

LibreSeed: una sembradora de plantines con hardware y software libre

Leonardo González¹, Daniel Laguía¹, Eder dos Santos¹, Jorge Birgi^{2,3}, Karim Hallar¹, Esteban Gesto¹, and Osiris Sofía¹

¹ Instituto de Tecnología Aplicada

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

{lgonzalez, dlaguia, esantos, khallar, egesto, osofia}@uarg.unpa.edu.ar

² Instituto de Ciencias del Ambiente, Sustentabilidad y Recursos Naturales

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

³ Estación Experimental Agropecuaria Santa Cruz

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

birgi.jorge@inta.gob.ar

Resumen En la provincia de Santa Cruz la producción ovina es la principal actividad agropecuaria, sin embargo se ha evidenciado un deterioro del ambiente y desgaste de recursos que forzaron al cierre de establecimientos rurales. Por otro lado, se ha observado un incremento en el número de productores en el sector de la llamada agricultura familiar. En otro orden, últimamente se ha masificado el acceso a numerosos componentes de bajo costo compatibles con plataformas de software y hardware libre. Este contexto de cambios generó un escenario en donde cobra relevancia una agricultura tecnificada para incrementar la producción y aumentar su diversificación, a fin de sostener la actividad agrícola en la región. Se presenta en este trabajo una sembradora de plantines de hortalizas diseñada con hardware y software libre; se detalla el funcionamiento tanto del sistema mecánico como electrónico y del software implementado, así como algunos avances de las pruebas experimentales.

Keywords: Hardware libre · Arduino · Agricultura familiar

1. Introducción

1.1. Justificación y Contexto

La provincia de Santa Cruz es un territorio ocupado hace más de cien años por parte de pioneros y asociado desde sus primeras décadas a la cría extensiva de ovinos [1]. Sobre este aspecto, [2] manifiesta que “el poblamiento inicial del territorio fue impulsado por el desarrollo de la ganadería ovina extensiva, que ocurrió rápidamente entre 1880 y 1920”, período en el que se consolidó el modelo de producción y exportación aún hoy vigente en gran parte de la Patagonia Austral: la Explotación Ovina Extensiva [1] [2] [3] [4].

Por otro lado, la agricultura familiar consiste en una forma de organizar la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuicultura y pastoreo, que es administrada y operada por una familia y, sobre todo, que depende de forma preponderante del trabajo familiar, tanto de mujeres como hombres. La familia y la granja están vinculados, co-evolucionan y combinan funciones económicas, ambientales, sociales y culturales [7]. Así, la agricultura familiar es un concepto comprendido como una forma de organización que abarca a un grupo grande de personas de distintos orígenes, que mantienen en común la producción de alimentos como forma de vida y no como el desarrollo de una actividad puntual de origen agropecuario [5].

En lo relativo a América Latina, [9] señala el concepto de unidad económica familiar, que se define como “una finca de tamaño suficiente para proveer al sustento de una familia y que en su funcionamiento no requiriese de mano de obra asalariada, sino que pudiese ser atendida con la fuerza laboral de la propia familia”. Según datos de la FAO se pueden encontrar cerca de 16 millones de explotaciones pertenecientes al sector de la agricultura familiar en América Latina y el Caribe; un 56 % se encuentran en Sudamérica y el resto (44 %) se reparten entre México y Centroamérica [7].

La importancia del sector de la agricultura familiar en Argentina puede verse reflejada en factores como su amplia distribución en todo el territorio nacional y la diversidad de los productos que genera. En números, la agricultura familiar argentina abarca unos 86.721 núcleos de agricultura familiar (NAF) y unas 23.516.942 ha, promediando un poco más de 47 ha por explotación [10]; ello representa el 13,5 % del total de las explotaciones del país [6]. Esta superficie constituye una importante cantidad de tierras dedicadas a la producción de alimentos y a un sector que ve favorecidos sus ingresos gracias a la actividad productiva familiar [8].

En la provincia de Santa Cruz los NAF son predominantemente agrícolas y las condiciones climáticas de la provincia influyen de manera significativa en su producción, ya que, comparado con otras zonas productoras del país, el clima templado frío de la mayor parte de la provincia (temperatura medias entre 0 y 12°C) y la intensidad del viento obligan a los productores a proteger los cultivos y seleccionar mejor las especies a implantar. Se identificaron 516 núcleos de agricultura familiar y su principal actividad es puntualmente la producción de hortalizas de hoja, forrajes y frutas finas [5]. Esta actividad, aunque se encuentra muy difundida en la provincia, no incorpora para su funcionamiento avances tecnológicos de relevancia más allá del cultivo bajo cubierta, por lo cual insume para su reproducción una alta cantidad de mano de obra.

Diversos autores sostienen que lograr tecnificar la producción es indispensable para hacerla competitiva, incrementar el rendimiento y aumentar su diversificación [11] [12] [13]. En este sentido, [13] sostiene que el mayor desafío en la agricultura actual es “producir en el campo y entregar al cliente con el mejor precio y la mejor calidad posibles”. El sistema de producción de hortalizas presenta actividades de alta carga de trabajo como la siembra. Si bien existe a nivel mundial maquinaria automatizada para la producción hortícola, estos equipamientos

suelen ser costosos, complejos y de muy difícil adquisición y mantenimiento por parte de productores de pequeña y mediana escala. Así, la automatización de la siembra a bajo costo se presenta como una solución atractiva y novedosa, dados el costo y el tiempo de dicha tarea (en promedio la siembra manual de un bandeja de 128 plantines se lleva a cabo en 10 minutos).

La masificación y la consecuente reducción de los costos en los equipamientos tecnológicos han logrado expandir el abanico de aplicaciones basadas en hardware abierto hacia sistemas de distinta índole tales como los mencionados en [14] [15] [16]. Entre las plataformas de hardware más populares y utilizadas para el desarrollo de dispositivos de medición se encuentran Raspberry Pi [17], Arduino [18] y los dispositivos de The BeagleBoard.org Foundation [19]. De las tres plataformas, Arduino suele ser la alternativa preferida y se debe principalmente a que es una plataforma de hardware y software libre, basada en una placa microcontroladora y con un entorno de desarrollo diseñado para facilitar la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

En este contexto, desde el año 2018 se conformó un grupo interdisciplinario de profesionales de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santa Cruz del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Unidad Académica Río Gallegos de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA-UARG) para trabajar en el desarrollo de un prototipo de sembradora automática de semillas frutihortícolas basada en componentes de hardware y software libres. Se planteó diseñar un prototipo con el fin de facilitar la tarea de siembra a pequeños y medianos productores como una alternativa para tecnificar sus producciones y optimizar esta tarea tan trascendental del sistema de producción familiar.

La construcción de un prototipo de estas características requiere el análisis de distintos factores socioeconómicos y técnicos; en términos de diseño se han tenido en consideración distintos aspectos como el modelado y la construcción de la estructura necesaria, el montaje de los componentes mecánicos y electrónicos, así como el diseño y la implementación del software que permitiese el control y coordinación de los movimientos de los componentes, la interacción con los usuarios y la recolección de los datos referentes a distintos indicadores tales como la productividad y la eficiencia energética.

1.2. Hipótesis de Trabajo

Se plantea que la tecnificación a través del desarrollo del prototipo descrito en este trabajo represente una solución de bajo costo basada en componentes de hardware y software accesibles, que permita incrementar el nivel de tecnificación de los NAF en la región y permita así mejorar la eficiencia de siembra.

Como marco referencial, a partir de un enfoque empírico y considerando que se ha propuesto este dispositivo para la producción a escala familiar, se establecieron inicialmente como métricas: a) una tasa de éxito aceptable entre el 60 % y el 80 % para el número de semillas sembradas; b) el tiempo máximo de 2 minutos para la siembra de cada bandeja de plantines; y c) el uso de hardware y software libre.

2. Materiales y Métodos

En términos generales, el prototipo propuesto consiste en un dispositivo cuyo módulo central es responsable por la recolección y el traslado de las semillas desde un contenedor hacia una superficie sectorizada de bandejas de siembra (speedling), mediante la programación de una cuadrícula de coordenadas (x,y) bajo márgenes de tiempo y precisión satisfactorios.

En un primer momento se realizó un modelo con una herramienta de uso gratuito, OpenSCAD [20]. Esta aplicación permite la programación en un lenguaje de descripción textual utilizando primitivas geométricas para reproducir un modelo 3D. Se puede observar en la Figura 1 el modelo del prototipo propuesto, en el cual se identifica la disposición del módulo central con un sistema de transporte de las semillas, un contenedor de semillas debajo del módulo central y distintas bandejas de sustrato.

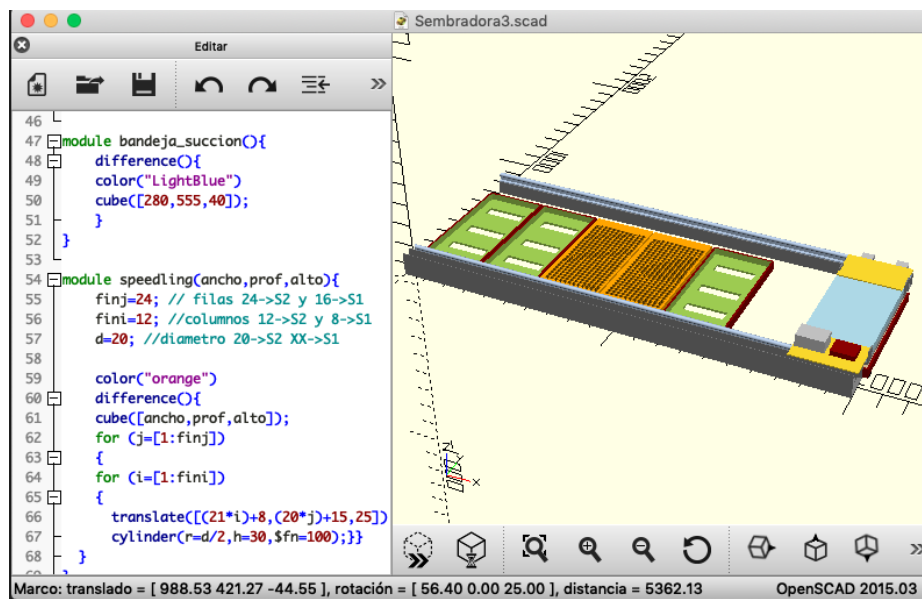


Figura 1: Diseño del prototipo en el software OpenSCAD.

2.1. Selección de Especies

El primer paso para la implementación del dispositivo consistió en determinar las especies de hortalizas para las cuales el dispositivo debería ajustarse mejor en términos de los distintos criterios a tener cuenta, tales como la velocidad de traslado, el tamaño de las bandejas de siembra, la potencia de succión, entre otros. Al respecto, [5] sostiene que a nivel local “las hortalizas más cultivadas

son la lechuga (*Lactuca sativa*), acelga (*Beta vulgaris* L. cicla), repollo (*Brassica oleracea*), ... , habas (*Vicia faba*) y arvejas (*Pisum sativum*)”, entre otras aromáticas y tubérculos.

Las características morfológicas de las semillas de las especies mencionadas anteriormente (en particular el peso, la forma y el tamaño) fueron los factores determinantes para la elección de las especies sobre las cuales se concentraron los esfuerzos y experimentos, éstas fueron la lechuga, rabanito y la acelga. Adicionalmente y en virtud de la similitud en las características mencionadas, se identificaron otras potenciales especies tales como remolacha (*Beta vulgaris*), albahaca (*Ocimum basilicum*), cilantro (*Coriandrum sativum*) y perejil (*Petroselinum crispum*).

2.2. Sistema mecánico

Para el diseño del sistema mecánico, el principal requerimiento fue el esquema básico de funcionamiento de la sembradora; dicho esquema consiste en un módulo principal controlable, responsable por recolectar semillas desde un contenedor, transportarlas y depositarlas sobre las bandejas de sustrato. A partir de ello, inicialmente se arribó a una propuesta en la que los principales componentes mecánicos planteados fueron:

1. un contenedor para las semillas, ubicado en un extremo longitudinal de la estructura;
2. un artefacto capaz de succionar, transportar y soltar las semillas con precisión mediante instrucciones programables;
3. un mecanismo de elevación del módulo central y/o del contenedor de semillas;
4. un medio o mecanismo para el desplazamiento del módulo central desde el contenedor de semillas hacia las bandejas de siembra y vice-versa;
5. motores paso a paso e interruptores de fin de carrera; y
6. una estructura que permita el desecho de posibles excesos de sustrato.

En virtud de las características recopiladas, el prototipo inicialmente propuesto se basó en las siguientes soluciones: para el contenedor de semillas, se decidió realizar una bandeja de material liviano y de fácil manipulación; el componente para transporte de las semillas elegido fue un marco con una placa perforada y un sistema de succión controlable mediante ventiladores o turbinas de bajo consumo; para el mecanismo de elevación se propusieron inicialmente dos alternativas: un sistema de elevación del componente de transporte de semillas y un sistema de elevación del contenedor de semillas - finalmente, se optó por el modelado e impresión 3D de un crique controlado por un motor paso a paso destinado a elevar el contenedor de semillas con un desplazamiento mínimo (<1,5cm) -; para el desplazamiento horizontal, se instalaron poleas, correas y deslizadores modelo slide unit SBR20UU sobre plataformas deslizantes; también se incorporaron interruptores de fin de carrera a palanca de tipo microswitch.

Inicialmente, se pudo constatar que todas las especies seleccionadas podrían ser sembradas en un mismo tipo de speedling, con capacidad para 128 plantines;

ello permitió el uso de una placa perforada con 128 orificios, en la que los orificios se realizaron en las coordenadas correspondientes al centro de cada almácigo.

A partir de ello, se realizaron experimentos con distintas configuraciones combinadas para la cámara de succión. En esta etapa, las principales variables del diseño experimental fueron el material de las placas perforadas, el hardware de succión y el diámetro de los orificios. El objetivo de dichos experimentos fue encontrar la combinación con la mejor tasa de éxito en lo referente a la succión de las semillas.

En lo referente al material utilizado para la construcción de las placas perforadas, se descartaron materiales susceptibles de producir electricidad estática, y se realizaron pruebas con aleación antiestática y policarbonato; la aleación se mostró inapropiada en tanto se corroboró un defecto constructivo (alabeo de la superficie de succión), por lo que se adoptó el policarbonato como material para la elaboración de las placas perforadas.

Una vez seleccionado el material, se realizaron placas perforadas con orificios de diferentes medidas (0.5mm, 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm). Luego de una serie de pruebas de succión, los orificios de 1.5mm resultaron más eficaces en virtud de dos razones: por un lado, los orificios de menor diámetro no lograron una succión apropiada, o bien lograron una tasa de aspiración inferior; por otro lado, se observó que los orificios de 2mm por lo general presentaron dos inconvenientes: el ingreso de semillas a la cámara de succión o la aspiración de más de una semilla por orificio con una frecuencia mayor que los orificios de 1.5mm (estos últimos con una frecuencia poco representativa).

En cuanto a los artefactos de succión, se realizaron pruebas con componentes de distinta potencia - desde ventiladores de tipo fan cooler de baja potencia hasta turbinas centrífugas de 1200W - para exponer el sistema a pruebas de estrés. Como resultado, fueron identificados algunos inconvenientes que impedían el correcto funcionamiento del sistema, relacionados con el vacío excesivo generado por artefactos de elevada potencia tales como el alabeo de la superficie de succión mencionado anteriormente y el doblamiento de las láminas perforadas. A razón de ello, se decidió reforzar la cámara de succión con largueros plásticos interiores. Por otro lado, se reportaron distintas tasas de éxito de acuerdo a los distintos dispositivos empleados, que variaron en promedio entre el 52.34 % y el 73.4 %.

Finalmente, a medida que se avanzó en la construcción y ensamble, fue necesario modelar e imprimir una serie de soportes y bases para los distintos componentes. Todas las piezas se imprimieron con ácido poliláctico (PLA).

La tabla 1 contiene un resumen de los componentes materiales utilizados.

2.3. Sistema electrónico

Para el sistema electrónico, se buscó que todos los componentes fueran modulares y compatibles con el proyecto Arduino. Como núcleo central se eligió una tarjeta controladora de potencia con capacidad para manejar hasta 3 motores paso-a-paso simultáneamente, capaz de entregar hasta 3.5A (corriente máxima instantánea) por cada motor sin dañarse y que se alimenta con una fuente de entre 12 y 36VDC.

Tabla 1: Materiales utilizados en el sistema mecánico.

Material	Cantidad
Guía lineal CNC	2
Rodamiento lineal CNC	4
Base	1
Listones	1
Plataforma deslizante	1
Piñón	1
Correa	1
Bandeja de succión de policarbonato	1
Bandeja de succión metálica	1
Sujeciones plásticas listones	4
Base plástica - tarjeta potencia	1
Base plástica - controlador Arduino	1
Base plástica - fuentes de alimentación secundarias	2
Cadena porta cable plástica	1
Sistema de elevación PLA	1

La tarjeta controladora elegida cuenta con selectores microswitch para ajustar la resolución de los micro pasos (microstepping) a 1, 1/2, 1/8 y 1/16 de paso, por cada uno de los canales. El gobierno de la tarjeta se realiza mediante tres tipos de señales digitales: E (habilitación, activo bajo, única para todos los motores), STEP (tren de pulsos que indica avanzar un paso por cada pulso, uno por cada motor, ya sea x, y o z) y DIR (dirección, una por cada motor).

Las entradas de la tarjeta utilizada poseen módulos optoacopladores para proteger a la electrónica de control externa (controlador Arduino), y la lógica de generación de las secuencias para cada fase del motor es interna, proporcionando así un cierto grado de abstracción al programa de control.

Para el gobierno de la tarjeta de potencia se utilizó la tarjeta microcontroladora Arduino Uno Rev3, basada en el microprocesador ATmega328P de 8 bits. Dispone de 14 puertos de entrada/salida (seis de las cuales se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un reloj a 16MHz basado en un oscilador a cristal (XTAL), una conexión USB, un puerto de alimentación tipo "Jack", un conector de hilera de pines ICSP y un botón de reposición (reset).

Se han configurado dos motores paso-a-paso híbridos bifásicos de la clase NEMA 23 para realizar los movimientos según los ejes X (horizontal) e Y (vertical). Los motores proporcionan un par mecánico de retención de 25 kg cm y funcionan a pasos de 1.8°.

La cámara de succión se configuró con dos turbinas ventiladoras de tipo fan cooler de bajo costo para crear un vacío parcial. Estos ventiladores son similares a los normalmente empleados como dispositivos de refrigeración en equipos servidores, se alimentan a 12VDC y consumen 0.6A cada uno. Asimismo, se instaló un relay de apagado y encendido.

Para la comunicación con aplicaciones externas, se disponían de dos tarjetas: Arduino Ethernet Shield, que permite conectar al controlador Arduino a Inter-

net utilizando una librería Ethernet, y el interruptor WiFi (Sonoff), que es un dispositivo de potencia que se conectó a la fuente de alimentación principal con el objeto de hacer pruebas de control remoto a través de aplicaciones móviles.

Finalmente, se utilizó una fuente de alimentación principal AC/DC conmutada 24 VDC con una capacidad máxima de corriente de 15A, suficiente para alimentar a toda la electrónica; asimismo se utilizaron dos fuentes de alimentación secundarias del tipo DC/DC conmutadas, alimentadas desde la fuente principal y capaces de entregar hasta 3A cada una: éstas se destinaron a alimentar al controlador Arduino a 9VDC, así como a los ventiladores de aspiración a 12VDC.

La figura 2 presenta un diagrama esquemático en el que se puede observar el conexionado entre los componentes eléctricos y electrónicos de la sembradora (la tarjeta de comunicaciones Ethernet se ha omitido por claridad). La tabla 2 contiene un resumen de los componentes empleados.

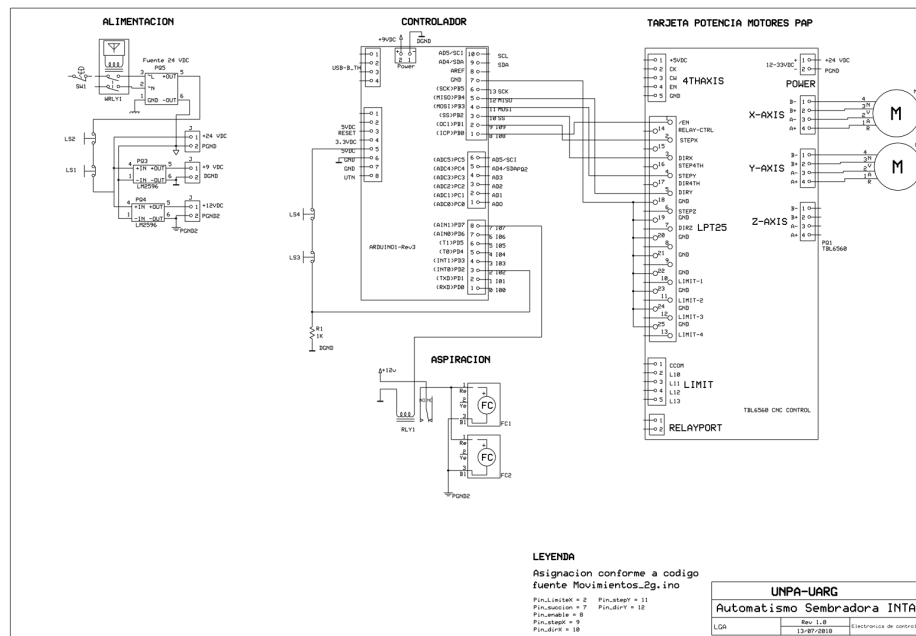


Figura 2: Esquema del sistema electrónico.

Tabla 2: Componentes empleados en el sistema electrónico.

Componente	Tipo / Modelo	Cantidad
Controlador	Arduino UNO Rev3	1
Tarjeta de comunicaciones Ethernet	Arduino Ethernet Shield	1
Tarjeta controladora CNC de 3 ejes	TBL 6560	1
Fuente de alimentación principal	Switching 220VAC/24VDC, 15A	1
Fuente de alimentación secundaria	Switching LM2596 DC-DC, 3A	2
Motor paso a paso NEMA23	SuncorMotor SC57STH97-3004A	2
Ventilador para succión	Sanyo San Ace 40 (12Vdc, 0.6A)	2
Final de carrera	Microswitch con palanca	2
Relé optoacoplado	Tongling JQC-3FF-S-Z, 5VDC	1
Interruptor inalámbrico	Sonoff Wifi	1
Sensor de proximidad	Módulo infrarrojo FC-51	1

2.4. Firmware / Software

Inicialmente, el microcontrolador se encarga de controlar el movimiento de los motores paso a paso, contar los ciclos de siembra realizados y el tiempo de operación correspondiente; los datos se envían por puerto Ethernet o WiFi, según el medio disponible.

El movimiento de los motores fue inicialmente determinado por el flujo de trabajo resumido en los siguientes pasos:

1. Calibración previa del dispositivo para posicionar el módulo de succión sobre el contenedor de semillas; la calibración se lleva a cabo en base a desplazamientos del módulo hasta los topes de fin de carrera.
2. Una vez activado el sistema, el flujo principal de funcionamiento se resume en una serie de pasos secuenciales e iterativos, a saber:
 - a) Elevar el contenedor de semillas;
 - b) Activar la succión;
 - c) Descender el contenedor de semillas;
 - d) Desplazar el módulo de succión; la cantidad de pasos (y la correspondiente distancia del recorrido) es establecida de acuerdo a un contador de bandejas de siembra;
 - e) Una vez alcanzada la cantidad de pasos, se desactiva la succión para el depósito de las semillas en bandeja;
 - f) Desplazamiento del módulo de succión hacia el contenedor de semillas.

Cabe resaltar que la cantidad de iteraciones es programable de acuerdo a la cantidad de bandejas de siembra que se dispongan; también se implementaron mecanismos para que fuera posible interrumpir el sistema en cualquier momento. Luego de realizar una corrida completa, la máquina se detiene, permitiendo al operador el reemplazo de los speedling ya sembrados por otros con el sustrato.

En lo referente a los tiempos de ejecución, los valores, establecidos en segundos, se definieron considerando los pasos de forma secuencial. Para mover el eje Y (contenedor de semillas) se consideró 1 segundo en cada sentido; Las pruebas

de calibración realizadas permitieron establecer los siguientes tiempos: para mover el eje Y (contenedor de semillas), se adoptó 1 segundo en cada sentido; se definió una duración de 2.5 segundos para cada uno de los pasos realizados por la cámara de succión (succión y liberación de semillas).

Los tiempos de traslado sobre el eje X desde el contenedor de semillas hasta las bandejas de plantines se calcularon de acuerdo a la velocidad de los motores paso a paso (pasos/s) y la cantidad de pasos necesaria para el desplazamiento sobre el eje X: para la primera bandeja se calcularon 667 pasos (aproximadamente 3,335 segundos) la segunda bandeja implicó 1334 pasos (aproximadamente 6,67 segundos), y así sucesivamente. De este modo, los tiempos de ejecución obtenidos fueron de 13.67s para 1 bandeja, 34.01s para 2 bandejas, 61.02s para 3 bandejas y 94.70s para 4 bandejas (valores aproximados medidos por software).

Una vez finalizado y corroborado el funcionamiento inicial del programa, se aplicaron técnicas de refactoring [21] sobre el código fuente. Se puede apreciar a continuación un tramo del código en el Cuadro 1.1.

La interacción con el usuario se hizo inicialmente mediante el shield Arduino Ethernet y la configuración del WebServer de la librería Ethernet de Arduino; luego se implementó un actuador a través del interruptor WiFi (Sonoff), con el objeto de lograr el control de manera remota; para ello se utilizó la aplicación móvil WeLink y el servidor Amazon AWS Global Server.

Cuadro 1.1: Ejemplo de código Arduino escrito en C

```
void mover(int motor, long pasos, boolean direccion,
           long velocidad)
{
    long semiciclo;
    semiciclo = (long) 500/velocidad;

    digitalWrite(Pin_dirX, direccion);
    digitalWrite(Pin_enable, LOW);

    ...

    for(long i=0; i <= pasos; i++) {
        digitalWrite(Pin_stepX, HIGH);
        delay(semiciclo);
        digitalWrite(Pin_stepX, LOW);
        delay(semiciclo);
    }
}
```

3. Resultados y Discusión

Se presenta en la tabla 3 un resumen de las pruebas de los componentes utilizados para el montaje de la cámara de succión sobre la placa de policarbonato perforada con orificios de 1.5mm. La columna Cantidad se refiere al total

de componentes instalados y utilizados en simultáneo. La columna Tasa corresponde a la tasa promedio de semillas absorbidas; la variación entre muestras (se realizaron 5 pruebas por componente) no fue significativa (≤ 5 sobre 128 semillas). La avería del componente 2 ocurrió durante una prueba de inversión de flujo. Dados los resultados descritos, se adoptó el componente 4 (2 turbinas axiales 12V) para los experimentos posteriores.

Tabla 3: Dispositivos de succión testeados

Componente	Cantidad	Tasa	Inconvenientes
1. Turbina centrífuga 1200W	1	–	Vacío excesivo
2. Turbina axial (12V, 1.88A)	1	73.40 %	Avería
3. Turbina centrífuga (12V, 0.27 A)	2	52.34 %	–
4. Turbina axial (40mm, 12V, 0.6A)	2	61.72 %	–

En virtud de los tiempos de ejecución y tomando como referencia la tasa de acierto de 61.72 % obtenida en las pruebas de succión (lo que representa un promedio de 79 semillas por cada bandeja de 128 plantines), se pudo establecer un coeficiente de siembra definido por la razón de plantines por minuto. Como la única medida de tiempo variable en el proceso es el desplazamiento sobre el eje X, no se consideró pertinente incrementar la capacidad del dispositivo en lo referente al número de bandejas de plantines. Por último, y visto que se esperaba un margen de acierto del 60 % y un tiempo máximo de 2 minutos por bandeja, se puede constatar que el dispositivo ha superado los valores de referencia en ambos criterios.

4. Conclusiones

El avance de la tecnificación agrícola ha aumentado la productividad a escala global, gracias entre otros factores, a la incorporación de nueva maquinaria y equipo con soluciones tecnológicas cada vez más avanzadas y accesibles. En este contexto, el propósito del presente trabajo fue presentar el diseño y describir la implementación de un prototipo de sembradora automática de plantines de hortalizas basada en hardware y software libre como una solución tecnológica de bajo costo destinada a los núcleos de agricultura familiar de la Provincia de Santa Cruz.

Desde la perspectiva tecnológica, se corroboró la capacidad operativa de la plataforma libre Arduino para la construcción del prototipo.

El análisis de distintos factores técnicos y de la coyuntura socioeconómica conllevaron a orientar el diseño hacia la siembra de semillas de una variedad de hortalizas ampliamente producidas a nivel local, tales como lechuga, rabanito y acelga.

Las pruebas experimentales permitieron registrar tasas de éxito de siembra y tiempos de producción dentro de los valores inicialmente planteados para el desarrollo del prototipo.

No obstante, si bien es posible decir que el dispositivo desarrollado representa potencialmente una solución acorde a los objetivos planteados (en tanto se utilizaron componentes libres de bajo costo y se logró un coeficiente de eficiencia de siembra dentro de los parámetros propuestos), la identificación de inconvenientes implica la necesidad de analizar la performance de otros materiales y componentes, con vistas a mejorar el rendimiento en trabajos futuros.

Finalmente, se plantea para nuevos trabajos un análisis pormenorizado sobre un mayor volumen de datos que permitan dar cuenta de la efectividad del dispositivo en instancias que superan el alcance de este trabajo.

Referencias

1. Andrade, L. Oliva, G. Bedacarratax, V. Alvarez, R.: Otoño en la estepa: ambiente, ganadería y vínculos en la Patagonia Austral. Buenos Aires: La Colmena, 2010. ISBN 978-987-9028-73-5.
2. Barbería, E.: Los dueños de la tierra en la Patagonia Austral, 1880-1920. Universidad Federal de la Patagonia Austral, 1995. ISBN 987-99921-1-3.
3. Giberti H.: Historia económica de la ganadería argentina. Hyspamérica 1a. ed. Solar, 1980.
4. Lafuente, H.: La región de los Césares. Apuntes para una historia económica de Santa Cruz. Buenos Aires: Editorial de Belgrano, 1981.
5. Birgi, J.: La agricultura familiar en Santa Cruz y las frutas finas como alternativa productiva. Tesis en: Maestría en Desarrollo de Zonas Áridas y Semiáridas. Universidad Nacional de Santiago del Estero, 2018.
6. de Obschatko, E. S., del Pilar Foti, M., Román, M. E.: Los pequeños productores en la República Argentina: importancia en la producción agropecuaria y en el empleo en base al censo nacional agropecuario 2002. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Dirección de Desarrollo Agropecuario: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura- Argentina, 2007. ISBN 978-987-9184-54-7.
7. Agricultores Familiares: Alimentar al mundo, cuidar al planeta. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2014. <http://www.fao.org/3/mj760s/mj760s.pdf>
8. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2014. CEPAL, FAO e IICA, Santiago de Chile.
9. Maletta H.: Tendencias y perspectivas de la Agricultura Familiar en América Latina. Documento de Trabajo No. 1. Proyecto Conocimiento y Cambio en Pobreza Rural y Desarrollo, 2011. Rimisp, Santiago, Chile.
10. Caracterización estadística por región. Registro Nacional de la Agricultura Familiar, 2014.
11. Jaiganesh, S., Gunaseelan, K., Ellappan, V.: IOT agriculture to improve food and farming technology. En: Conference on Emerging Devices and Smart Systems (ICEDSS), Tiruchengode, 2017. <https://doi.org/10.1109/ICEDSS.2017.8073690>
12. Prathibha, S. R., Hongal, A., Jyothi, M. P.: IOT Based Monitoring System in Smart Agriculture. En: International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology (ICRAECT), Bangalore, 2017, pp. 81-84. <https://doi.org/10.1109/ICRAECT.2017.52>

13. Shenoy, J., Pingle, Y.: IOT in agriculture. En: 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi.
14. Jindarat, S., Wuttidittachotti, P.: Smart farm monitoring using Raspberry Pi and Arduino. En: International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT), Kuching, 2015, pp. 284-288.
15. Bekaroo, G., Santokhee, A.: Power consumption of the Raspberry Pi: A comparative analysis. En: IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies (EmergiTech), Balaclava, 2016, pp. 361-366.
16. Wickert, A.: The ALog: Inexpensive, Open-Source, Automated Data Collection in the Field. Bulletin of the Ecological Society of America (2014). <https://doi.org/10.1890/0012-9623-95.2.68>
17. <https://www.raspberrypi.org>
18. <https://www.arduino.cc>
19. <https://beagleboard.org>
20. <https://www.openscad.org>
21. Fowler, M.: Refactoring: Improving the Design of Existing Code. Boston, MA, USA: Addison-Wesley (1999). ISBN: 0-201-48567-2