

Diseño, construcción, verificación y prueba de un germinador de bajo costo

Alejandro Hernández López^{1§}

Alma Xochil Avila Alejandre¹

Noé Mendoza Francisco¹

Héctor Hernández López²

¹Universidad del Papaloapan-*Campus* Tuxtepec. Circuito Central 200, Col. Parque Industrial, San Juan Bautista, Tuxtepec, Oaxaca, México. CP. 68300. Tel. 01(287) 8759240. (axavila@unpa.edu.mx; fmendoza@unpa.edu.mx). ²Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares-Departamento de Sistemas Nucleares. Carretera México-Toluca s/n, La marquesa, Ocoyoacac, México. CP. 52750. Tel. 01(55) 53297200, ext. 12497. (hector.hernandez@inin.gob.mx).

§Autor para correspondencia: alehz74@yahoo.com.mx.

Resumen

Los germinadores automatizados, son una herramienta indispensable para optimizar los procesos agrícolas. Sin embargo, tienen altos costos, por lo que se requiere el diseño, construcción y operación de aparatos con precios accesibles para pequeños productores. El objetivo del presente trabajo fue, diseñar, construir y verificar un prototipo de germinador de bajo costo, bajo las directrices de diseño de un prototipo. Dicho germinador, se construyó usando materiales disponibles en la región y es capaz de controlar automáticamente la temperatura y fotoperiodo mediante los circuitos W1401 y Tem-8 48386 respectivamente. Además, mediante conmutadores simples se puede controlar la intensidad lumínica. Adicionalmente, se construyó un verificador de temperatura con una tarjeta Arduino Uno. El sistema de verificación permitió el monitoreo de los cambios de temperatura en tiempo real (cada minuto). El prototipo se probó germinando semillas de *Capsicum chinense*, usando distintos volúmenes de agua de imbibición. De acuerdo con los resultados obtenidos, el prototipo construido se ajusta a los requerimientos recomendados tanto por la International seed testing association (ISTA), como por la Food and Agriculture Organization (FAO) para la evaluación de semillas, pero, además mostró un rendimiento mayor, en comparación con una incubadora comercial y aun costo de construcción y operación muy menor.

Palabras clave: arduino, bajo costo, germinación.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: febrero de 2019

El proceso de la germinación de las semillas se encuentra ligado al inicio de la civilización humana (Moreno-Casasola, 1996). El estudio de la germinación permitió domesticar y seleccionar especies de plantas, como *Zea mays* L. (7 000 AC.) y *Phaseolus vulgaris* L. (5 000 AC.) (McDonald y Copeland, 1997; Hirst, 2017). A comienzos del siglo XX, se comenzó a estudiar de manera sistemática la germinación de semillas de interés comercial, pero hasta las décadas de los 50's, 60's y 70's, con la denominada 'revolución verde' (FAO, 1996; Borlaug y Dowsell, 2011) se alcanzó el desarrollo tecnológico que permitió tener un control estricto de las variables ambientales.

Los primeros germinadores, tipo armario, fueron desarrollados por Oomen-Koppe (1969) y Justice (1972). Actualmente, las recomendaciones de la FAO, se basan en estos autores y los equipos deben satisfacer los requisitos que se listan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Especificaciones de los germinadores de acuerdo con los organismos internacionales.

Características	FAO/ISTA	Incubador comercial
Humedad [%]	70-90	Amb-99
Rango de temperatura [°C]	10-35	0-50
Variación de temperatura [°C]	± 1	± 1
Luz [lx]	750-1 250	0-15 000
Movimiento del aire	Mínimo	Continuo
Suministro de aire fresco	1 recambio hr ⁻¹	No especificado
Ciclo día/noche [hr]	8-12/16-12	Programable
Condensación	Nula	Nula

Construido con datos de Oomen y Koppe (1969) y el manual de operaciones del germinador Kenton PQH-150S.

Actualmente, en las empresas agrícolas hay laboratorios, donde se analiza la viabilidad y vigor, de acuerdo a las normas de la International Seed Testing Association (ISTA, 2017) o la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2003). Dichos laboratorios, cuentan con instalaciones y equipo *ad hoc*, para la realización rutinaria de estos ensayos, con el fin de garantizar las condiciones óptimas de caracterización de la germinación (FAO, 2003; ISTA, 2017).

Los ensayos de germinación, permiten detectar lotes de semillas con bajos niveles de germinación, ya sea a excesivo tiempo de almacenamiento o la falta de atributos genéticos necesarios para hacer frente a los retos ambientales de las parcelas donde se van a sembrar. Dichos ensayos, permiten tomar decisiones sin exponer el dinero, tanto del costo de las semillas, como de las operaciones de siembra, gasto en combustibles y jornales (Rodríguez *et al.*, 2008).

Los equipos empleados en estos ensayos, indispensables para la agrícola moderna, son costosos y por su precio, inalcanzables para pequeños productores, interesados en el manejo eficiente de sus recursos (FAO, 2003). Por lo que, existe la necesidad de contar con germinadores, con sistemas de monitoreo automatizados que controlen la temperatura, iluminación y fotoperiodo, pero, de bajo costo y bajo nivel de tecnificación (Tapia, 2002; Urquía, 2014), que permita a productores entusiastas, con conocimiento básicos en electrónica y electricidad o a laboratorios de escuelas de agronomía en países en desarrollo, su diseño, construcción y validación.

Actualmente, la electrónica ha tenido un desarrollo muy acelerado y ha generado una amplia variedad de circuitos digitales de última generación, que van desplazando a circuitos más sencillos, los cuales siguen siendo robustos y sus costos son cada vez más accesibles. Es el caso de los circuitos W1401 y W1209, pueden tener en México precios promedio al menudeo de \$10.50 y \$5.50 USD, respectivamente. Existen, además, temporizadores analógicos (TEM-8 48386) y digitales (DK-C-02) con un precio promedio de \$7.20 y \$7.75 USD, respectivamente.

Adicionalmente, existen circuitos como la placa Arduino Uno, que funciona como una plataforma de prototipos de código abierto, que cuenta con su propio ambiente de programación y que puede tener un costo en México, al menudeo de \$12.80 USD. En el caso de Arduino, tiene la ventaja de ser una plataforma muy versátil y de contar con una gran variedad de periféricos, sensores y actuadores. Además, cuenta con una gran cantidad de programas o rutinas (sketch's) de libre acceso y en algunos casos, ya probados, que le permiten por sí misma, ser capaz de controlar todos los factores, ya que se puede conectar a una computadora y funcionar como una tarjeta de control (McRoberts, 2009; Monk, 2010; Timmis, 2011).

Sin embargo, en caso de la placa Arduino Uno, requiere que el sketch funcione adecuadamente y en caso de que falle o requiera ajustes, es necesario tener conocimientos en programación y electrónica, relativamente especializados para poder manejarlo. En cambio, se puede establecer una conexión sencilla que le permita funcionar como una tarjeta de adquisición de datos y los resultados se pueden procesar en hojas de cálculo comunes, como Microsoft Excel u Office Libre con el fin de analizarlos y verificar el funcionamiento de una incubadora en tiempo real (McRoberts, 2009; Monk, 2010).

El objetivo del trabajo fue diseñar, construir y verificar un germinador, de bajo costo y bajo nivel técnico que se pueda utilizar rutinariamente en trabajos de investigación y que se preste para realizar transferencia de tecnología al medio rural, basado en las directrices del diseño, construcción, verificación y prueba de un prototipo.

El diseño del germinador se realizó de tal forma que su construcción resultase simple. El equipo consta de dos partes principales, la incubadora y el equipo verificador. A su vez, la incubadora se subdividió en tres secciones: a) el circuito del control de temperatura (CCT); b) armario; y c) la tapa o puerta del armario con control de luminosidad (CL). En la Figura 1, se muestra el diagrama esquemático del germinador y el equipo verificador. Cabe destacar que, todos los materiales, incluidos los circuitos, la madera de triplay, la tornillería, los herrajes, los bastidores y las lámparas, así como los materiales empleados en el equipo verificador, tuvieron un costo total \$54.8 USD.

El CCT (Figura 1a) está diseñado para usar una fuente de alimentación a 12 V, un controlador de fotoperiodo y un circuito controlador de temperatura. El armario de la incubadora se construyó con bastidores removibles con el fin de permitir el flujo de aire caliente desde la zona inferior. Los bastidores removibles se construyeron de triplay usando como fondo malla de alambre, con una separación de 2 cm, con respecto a cada uno de los cuatro lados internos del armario. Con esto, se logró generar la convección del aire y la temperatura se uniformizó de manera pasiva evitándose el uso de ventiladores, por un lado, aumentan la desecación de las plantas o los sustratos y por otro, hacen más complicado el circuito.

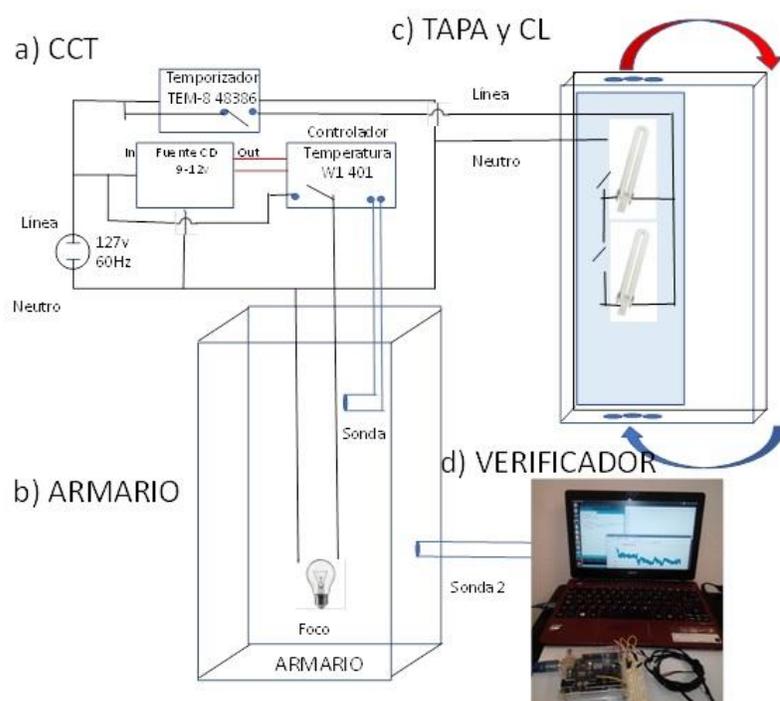


Figura 1. Esquema y diagrama eléctrico. Se muestran los circuitos eléctricos generales desde la alimentación a 127 V al controlador de foto periodo y la reducción del voltaje a 12 V de corriente continua (líneas rojas), que alimentaría al circuito controlador de temperatura.

El circuito del control de temperatura se conecta a la carcasa y la bombilla incandescente velada, que suministra calor. La intensidad de la iluminación se logra mediante un simple circuito de encendido/apagado de las lámparas fluorescentes compactas (LFC).

La puerta o tapa, contiene un compartimento, que contiene LFC's que proporcionan la iluminación. Con el fin, de que las lámparas no introdujeran energía calorífica al interior de la cámara, las lámparas fueron aisladas, permitiendo solo el paso de luz difusa y el calor generado se extrae mediante un sistema pasivo tipo carcasa-tubo. Donde, el aire, por convección fuerza el eficiente el intercambio de calor. Un temporizador, controla el encendido de las LCF's, colocadas en la tapa.

El circuito del verificador se diseñó y construyó empleando una tarjeta Arduino Uno, con un procesador ATmega 328 a 16 MHz y 0.5 KB de memoria interna. La tarjeta se programó en su propio entorno de trabajo (versión 1.7.11, <http://www.arduino.org/downloads>), mediante el puerto USB de una Notebook Acer One procesador AMD E1 a 1 GHz con 2 GB de RAM. El circuito electrónico, emplea una resistencia de $22\text{ K}\Omega \pm 5\%$ y un termistor de $10\text{ K}\Omega$ valor nominal ($7.8\text{ K}\Omega$ reales $35\text{ }^\circ\text{C}$) tal y como se muestra en la Figura 2. El código se desarrolló en ambiente Arduino y fue modificado para ajustarlo a los valores reales del termistor (Monk, 2010).

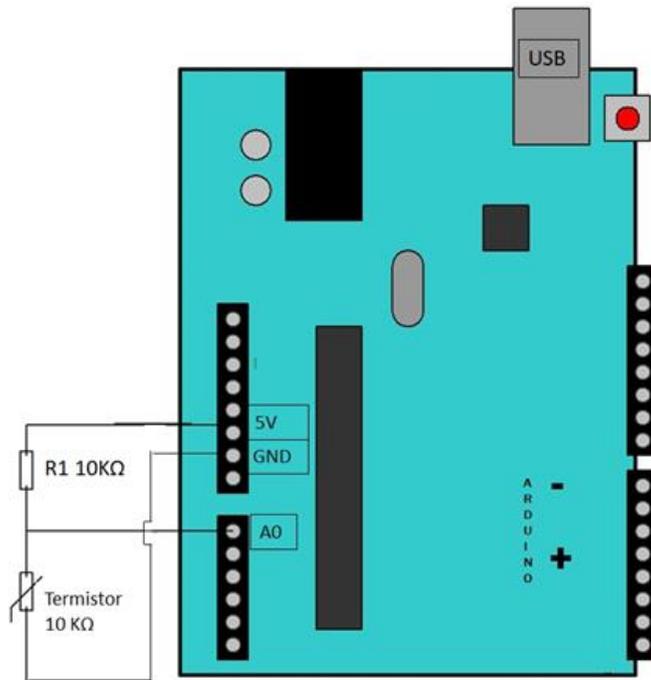


Figura 1. Circuito del verificador, se empleó la salida a 5V, la entrada analógica 0 y la tierra.

Cálculo del rendimiento energético

El consumo eléctrico del germinador, se contrastó con el de una incubadora comercial (Felisa mod. FE-132AD), midiendo la temperatura con el verificador y el consumo eléctrico mediante el multímetro Fluke 377, por 15 min. Con los resultados, se calculó el rendimiento de ambos aparatos, en función del volumen de aire dentro de la cámara de trabajo de los aparatos, en el rango de los 33 a los 36 °C, los resultados se dividieron en dos etapas: el arranque y la operación.

El arranque se consideró de 33-36 °C (aproximadamente 6 min). La etapa de operación se midió desde el minuto 6, hasta los 15 min. Para el cálculo del rendimiento energético, se consideró al sistema como de flujo estacionario. La relación entre calor y cambio de temperatura se expresa normalmente en la forma que se muestra en la ecuación 1, donde C_s es el calor específico. Mientras que la potencia suministrada por la resistencia eléctrica puede ser evaluada por la expresión matemática de la ley de Joule (ecuación 2).

Para los cálculos del calor del sistema (Q), se usó la siguiente fórmula.

$$Q = m C_s (T_2 - T_1) \tag{1}$$

Donde: m = masa promedio del aire; C_s = calor específico del aire a 34.5 °C; T_2 = temperatura final 36 °C; T_1 = temperatura inicial 33 °C.

El valor de Q se relacionó con la potencia eléctrica consumida por la resistencia del elemento calefactor (bombilla vs resistencia encaquetada) de la siguiente forma.

$$Q_{\text{abs}}/W(\text{suministrado}) = \text{rendimiento} \quad 2)$$

Donde: Q_{abs} = es el calor necesario que se suministra a cierta masa para elevar su temperatura; $W(\text{suministrado})$ = es la potencia eléctrica que se necesita para generar el calor Q_{abs} .

Para determinar la eficiencia del germinador (E_{ta}), se calculó la razón entre la potencia obtenida entre la potencia suministrada.

$$\begin{aligned} E_{\text{ta}} &= p_o/p_s \\ E_{\text{ta}} [\%] &= (p_o/p_s) * 100 \end{aligned} \quad 3)$$

Donde: p_o = es la potencia obtenida; p_s = es la potencia suministrada.

Prueba de ensayo de germinación

Se usaron semillas de *C. chinense*, variedad Jaguar, provenientes del Campo Experimental Las Huastecas del INIFAP. Las semillas fueron tratadas por el proveedor con Pirimifos y Thiram 42% y empacadas en una bolsa oscura y al vacío. Posteriormente, se iniciaron los experimentos de pre acondicionamiento para la evaluación del porcentaje de germinación.

El pre acondicionamiento y la germinación se realizaron, en caja Petri de 10 cm de diámetro, en donde se colocaron 2 capas de papel rustico (estraza), grado alimenticio (sin tratamiento químico) y se distribuyeron 20 semillas de manera equidistante, encima de las dos capas de papel y las semillas se colocó una capa de franela previamente lavada con agua destilada por tres ocasiones y secada, sobre de la cual, se vertieron los volúmenes respectivos de agua destilada. En este caso, fueron: 2.5, 3.5 y 7.5 mL. Se eligieron estos volúmenes porque se encontraban alrededor del volumen usado por otros autores para realizar la imbibición de las semillas (Garruña-Hernández, 2014). Se determinó el número de semillas germinadas diariamente, por nueve días. Los resultados se expresaron como porcentaje diario de semillas germinadas

Se construyó el prototipo, con base en el diseño descrito anteriormente, en el laboratorio químico-biológico de la UNPA ubicado en San Juan Bautista, Tuxtepec. Los materiales en su totalidad fueron adquiridos en la región o a través de páginas nacionales no especializadas en componentes electrónicos.

Mediante el sistema de validación basado en Arduino, se monitoreó la temperatura ambiental del laboratorio y al interior del germinador, cada minuto, durante 24 h. El comportamiento de las variaciones de temperatura en un día de trabajo estándar se muestra en la Figura 3.

El promedio de la temperatura diaria dentro del germinador fue de 27.68 ± 0.567 °C, mientras que en el laboratorio fue de 27.97 ± 1.199 °C. Es decir, que la variación de temperatura al interior del germinador se redujo 32% con respecto a la variación de la temperatura ambiental y se logró un mejor control y ajuste a la temperatura deseada. Por otro lado, la variación está dentro del rango de las especificaciones para un germinador de laboratorio exigidas por la ISTA (2017) y de la FAO (2003). Y es similar al reportado para otros germinadores comerciales (Cuadro 1).

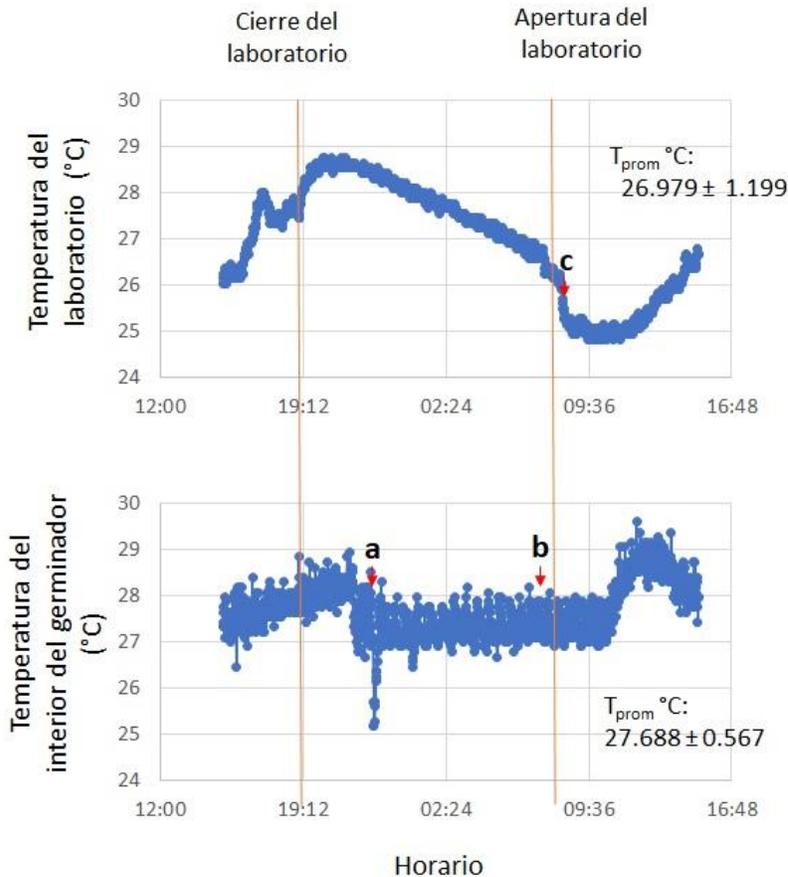


Figura 3. Comparación de variaciones de temperatura entre el interior del germinador y el ambiente. a) corresponde al momento de la apertura de la incubadora para la toma de datos experimentales; b) el momento en el que se encienden las lámparas de iluminación; y c) corresponde al encendido del aire acondicionado del laboratorio.

Comparación de rendimiento energético con una incubadora comercial

El objetivo de diseñar aparatos de bajo costo implica una disminución en los gastos de fabricación y mantenimiento, así como también en los gastos de consumo de energía. Fabricar sistemas eficientes, diseñados para aprovechar al máximo la energía suministrada, tiene una enorme importancia si queremos ahorrar energía. En términos del consumo de energía, un sistema energéticamente eficiente es aquel que tiene un rendimiento máximo; es decir, aprovecha al máximo la energía que le suministramos (Bautista-Guevara, 2013).

Para el cálculo del calor se procedió de la siguiente manera, el germinador tiene un volumen de 225 L (0.225 m³) de aire, usando el valor promedio de la densidad de aire entre 33 y 36 °C (1.135 kg m⁻³) y una atmosfera de presión, se calculó la masa del aire del interior del germinador que fue de 0.2554 Kg. El cambio de temperatura fue de 3 °C (3 °K), usando la ecuación (1) el cálculo de calor nos arroja un valor de 0.775 KJ que es la energía necesaria para pasar de 33 a 36 °C la masa de aire, suponiendo que las paredes del germinador no absorben calor.

Para calcular el rendimiento del germinador, se calculó primero, la potencia de consumo de una resistencia de una bombilla de 100 w nominales para la evaluación de la etapa de arranque. El tiempo que tomó completar el arranque es el mismo para la incubadora comercial y fue de 5 minutos. Con la fórmula para circuitos eléctricos.

$$P= V*I$$

Donde: P= es potencia en watts; V= es voltaje; I= es corriente en amperes.

La potencia está relacionada con la corriente eléctrica que se utiliza a una diferencia de potencial constante, de esta forma, la corriente total del periodo de arranque fue de 3.4 amperes y el voltaje de 120 volts da una potencia de 408 watts usados para elevar la temperatura de una cierta masa de aire en un periodo de tiempo de 6 minutos, su potencia en el tiempo de arranque fue de 2.448 KJ por lo que el rendimiento para el germinador fue de 31.67%.

Para la incubadora comercial se hicieron las mismas mediciones de corriente eléctrica y calentamiento de su masa de aire interna y con los mismos intervalos de temperatura. El volumen usado fue de 84.6 L (0.0846 m³); es decir, una masa de 0.096 kg y con esto el calor necesario para calentar esa masa de aire fue de 0.2915 KJ. Para el cálculo del rendimiento se midió la corriente total utilizada que fue de 6.2 Amperes, la potencia usada fue de 744 watts y el rendimiento fue de 6.53%.

La diferencia en el rendimiento entre la incubadora comercial y el germinador construido fue 25% favoreciendo al germinador, a pesar de la diferencia de masas de aire. El consumo de corriente fue mayor para la incubadora, 6.2 Amperes, mientras que para la germinadora fue de 3.4 Amperes. Finalmente, para probar su funcionamiento el germinador se empleó para determinar el tiempo de germinación para semillas de chile habanero (*Capsicum chinense*) var Jaguar. El cuál es muy apreciado, pero se considera que asincrónico, en su germinación Garruña-Hernández *et al.* (2014).

La germinación se ensayó programando a 28 °C y con diferentes regímenes de suministro de agua 2.5, 3.5 y 7.5 ml de agua (Figura 4). Las diferencias en el porcentaje de germinación observada en los tiempos analizados dependen de el volumen de imbibición y no de la temperatura ($p \leq 0.05$), se encontró además una relación directamente proporcional entre el porcentaje de germinación y el volumen de agua de imbibición con un coeficiente de Pearson = -0.905 y una $p= 0$.

En resumen, se construyó un germinador, con un volumen interno de 225 L, con control automático de fotoperiodo, temperatura y control manual de iluminación. La variación de temperatura es de solo 0.567 °C, el costo total fue de US\$58, lo que lo hace competitivo con respecto a otros germinadores comerciales que pueden llegar a tener un costo de entre US\$1 000 a US\$2 500 y el tiempo de construcción máximo fue de 4 días.

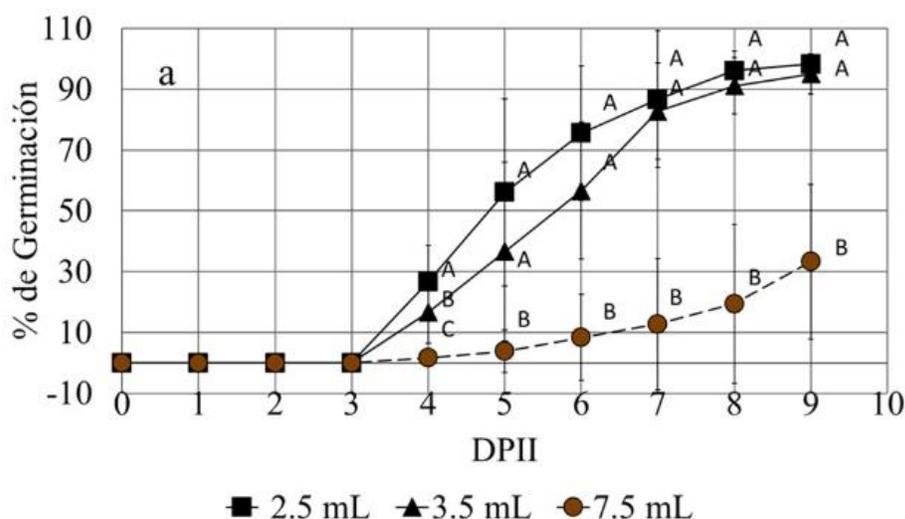


Figura 4. Efecto de diferentes volúmenes de agua de imbibición sobre la germinación de *C. chinense*. Las semillas fueron imbibidas con 2.5 y 3.5 ml de agua destilada, respecto al volumen de referencia (7.5 ml). La germinación se evaluó diariamente.

Conclusiones

En el presente trabajo se construyó un germinador con un costo total de fabricación muy competitivo (\$54.8 USD), aun frente a equipos comerciales no científicos y que no han sido verificados. El elemento verificador, conformado por la tarjeta Arduino y la computadora, permite recoger datos en tiempo real, lo que permite monitorear el funcionamiento y hacer cálculos del desempeño del germinador.

El germinador mostró, tener una alta eficiencia energética, lo que se puede atribuir a factores de diseño, pero también se pueden atribuir a los elementos calefactores. Se propone que, las bombillas incandescentes, son elementos calefactores más eficientes que las resistencias eléctricas encaquetadas, quizá debido a que el filamento de tungsteno requiere menos energía para alcanzar la temperatura umbral y esta temperatura es más alta en el tungsteno (de la bombilla) que en níquel (de la resistencia encaquetada).

Literatura citada

- Bautista, G. F. 2013. Eficiencia energética y conservación de energía: perspectiva para un desarrollo sostenible. *Revista peruana de energía*. 3(1):57-87.
- Borlaug, N. E. y Dowsell, C. 2011. La inacabada Revolución Verde- el futuro rol de la ciencia y la tecnología en la alimentación del mundo en desarrollo. Agbioworld USA. <http://www.agbioworld.org/biotech-info/articles/spanish/desarrollo.html>.
- FAO. 1996. Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde, Cumbre mundial sobre la alimentación. <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612s06.htm>.
- FAO. 2003. Semillas de calidad declarada. <http://www.fao.org/docrep/3/a-a0503s.pdf>.

- Garruña, H. R.; La Tournerie, M. L.; Ayala, G. O.; Santamaría, J. y Pinzón, L. L. 2014. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*. 48(4):413-423.
- Hirst, K. H. 2017. Plant domestication. Table of dates and places. *trought Co.* <https://www.thoughtco.com/plant-domestication-table-dates-places-170638>.
- ISTA. 2017. International rules for seed testing. International seed testing assositing. www.seedtest.org/en/internationalrules-content-1-1083.html.
- Justice, O. L. 1972. Essentials of seed testing. *In: seed biology*. Ed. Kozlowski, T.T. Academic Press New York and London. 3:301-370.
- McDonald, M. B. and Copeland, L. O. 1997. Seed production: principles and practices. Springer US. 749 p.
- McRoberts, M. 2009. Earthshine design arduino starters kit manual - a complete beginners guide to the Arduino earthshine design. <http://math.hws.edu/vaughn/cpsc/226/docs/askmanual.pdf>.
- Monk, S. 2010. 30 Arduino™ projects for the evil Genius™. The McGraw-Hill. USA. 3^{ra}. rev. http://www.honfablab.org/wordpress/alexandria/technology/30Arduino_Projects_EviGenius.pdf.
- Moreno, C. P. 1996. Vida y obra de granos y semillas. Col. La ciencia para todos. 2^a (Ed.). Fondo de Cultura Económica (FCE). México DF.
- Oomen, W. A. and Koppe, R. 1969. Germination cabinets with day and night cycles. *Proc. Int. Seed Test. Ass.* 34(1):103-114.
- Rodríguez, I.; Adam, G. y Durán, J. M. 2008. Agricultura. tecnología. España. 912:836-842. http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri-2008_912_completa.pdf.
- Tapia, A. 2002. El proceso de investigación y transferencia de tecnología en el sector agrícola. La experiencia del INIFAP. *Aportes*. Benemérita Universidad de Puebla (BUAP). Puebla-México. 20(7):179-183.
- Timmis, H. 2011. Practical Arduino engineering. 1^{ra}. (Ed). Apress. USA. 328 p. <http://www.apress.com/us/>.
- Urquía, N. 2014. Transferencia de tecnología en el desarrollo rural. FAO. México, DF. https://coin.fao.org/coinstatic/cms/media/20/13941367738530/fao_transferencia_de_tecnologa_en_el_desarrollo_ganadero.pdf.