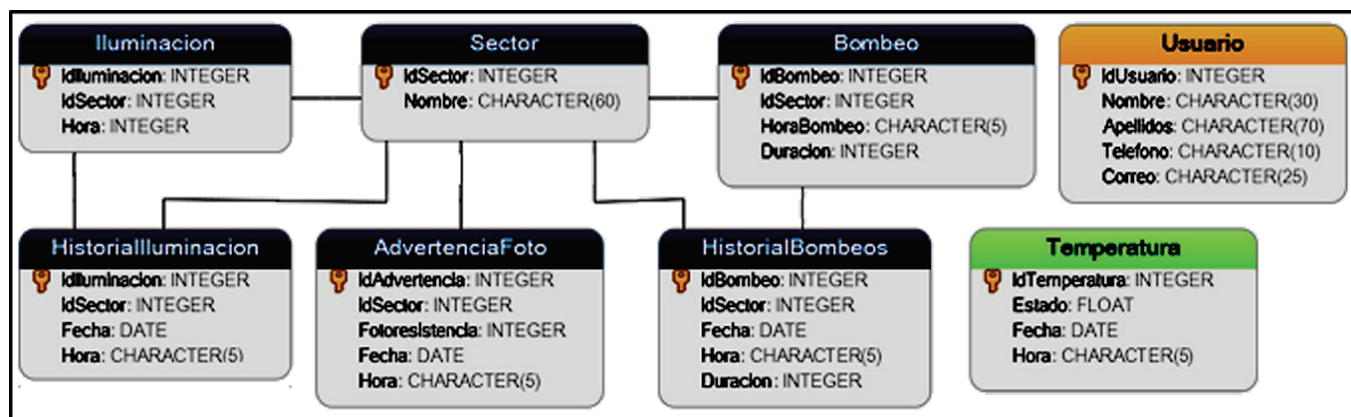


Figura 5. Estructura de la base de datos.

<sup>4</sup> El lináloe (*Bursera linanoe*) es un árbol que crece en la selva baja caducifolia, su madera se utiliza en la elaboración de artesanías y su fruto en la extracción de aceite. La temperatura media en la que se encuentran los sitios del lináloe está entre los 20 y 29 °C, con una mínima de 5 a 6 °C y una máxima de 38 °C, la precipitación de dichos sitios varía de entre 300 y 1500 mm.

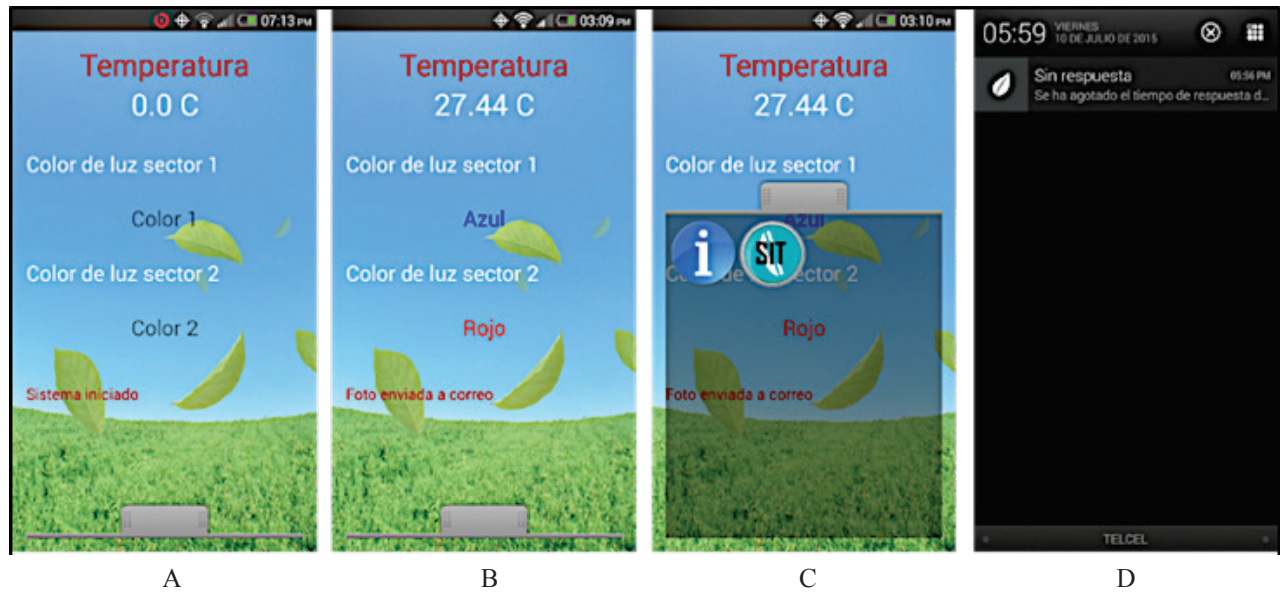


Figura 6. Interfaces de usuario de la aplicación móvil.



Figura 7. Prototipo del SIT automatizado.



Figura 8. Biorreactor con aplicación automatizada de nutrientes





Figura 9. Biorreactor con aplicación manual de nutrientes.

siendo evidente que el número de brotes es menor al biorreactor en la automatización.

Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que se logró optimizar el desarrollo de los brotes, al proporcionar homogeneizar los eventos de inmersión y del control del manejo del tipo de luz, lo que logró, mejores condiciones para conseguir un mayor número de brotes y de mejor calidad. Sin embargo, es necesario continuar realizando las evaluaciones para determinar en otras especies la influencia del sistema automatizado en la cantidad y calidad de la producción frente a un sistema tradicional.

### Costos

Uno de los objetivos del prototipo es la disminución de costos por lo que a continuación, en el Cuadro 1 se presentan los costos necesarios para la implementación del prototipo.

Cuadro 1. Costos de la automatización (pesos mexicanos).

Material	Cantidad	Costo unitario	Costo
		- - - - - \$ - - - - -	
Arduino Uno R3	2	420.00	840.00
Tira de relevadores	1	149.00	149.00
Electroválvulas	2	195.00	290.00
Shield GSM	1	1020.00	1020.00
Sensor DS18B20	1	123.00	123.00
Fotorresistencias	2	5.00	10.00
Total			2432.00

### CONCLUSIONES

- Los dos componentes principales usados Arduino y la plataforma de software java; permitió desarrollar un sistema de automatización que aumenta las prestaciones frente a sistemas comerciales, mediante la reconfiguración por software de rutinas para la aplicación de nutrientes, monitoreo constante y control a distancia del sistema; además de la reducción de costos. Es posible agregar módulos de hardware (como sensores o actuadores) y módulos de software (lógica de control) de manera sencilla.
- El prototipo permite la configuración en la aplicación de tratamientos con lo que pueden llevarse a cabo diferentes experimentos de forma paralela para establecer los parámetros óptimos para el crecimiento de las especies propagadas en el sistema de inmersión temporal.
- La inclusión de dispositivos móviles permite el control y monitoreo a distancia del sistema; dado que los mensajes SMS permiten enviar y recibir datos con un costo relativamente bajo, es posible adaptar el sistema para enviar datos a través de internet para disminuir aún más los costos.

### LITERATURA CITADA

- Arellano-Ostoa, G., S. González-Bernal y E. García-Villanueva. 2011. Propagación in vitro y por estacas de linaloe (*Bursera aloexylon* L.) procedente de los estados de Guerrero, Puebla y Morelos, México. pp: 128-181. In: J. C. Ayala S. Y S. I. Ayala F. (eds.). Linaloe: Cultivo y aprovechamiento. Fundación Produce Puebla, A. C. Puebla, México.
- Arnaw, D. and G. Weiss. 2000. Introducción a la programación en Java. Un enfoque orientado a objetos. Pearson Addison Wesley. Bostyn, MA, USA.
- Bain, Malcolm. 2009. Comentarios breves sobre la GNU General Public License v3. IDP. Rev. Est. Der. Cienc. Pol. UOC 8: 14-24.
- Berón, M., P. R. Henriques, M. J. Varanda Pereira y R. Uza. 2006. Herramientas para la comprensión de programas. Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2006), Universidad de Morón. Buenos Aires, Argentina.
- Campos-Figueroa, M. y C. Llanderal-Cázares. 2003. Producción de grana cochinilla *Dactylopius coccus* (Homoptera: Dactylopiidae) en invernadero. Agrociencia 37: 149-155.
- Castillo A., A., J. Vázquez C., J. Ortegón y C. Rodríguez. 2008. Prácticas de laboratorio para estudiantes de ingeniería con FPGA. IEEE Latin America Transact. 6: 130-136.
- Etienne, H. and M. Berthouly. 2002. Temporary immersion systems in plant micropropagation. Plant Cell Tissue Organ Cult. 69: 215-231.

- Etienne, H., M. Lartuad, N. Michaux F., M. P. Carron, M. Berthouly, and C. Teisson. 1997. Improvement of somatic embryogenesis in *Hevea brasiliensis* (Müll. Arg.) using the temporary immersion technique. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 33: 81-87.
- Maldonado, E. R., L. E. Rodríguez de Francisco, O. Alvarado Gómez y M. E. Cárdenas Cerda. 2003. Diseño y construcción de un sistema de inmersión temporal. *Cent. Agríc.* 30: 69-72.
- Mallón, R., P. Coveló, and A. M. Vieitez. 2011. Improving secondary embryogenesis in *Quercus robur*: Application of temporary immersion for mass propagation. *Trees* 26: 731-741.
- Martínez, J., J. P. Molina, A. S. García, D. Martínez y P. González. 2009. Desarrollo de un guante de datos con retorno háptico vibro-táctil basado en Arduino. III Jornadas de Realidad Virtual y Entornos Virtuales. X Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador, Interacción 2009. Barcelona, España. ISBN-13: 978-84-692-5005-1.
- Masi, C. G. 2008. Hybrid approach to system design. *Magazine Control Engineering*. ISSN: 0010-8049. Oak Brook, IL, USA.
- Maxim Integrated. 2015. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. (Consulta: junio 03, 2016).
- Núñez, H. J. 2002. Los sistemas just-in-time/Kanban, un paradigma productivo. *Pol. Cult.* 18: 40-60.
- Padilla, R., V. Quintero-Rosas y A. Díaz-Ramírez. 2015. Monitoreo y localización de personas extraviadas utilizando Arduino y GSM/GPS. *Indust. Data* 18: 128-134.
- Preil, W. 2005. General introduction: A personal reflection on the use of liquid media for in vitro culture. pp. 1-18. *In*: A. K. Hvorslev-Eide and W. Preil (eds.). *Liquid culture systems for in vitro plant propagation*. Springer. Dordrecht, The Netherlands.
- Ritter, A., N. Machín y C. M. Regalado. 2009. Evaluación de estrategias para la aplicación de agua en la zona no saturada en el cultivo del plátano. *Est. Zona No Sat. Suelo* 9: 320-327.
- Rodríguez, M. A. y L. Santana. 2015. Modelado de un sistema experto orientado al cuidado de cultivos de lechuga en un ambiente controlado tipo invernadero. *Tecnol. Invest. Acad.* 3: 46-53.
- Santos Pino, A., M. Cabrera Jova, R. Gómez Kosky, J. López Torres, A. Rayas Cabrera, M. Basail Pérez, V. Medero Vega y Y. Beovides García. 2011. Multiplicación en sistema de inmersión temporal del clon de malanga "Viequera" (*Xanthosoma* spp.). *Rev. Colomb. Biotecnol.* 13: 97-106.
- Torrente, A. O. 2013. Arduino. Curso práctico de formación. Alfaomega. Primera Edición Rustica. Madrid, España. 588 p.
- Vallejo, H. D. 2005. Los controladores lógicos programables. <http://www.todopic.com.ar/utiles/PLC.pdf>. (Consulta: julio 06, 2016).
- Ziv, M. 2005. Simple bioreactors for mass propagation of plants. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 81: 277-285. doi:10.1007/s11240-004-6649-y.