

Implementación robótica con Arduino para hidroponía en sistema NTF

Esteban Bladimir Hernández Martínez

Escuela de Ciencias, Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca, Av. Universidad S/N, C. P. 68120, México

Resumen

El objetivo principal del presente estudio fue analizar si es posible, a través de tecnologías de Arduino, tener un sistema automatizado para la implementación en un sistema NTF de hidroponía. La metodología que se utilizó fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, lo que nos permitió elegir los materiales a utilizar de acuerdo a su bajo costo y usabilidad. La investigación evidenció que es posible implementar nuevas alternativas de cultivo con muy bajo costo, de fácil armado y puesta en marcha. Se puede concluir que el sistema de automatización con Arduino UNO en un sistema NTF es factible, ya que los resultados fueron favorables en el cultivo de la lechuga. En este estudio, se permite evidenciar que las nuevas tecnologías aplicadas a la seguridad alimentaria son de fácil acceso y con costos bajos al alcance de una gran parte de la población mundial.

Palabras clave: Arduino, ntf, hidroponía, automatización.

Abstract

The main objective of this study was to analyze if it is possible, through Arduino technologies, to have an automated system for implementation in an NFT Hydroponic system. The methodology used was experimental with a quantitative approach, allowing us to choose materials based on their low cost and usability. The research showed that it is possible to implement new cultivation alternatives with very low cost, easy assembly, and startup. It can be concluded that the automation system with Arduino UNO in an NFT system is feasible, as the results were favorable in lettuce cultivation. This study allows us to demonstrate that new technologies applied to food security are easily accessible and have low costs within reach of a large part of the world's population.

Introducción

La agricultura desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de

México. Sin embargo, el sector agrícola enfrenta desafíos significativos, entre ellos la escasez de recursos clave como agua y tierras cultivables. Estos desafíos amenazan con afectar la capacidad del país para garantizar un suministro sostenible de alimentos para su creciente población. En este contexto, surge la necesidad apremiante de adoptar nuevas tecnologías para superar los obstáculos y transformar la agricultura mexicana en un sistema más eficiente, sostenible y resiliente. Pues algunos fenómenos como la escasez de agua, limitación de tierras cultivables, mano de obra escasa, cambio climático y la necesidad de eficiencia y sostenibilidad han permeado tan fuerte que cada vez es más necesario proponer técnicas y alternativas para el cultivo y asegurar la alimentación en los hogares de nuestro país. Es por ello que se propone una alternativa de cultivo de hortaliza (lechuga) con hidroponía a través de nuevas tecnologías de robótica utilizando microcontroladores, en este caso, la placa Arduino para su realización, utilizando una metodología experimental y cuantitativa que nos permite elegir la tecnología a costos más asequibles y de instalación sencilla.

Marco teórico

Es ampliamente reconocido que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha establecido en su agenda 2030 los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que se presentan como el plan maestro para alcanzar un futuro sostenible para toda la humanidad. Estos objetivos están interconectados y abordan los desafíos globales que enfrentamos cotidianamente, como la pobreza, la desigualdad, el cambio climático, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia (<https://www.un.org>, 2023).

Según el informe de las Naciones Unidas correspondiente a 2023, se destaca que el número de personas que sufren hambre e inseguridad alimentaria ha continuado aumentando desde 2015. La pandemia, los conflictos, el cambio climático y las crecientes desigualdades han

exacerbado esta situación. En 2022, aproximadamente el 9.2% de la población mundial enfrentaba hambre crónica, lo que equivale a unos 735 millones de personas, representando un aumento de 122 millones en comparación con 2019. Se estima que el 29.6% de la población mundial, es decir, 2400 millones de personas, experimentaba inseguridad alimentaria moderada o grave, indicando la falta de acceso a una alimentación adecuada. Esta cifra refleja un preocupante aumento de 391 millones de personas en comparación con 2019.

A pesar de los esfuerzos globales en 2022, se calcula que 45 millones de niños menores de 5 años sufrían emaciación, 148 millones enfrentaban retraso en el crecimiento y 37 millones presentaban sobrepeso. Se requiere una alteración fundamental en la dirección actual para lograr los objetivos nutricionales establecidos para 2030.

Para alcanzar el objetivo de Hambre Cero en 2030, es imperativo emprender medidas coordinadas urgentes e implementar soluciones normativas que aborden las arraigadas desigualdades, transformen los sistemas alimentarios, inviertan en prácticas agrícolas sostenibles, y reduzcan y mitiguen los efectos de los conflictos y la pandemia en la nutrición y la seguridad alimentaria a nivel mundial (Naciones Unidas, 2023).

A nivel mundial, la seguridad alimentaria ha experimentado un impacto significativo. En 2022, la prevalencia de la subalimentación se mantuvo constante en comparación con 2021, después de un aumento notable en 2020 debido a la pandemia y un incremento más moderado en 2021. En ese año, la proporción de la población mundial que enfrentaba hambre crónica fue del 9.2%, en comparación con el 7.9% registrado en 2019, afectando a aproximadamente 735 millones de personas y representando un aumento de 122 millones desde 2019. Además, se estima que 2400 millones de personas, equivalente al 29.6% de la población mundial, experimentaban inseguridad alimentaria de moderada a grave, indicando la falta de acceso regular a alimentos adecuados (Naciones Unidas, 2023).

Ante esta realidad, es imperativo proponer nuevas alternativas para respaldar al sector agrícola y, por ende, al cultivo de alimentos. México enfrenta una creciente escasez de agua, exacerbada por fenómenos climáticos extremos y la sobreexplotación de los recursos hídricos. La agricultura, históricamente uno de los mayores consumidores de agua, se ve amenazada por la insuficiencia de este recurso vital. La adopción de tecnologías que optimicen el uso del agua en la agricultura es esencial para asegurar la continuidad

de la producción de alimentos. Además, la limitada disponibilidad de tierras cultivables es otro desafío significativo para la agricultura mexicana. El crecimiento demográfico y la urbanización han reducido las áreas disponibles para la agricultura, intensificando la presión sobre la producción de alimentos. La implementación de tecnologías que permitan maximizar el rendimiento en espacios reducidos, como la agricultura vertical y la hidroponía, se vuelve crucial para superar esta limitación y aumentar la productividad.

La hidroponía, derivada del griego hydro (agua) y ponos (labor de trabajo), es un sistema de producción en el cual las raíces de las plantas no se encuentran en el suelo, sino en un sustrato o en la misma solución nutritiva utilizada. En la solución nutritiva, se disuelven los elementos necesarios para el crecimiento de la planta (www.intagri.com, 2023). La escasez de mano de obra agrícola persiste como un problema en México, ya que el trabajo en el campo a menudo se percibe como agotador y poco atractivo. La introducción de tecnologías automatizadas y robóticas puede aliviar este problema al encargarse de tareas repetitivas y físicamente exigentes, permitiendo que la fuerza laboral se enfoque en actividades más especializadas y estratégicas.

La robótica, entendida como el estudio de los robots, máquinas capaces de realizar trabajos humanos, ya sea de manera autónoma o con la guía de una persona, es una disciplina interdisciplinaria que surge de la intersección de la ciencia, la ingeniería y la tecnología. Involucra el diseño, desarrollo, programación, producción y aplicación de robots (Universidad ORT Uruguay, 2023).

La creciente conciencia acerca de la importancia de la sostenibilidad agrícola exige la implementación de prácticas y tecnologías que reduzcan el impacto ambiental de la agricultura. La adopción de técnicas agrícolas más eficientes, como la precisión en el uso de insumos y la gestión inteligente de residuos, se vuelve crucial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del sector. En resumen, la agricultura en México se encuentra en una encrucijada crítica debido a la escasez de recursos y a la necesidad de alimentar a una población en crecimiento. La introducción de nuevas tecnologías emerge como una solución clave para abordar estos desafíos, permitiendo una agricultura más inteligente, eficiente y sostenible. La adopción de estas innovaciones no solo es esencial para asegurar la seguridad alimentaria, sino que también contribuirá al desarrollo económico y medioambiental del país.

Para respaldar a los productores, es fundamental promover la adopción de tecnologías asequibles en los cultivos. Se buscan constantemente equipos funcionales

de origen internacional, y en este sentido, se propone la plataforma Arduino, la cual es una plataforma electrónica de código abierto que utiliza hardware y software de fácil manejo. Las placas Arduino tienen la capacidad de interpretar diversas entradas, como la luz en un sensor, la presión en un botón o un mensaje de Twitter, para luego convertirlas en salidas específicas, como activar un motor, encender un LED o publicar información en línea. Se le indica a la placa qué hacer mediante un conjunto de instrucciones enviado al microcontrolador de la misma. Este proceso se realiza mediante el lenguaje de programación Arduino, basado en Wiring, y el Software Arduino (IDE), fundamentado en Processing (Arduino, 2023).

La elección de Arduino se justifica debido a que su software es amigable para principiantes y, al mismo tiempo, lo suficientemente versátil para satisfacer las necesidades de usuarios avanzados. Este programa es compatible con sistemas operativos como Mac, Windows y Linux. Tanto profesores como estudiantes lo utilizan para construir instrumentos científicos de bajo costo, realizar experimentos en química y física, o adentrarse en el mundo de la programación y la robótica. Asimismo, diseñadores y arquitectos lo emplean para crear prototipos interactivos, mientras que músicos y artistas lo integran en instalaciones y exploran nuevos instrumentos musicales. Por supuesto, los creadores confían en Arduino para materializar muchos de los proyectos presentados en eventos como la Maker Faire. Arduino se erige como una herramienta esencial para adquirir nuevos conocimientos, siendo accesible para cualquier persona, ya sea niños, entusiastas, artistas o programadores, quienes pueden comenzar a experimentar siguiendo instrucciones paso a paso de un kit o compartiendo ideas en línea con otros miembros de la comunidad Arduino.

Existen numerosos microcontroladores y plataformas de computación física disponibles en el mercado. Alternativas como Parallax Basic Stamp, BX-24 de Netmedia, Phidgets, Handyboard del MIT, entre otras, proporcionan funciones similares. Todas estas herramientas se buscan simplificar los intrincados detalles de la programación de microcontroladores al presentarlos de manera accesible y fácil de utilizar. Aunque Arduino comparte la misma premisa de simplificar el trabajo con microcontroladores, destaca por ofrecer ciertas ventajas significativas para profesores, estudiantes y entusiastas en comparación con otros sistemas (arduino, 2023).

Se sugieren sistemas de cultivo hidropónico debido a las ventajas significativas que ofrecen. La hidroponía emerge como una solución para abordar el cambio climático, la degradación ambiental y la extinción de especies

derivadas de la sobreexplotación y los cultivos intensivos. Este método posibilita un uso más eficiente del agua, un recurso cada vez más limitado. Además, los cultivos hidropónicos presentan una mayor rentabilidad y son más fáciles de controlar, convirtiéndose así en una herramienta efectiva para combatir el hambre y fortalecer la seguridad alimentaria, especialmente en naciones en desarrollo. De acuerdo con la consultora Berkshire Hathaway, se proyectó que el mercado global de la hidroponía alcanzaría los 725 millones de dólares en 2023, con una tasa de crecimiento anual compuesto del 18,1%. La hidroponía también se integra en las últimas tendencias del smart farming o agricultura de precisión, que emplea herramientas tecnológicas como la geolocalización, el big data, la inteligencia artificial, el internet de las cosas o los drones para maximizar el rendimiento de los cultivos. Las primeras granjas de hidroponía vertical, auténticos rascacielos dedicados al cultivo de plantas, ya están en construcción en Drotten (Holanda), un país donde la disponibilidad de suelo y luz solar es limitada (Iberdrola, 2023).

Metodología

Se llevó a cabo una investigación de campo experimental con el propósito de identificar los alcances y las restricciones de la propuesta, así como los elementos que integran la problemática, en este caso el cultivo de alimentos sanos y de calidad a través de la innovación con tecnologías de fácil acceso, se realizaron pruebas estructuradas a partir de la aproximación de la problemática. El resultado de esta etapa fue la reformulación de la problemática y del proyecto de tecnificación, seleccionando lo más simple y de fácil adquisición, sin dejar de lado la calidad en la funcionalidad y producción, así como de los elementos utilizados durante el proceso.

Se identificaron, diseñaron y agruparon los códigos de programación que, de acuerdo con los resultados sean los más simples y funcionales posibles para llegar al proceso deseado, esto con el fin de no crear un complejo sistema de programación.

Se detectó, clarificó y diagnosticó el problema de investigación, (Bernal, 2010) en su obra Metodología de la investigación define la investigación experimental de la siguiente forma:

La investigación experimental se caracteriza porque en ella el investigador actúa conscientemente sobre el objeto de estudio, en tanto que los objetivos de estos estudios son precisamente conocer los efectos de los actos producidos por el propio investigador como mecanismo o técnica para probar sus hipótesis. (p.117).

Se le dio un enfoque cuantitativo, puesto que se midieron los tiempos de respuesta con tres componentes de temporización, los cuales fueron: la placa de Arduino UNO, Timer 555, módulo RTC de Arduino, estas mediciones nos dieron el enfoque cuantitativo que nos arrojaron los resultados con los que se decidió la implementación del sistema.

Se pensó en tres posibles propuestas para el disparo del relevador que accionaría la bomba de agua, el Timer 555 (figura 1), el módulo RTC de Arduino (figura 2) y la salida directa de las terminales de la placa Arduino UNO (figura 3), en un análisis de los tres circuitos de acción de disparo para el relevador, se observó que el accionamiento del relevador en cuanto a tiempo es el mismo, el voltaje suministrado a la carga con la misma fuente de 12 volts varía en Arduino UNO de 11.8 volts, con el timer 555 se obtiene un voltaje de 11.6 volts y con el RTC se obtiene 11.7 volts en la carga, como se observa en la tabla 1.

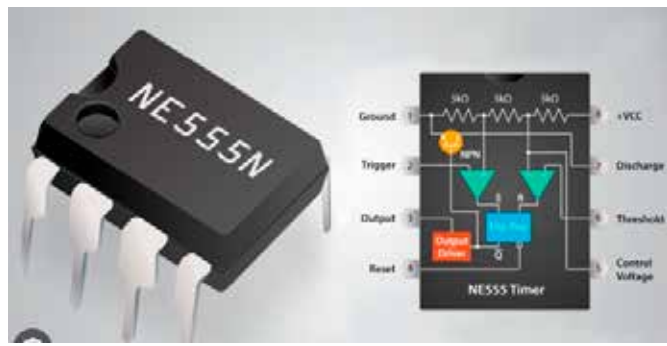


Figura 1 Circuito timer 555. Fuente: AG electrónica.



Figura 2. Módulo RTC para Arduino



Figura 3. Placa Arduino UNO. Fuente: AG Electrónica

Tabla 1. Validación de disparador de relevador para activar la bomba

Dispositivo	Arduino UNO	Timer 555	RTC
Tiempo de respuesta	0.01 seg	0.01 seg	0.01 seg
Voltaje de salida del relevador a la bomba de agua	11.8 v	11.6 v	12 v
Accesorios al circuito	0	3	1

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se hizo un análisis de accesorios para accionamiento de la bomba de agua, se concluye que, por practicidad, por disminución de accesorios al circuito y por disminución de costos, el sistema de accionamiento es placa de Arduino UNO como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Costos de circuitos para el accionamiento del relevador

Costo	Placa Arduino UNO	Placa Arduino UNO con Timer 555	Placa Arduino UNO con módulo RTC
Valor en pesos mexicanos	\$ 164	\$230	\$253

Fuente: Elaboración propia.

Una vez elegido el circuito se procedió a la programación de la Placa Arduino UNO con las conexiones para el relevador (figura 4) que acciona a la bomba (figura 5) y su diagrama de patillado.



Figura 4. Módulo de Relevador para Arduino.
Fuente: www.arduino.cc



Figura 5. Bomba de agua para pecera.
Fuente: AG electrónica

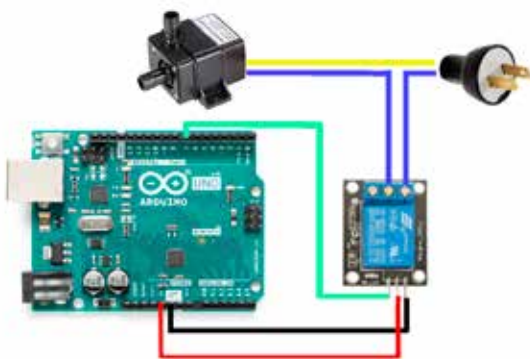


Figura 6. Diagrama de conexión. Fuente: elaboración propia

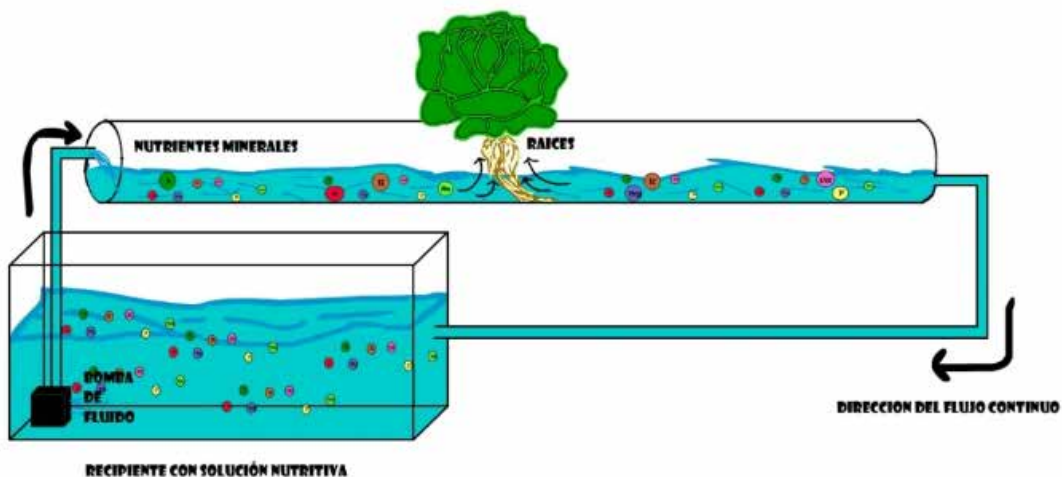


Figura 7. Sistema NTF. Fuente: Elaboración propia

Se procedió a elaborar el código de manera que fuera lo más sencillo y fácil posible para que al implementarlo, no hubiera problema, como se muestra en la figura 6.

Se muestra el código del programa:

```
int bomba=7; //Se declara la variable bomba de tipo entero y se asigna al pin 7
void setup()
{ pinMode(bomba, OUTPUT); // se declara el pin 7 como salida.}
void loop()
{ digitalWrite(bomba, HIGH); delay(900000); // Quince minutos de prendido
  digitalWrite(bomba, LOW); delay(60000); // Diez minutos apagado}
```

Se implementó el sistema NFT para la inserción de plántulas de lechuga que previamente habían germinado. Este método de recirculación fue desarrollado en la década de los 60 en Inglaterra por el Dr. Allan Cooper y se conoce como 'la técnica de la película nutritiva'. Actualmente, es uno de los sistemas hidropónicos más ampliamente utilizados. La película de solución nutritiva se dirige de manera continua o intermitente a través de las raíces de las plantas, como se ilustra en la figura 7. Este sistema prescinde de sustrato, ya que las raíces son soportadas por un canal de cultivo. Desde sus inicios hasta la fecha, el sistema NFT ha sido principalmente empleado para la producción de hortalizas de alta calidad. Su uso se ha difundido globalmente, especialmente en regiones con limitaciones de suelo y mercados con demanda de hortalizas frescas, seguras y de calidad (Fertilab, 2019).



Figura 8. Implementación del sistema NTF. Fuente: elaboración propia

Se implementó un tubo de pvc de 3 pulgadas con orificios de 2 pulgadas a cada 20 centímetros, en el extremo se colocó una reducción de 3 pulgadas a 2 pulgadas para el drenado de la solución nutritiva y el fluido continuo,

el objeto de estudio fue en un tubo de 3 pulgadas de 6 metros de largo, con un total de 32 orificios para 32 lechugas. Véase figura 8.



Figura 9. Sistema NTF funcionando con Arduino. Fuente: elaboración propia

El sistema completo implementado estuvo prendido sin interrupción durante 40 días como se muestra en la Figura 9, después de esta fecha las lechugas estaban listas para su cosecha.

Resultados

Se observó que la implementación del sistema con Arduino fue confiable; no hubo ningún problema de sobrecarga ni interrupciones en el sistema. La placa de Arduino se colocó en una caja plástica para protegerla de la intemperie. Esto permitió el flujo de la solución nutritiva desde el bote de 20 litros a través de la manguera conectada a la bomba y puesta en un extremo del sistema NFT, como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Sistema NFT recirculante funcionando. Fuente: Elaboración propia

Después de 40 días, las lechugas se cosecharon. Alcanzaron un buen tamaño y buen sabor, además de estar sanas, con solo un bote de agua de 20 litros con nutrientes que está recirculando por el tubo de pvc. Figuras 11, 12 y 13.



Figura 11. Crecimiento de la hortaliza. Fuente: Elaboración propia



Figura 12. Cosecha de la lechuga. Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Cosechando lechugas saludables. Fuente: Elaboración propia

Se observa que la implementación de Arduino para cultivo hidropónico en un sistema NFT es simple y, en este sentido, se hizo el mínimo de intervención en el cultivo de esta hortaliza que representa una alternativa a la seguridad alimentaria en Oaxaca, México y en el mundo donde se requiera. De las 32 lechugas sembradas en este sistema, se cosecharon 32 lechugas de buen tamaño y con buen sabor.

Además, el sistema implementado es útil para nuevas plántulas que se requieran sembrar, o que ya estén en proceso de trasplante después de su germinación. Esto constituye un ahorro en la economía, pues una vez instalado, ya no es necesario hacer más gastos en la compra de equipo electrónico o de nuevas líneas de código, ya que una vez configurado, guarda la programación incluso si hubiera un corte de energía eléctrica. En tal caso, solo es necesario volver a conectar el circuito y seguirá con su función.

Discusión

Una vez implementado el sistema con Arduino UNO, es posible concluir que es una técnica alternativa y de bajo costo que podría ser implementada para negocios en el sentido de comercializar este tipo de hortaliza, dado que el circuito y la carga son de bajo consumo. Además, es fácil y práctico. En esta investigación se propone implementarlo de la manera más simple y sencilla posible, de tal forma que no se requiera ser experto en ingeniería o robótica; con conocimientos básicos de computación y electrónica es suficiente. Por otro lado, al pensar en las necesidades a las que nos enfrentamos a nivel mundial y con las actividades propias que ocupan a la población, es una

buen opción, ya que este sistema requiere muy poca o casi nula atención. Una vez puesto en marcha, el sistema funciona.

Por otro lado, el encarecimiento de los productos alimentarios hace difícil su adquisición. Esto conlleva no solo al consumo de alimentos de baja calidad, o en su defecto comida chatarra, que aportan muy bajos niveles nutricionales al cuerpo humano. Es por ello que también es una buena opción para autoconsumo, pues no solo es posible implementarlo en pequeños espacios con muy poca agua, sino que también es de fácil armado y con materiales comunes, eliminando así los riesgos de enfermedades crónicas degenerativas.

Conclusiones

Tras examinar los resultados, se deduce que la implementación de soluciones sencillas podría constituir una respuesta efectiva para el cultivo destinado al autoconsumo. Adicionalmente, los niños afectados por problemas de malnutrición, como el retraso del crecimiento (baja estatura para la edad), la emaciación (bajo peso para la estatura), las carencias de micronutrientes y el sobrepeso, enfrentan un mayor riesgo de sufrir un desarrollo inadecuado. A pesar de los avances registrados en algunas regiones, la malnutrición

infantil sigue siendo una preocupación a nivel mundial, exacerbada por la actual crisis alimentaria y nutricional, afectando principalmente a países de bajos y medianos ingresos.

En 2022, el 22,3 % de los niños menores de 5 años (148 millones) sufrían retraso del crecimiento, en comparación con el 26,3 % en 2012. Aunque la cantidad de países con una alta prevalencia en el retraso de crecimiento (30 % o más) disminuyó de 47 a 28 entre 2012 y 2022, ninguna región está encaminada para alcanzar la meta de reducir en un 50 % el número de niños que lo sufren para el año 2030. Si las tendencias actuales persisten, alrededor de 128,5 millones de niños seguirán experimentando retraso del crecimiento en 2030. Para cumplir con la meta global, se requiere un aumento en la tasa anual de reducción, 2,2 veces el ritmo actual (Naciones Unidas, 2023).

Es imperativo actuar con prontitud y adoptar medidas rápidas, simples y eficaces para promover prácticas alimentarias saludables en las futuras generaciones y aplicar los conocimientos en la práctica.

Agradecimientos

A Cory, Sofy, Dana, Anie y Lucas por su apoyo incondicional en estas aventuras únicas.

Referencias

1. Arduino. (2023). Arduino.
2. Bernal, C. A. (2010). Metodología de la investigación. Colombia: PEARSON EDUCACIÓN.
3. Fertilib. (2019). Fertilib.
4. Naciones Unidas. (2023). Objetivos de Desarrollo Sostenible.
5. Iberdrola. (2023). Hidroponía: qué es y ventajas.
6. Naciones Unidas. (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
7. Universidad ORT Uruguay. (2023). ¿Qué es la robótica y cuáles son sus usos?
8. Intagri. (2023). La hidroponía: cultivos sin suelo.