



ISSN 2215-2202

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost>



Artículo científico

Plaguicidas y seguridad alimentaria: una evaluación del periodo de carencia en el cultivo de repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) en Nicaragua

Víctor Hugo Rodríguez-Salguera^{1/*}, Ariana Rebecca Sánchez-Arias²

Autor para correspondencia. Correo electrónico: victor.rsalguera@ci.una.edu.ni

¹Universidad Nacional Agraria (UNA), Dirección de Ciencias Agrícolas, Managua, Nicaragua.

²Ingeniera en Sanidad Vegetal, Nicaragua.

DOI: <https://doi.org/10.15517/dg18bj58>

Recibido el 25 de noviembre del 2024; Aceptado el 20 de junio del 2025

Resumen

Introducción. Los plaguicidas son una herramienta indispensable para la agricultura. En el cultivo de repollo, esta dependencia hace necesario identificar las moléculas químicas que se utilizan y con ello, entender que consecuencias pueden tener en los consumidores. Un criterio agronómico crítico es el periodo de carencia (PC), cuyo cumplimiento garantiza que un plaguicida se disipe a niveles seguros previo a la cosecha. **Objetivo.** Identificar los principales ingredientes activos (IA) usados en el manejo de plagas del cultivo de repollo y el cumplimiento del PC. **Materiales y métodos.** Se aplicaron 79 encuestas para recolectar datos sobre IA, en formato físico y con la aplicación móvil KoboCollect. Los nombres fueron corroborados en bases de datos como Pesticides Properties Data Base, entre otras. Para los datos sobre PC se utilizó un libro de registro, donde entre otros aspectos, se anotaron los productos aplicados. Como estrategia de recolección de datos se utilizó el muestreo de bola de nieve y por conveniencia. **Resultados.** Se identificaron 74 IA mediante encuestas, incluyendo insecticidas (42%), fungicidas (38%), fungicidas-bactericidas (12%) y herbicidas (8%). Los IA más utilizados fueron profenofos, carbendazim, sulfato de cobre pentahidratado y glifosato. De los libros de registros, se documentaron 52 IA en 330 aplicaciones de plaguicidas. Entre estas, el 36% de los IA y el 16% de las aplicaciones no cumplieron con el PC. Además, el 39% de los productores no cumplió con este criterio en al menos una aplicación. El uso de IA no autorizados en repollo y desconocimiento del PC fueron hallazgos notables. **Conclusión.** El uso de IA no autorizados y el incumplimiento del PC representan un riesgo significativo para la salud pública.

Estos hallazgos resaltan la urgente necesidad de supervisión regulatoria e intervenciones educativas para promover el uso seguro de plaguicidas en los sistemas de producción de repollo.

Palabras clave: ingredientes activos; categoría toxicológica; periodos de retiro; límite máximo de residuos; salud pública.

Scientific article

Abstract

Pesticides and food safety: An assessment of the Pre-Harvest Interval compliance in cabbage cultivation (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) in Nicaragua

Introduction. Pesticides are essential tools in agricultural production. In crops like cabbage, their intensive use requires identifying the active ingredients (AIs) applied and evaluating their implications for consumer's health. One critical agronomic criterion is the pre-harvest interval (PHI), which ensures that pesticide residues dissipate to safe levels before harvest. **Objective.** To identify the main AIs used in pest management of cabbage crops in Nicaragua and assess compliance with the PHI established by manufacturers. **Materials and methods.** Seventy-nine surveys were conducted, in physical format and using the KoboCollect mobile application to gather data on pesticide use. The AIs were verified using international databases such as the Pesticide Properties Database. Additionally, twenty pesticide application record books were collected from producers to analyze PHI compliance. A snowball and convenience sampling strategy were employed. **Results.** A total of 74 AIs were identified through surveys, including insecticides (42%), fungicides (38%), fungicide-bactericides (12%), and herbicides (8%). The most frequently used AIs were profenofos, carbendazim, copper sulfate pentahydrate, and glyphosate. From the record books, 52 AIs were documented across 330 pesticide applications. Among these, 36% of AIs and 16% of applications did not comply with the PHI. Furthermore, 39% of producers failed to meet this criterion in at least one application. The use of non-authorized AIs for cabbage and the lack of awareness regarding PHI were notable findings. **Conclusion.** The use of unauthorized or hazardous AIs and the lack of PHI fulfillment represent a significant risk to public health. These findings highlight the urgent need for regulatory oversight and educational interventions to promote safe pesticide use in cabbage production systems.

Keywords: active ingredients; toxicological category; Pre-harvest period; maximum residue limit; public health.

Introducción

Aunque el origen del cultivo del repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) no está completamente definido, algunos estudios lo sitúan en el Mediterráneo oriental (Mabry *et al.* 2021, Cai *et al.* 2022). Sin embargo, se estima que su domesticación ocurrió alrededor del 2560 a. C. (Mabry *et al.* 2021). Desde entonces, esta especie ha enfrentado diversas plagas que no solo reducen significativamente su rendimiento productivo, sino que también incrementan los costos de producción.

Históricamente, debido a la aparición de insectos, enfermedades y malezas que limitan la producción de repollo, los productores han recurrido al uso de plaguicidas químicos sintéticos (Weinberger y Srinivasan 2009, Diallo *et al.* 2021). Estos plaguicidas ofrecen un control rápido y efectivo sobre las poblaciones de plagas que dañan significativamente los cultivos, en contraste con otros métodos de manejo que requieren periodos más largos para suprimir estas poblaciones. Desde esta perspectiva, el uso de plaguicidas ha permitido manejar las plagas y mantener rendimientos competitivos, tanto en el repollo como en los sistemas agrícolas en general (Carvalho 2017).

Estudios actuales, revelan que los plaguicidas más utilizados en el cultivo de repollo incluyen los insecticidas organofosforados (Weinberger y Srinivasan 2009, Biradar *et al.* 2020, Diallo *et al.* 2021) y las diamidas, estas últimas consideradas de nueva generación (Biradar *et al.* 2020). En cuanto a los fungicidas, los más comunes son los ditiocarbamatos y los benzimidazoles (Weinberger y Srinivasan 2009).

Esta dependencia tiene consecuencias sociales significativas. La exposición continua a plaguicidas específicos ha incrementado el riesgo de enfermedades como el cáncer, entre otros efectos crónicos y agudos. Este riesgo proviene tanto del consumo de residuos en alimentos como de la exposición ocupacional de trabajadores y residentes cercanos a los campos de producción (Parrón *et al.* 2014, Mocarizadeh *et al.* 2015).

Estas externalidades económicas negativas derivadas del uso de plaguicidas en la agricultura a menudo se asocian con el desconocimiento de los usuarios sobre los posibles impactos de estos productos. Esto ocurre a pesar de la existencia de un sistema globalmente armonizado para la clasificación y el etiquetado de productos químicos, que establece los criterios necesarios para la comercialización de estos productos y garantiza que los usuarios estén adecuadamente informados sobre su uso seguro (WHO 2020).

Uno de estos criterios es el intervalo previo a la cosecha o PC, definido y establecido por el fabricante. Este criterio indica el tiempo requerido para que los residuos del plaguicida se disipen del cultivo, ya que intervienen procesos fisiológicos y factores ambientales (Farha *et al.* 2016, Fantke *et al.* 2014).

Este periodo debe ser suficiente para que la concentración del IA del producto químico esté por debajo de los Límites Máximos de Residuos (LMR) legalmente establecidos para su consumo. En síntesis, representa el tiempo entre la última aplicación de un plaguicida en un cultivo y su cosecha o consumo. Cumplir con este criterio garantiza que los alimentos consumidos estén libres de residuos de plaguicidas, lo cual contribuye a la protección de la salud pública (Sawant 2022).

Por otro lado, aunque en el pasado (Cole *et al.* 1988) y recientemente (Díaz 2020) en Nicaragua se han realizado estudios para determinar residuos de plaguicidas en alimentos vegetales, no se han llevado a cabo investigaciones específicas para identificar las causas de la presencia de estos residuos en los alimentos.

Por lo anterior, el propósito de este estudio fue identificar los plaguicidas utilizados en zonas productoras de repollo en Nicaragua y, mediante una metodología sencilla y sin precedentes, evidenciar el cumplimiento o incumplimiento del intervalo previo a la cosecha; como causa potencial de la presencia de residuos en el cultivo, y con ello generar un insumo que pueda servir de fundamento para el diseño e implementación de políticas públicas orientadas a prevenir la presencia de residuos en alimentos.

Materiales y métodos

Ubicación del estudio

La investigación se desarrolló en el macizo montañoso central de Nicaragua, en América Central, y abarcó comunidades ubicadas en las zonas aledañas a las reservas naturales de Miraflores y El Tisey, en el departamento de Estelí; la Reserva Natural Datanlí-El Diablo, en los departamentos de Matagalpa y Jinotega; y la Reserva El Jaguar, en Jinotega. Según estadísticas del Ministerio Agropecuario, aproximadamente el 80% del repollo producido en el país proviene de estos departamentos (MAG 2023). El estudio se llevó a cabo durante el segundo ciclo de producción agrícola, en los años 2020 y 2022 (**Figura 1**). En total, se trabajó en 30 comunidades distribuidas en los municipios de Estelí (11 comunidades), San Nicolás (4), Jinotega (7), San Rafael del Norte (3) y Matagalpa (5).

Recolección de información

Con el objetivo de identificar, entre otros aspectos, los grupos químicos empleados por los productores en el manejo fitosanitario del cultivo de repollo en el área de estudio, se diseñó una encuesta semi estructurada.

En total, se aplicaron 79 encuestas en dos fases: en el año 2020 se realizaron 33 formularios en formato físico en comunidades del departamento de Estelí, mientras que en 2022 se aplicaron 46 mediante la aplicación móvil *offline* KoboCollect, versión 3.6 (KoboToolBox 2022) en los departamentos de Jinotega y Matagalpa.

El método de muestreo empleado fue no probabilístico, y se utilizó una combinación de estrategias por conveniencia y bola de nieve. Se seleccionaron aquellos productores que manifestaron disposición para participar en el estudio, estableciéndose como criterio de inclusión que fueran productores activos del cultivo de repollo con un mínimo de cinco años de experiencia en el rubro. A cada participante, se le solicitó identificar a otros productores activos en la zona, quienes, a su vez, proporcionaron referencias sobre su ubicación y formas de contacto, lo que facilitó así la expansión progresiva de la muestra.

Previo al inicio formal de la recolección de datos, se aplicó el instrumento a cinco productores con el objetivo de validar su contenido y estructura. Esta fase piloto permitió identificar preguntas relevantes que debían ser incorporadas, así como eliminar ítems redundantes o innecesarios, lo que mejoró la calidad y pertinencia del cuestionario final.

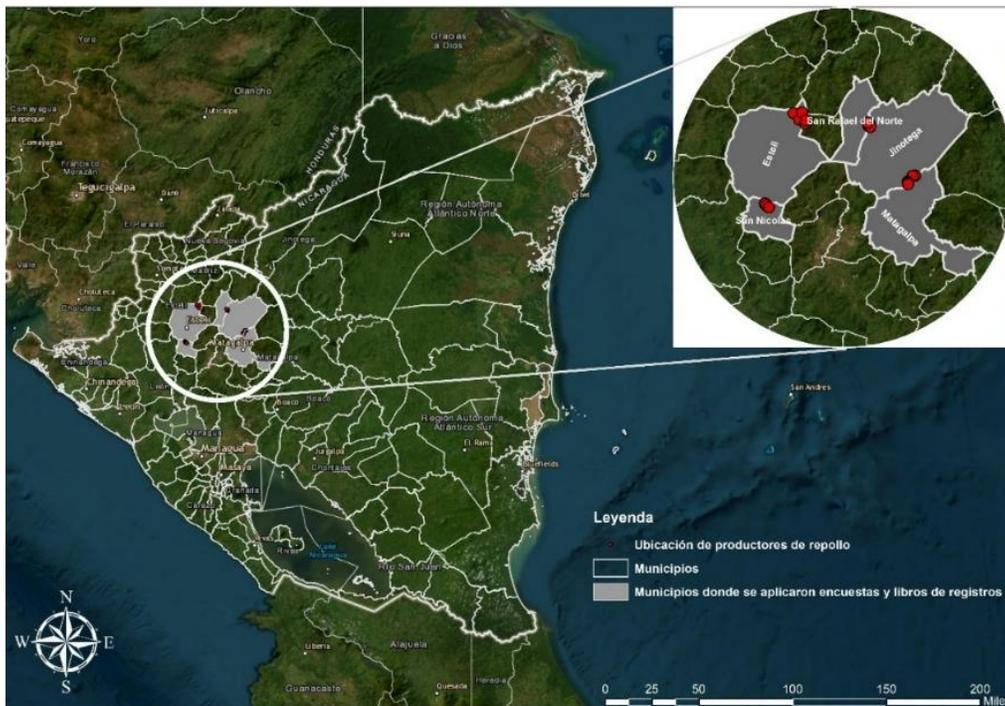


Figura 1. Ubicación del sitio de estudio en los departamentos de Matagalpa, Jinotega y Estelí.

Figure 1. Location of the study site in the departments of Matagalpa, Jinotega, and Estelí.

A todos los productores, se les entregó un libro de registro para anotar fechas de siembra, aplicaciones, tipo de producto y su justificación. En total, se recopilaron 20 libros de registro con información completa y considerada confiable. Para garantizar la calidad de los datos, se realizó un seguimiento sistemático al proceso de llenado, tanto de forma presencial como mediante comunicación telefónica.

En el libro de registro, se solicitó la siguiente información: fecha de establecimiento del cultivo, fecha de aplicación del plaguicida, etapa del cultivo, nombre comercial del plaguicida, formulación del plaguicida, dosis y justificación de la aplicación. Para verificar la exactitud de la información proporcionada, durante las visitas de seguimiento, se tomaron fotografías de los envases de los plaguicidas y de los panfletos.

Los productos químicos registrados, tanto en las encuestas como en los libros de registros, se cotejaron con bases de datos internacionales como PubChem, Pesticides Properties Data Base, Pesticides Chemical Search, EU-Pesticides Data Base y entre otras, el Manual de Plaguicidas de Centroamérica.

Cálculo del cumplimiento del periodo de carencia

Para verificar el cumplimiento de los periodos de carencia, se extrajeron de los libros de registro las fechas de establecimiento del cultivo, fechas de la última aplicación del plaguicida y fecha de la cosecha. Al restar la fecha de cosecha de la fecha de aplicación, se obtuvo el número de días entre la aplicación y la cosecha, denominado Periodo Previo a la Cosecha (PPC), que representa los días transcurridos desde la aplicación del producto hasta la cosecha. A este número, se le restó el PC sugerido por el fabricante, y si la diferencia era positiva, indicaba que el producto aplicado cumplía con este; de lo contrario, no.

Esta lógica puede resumirse en la siguiente ecuación:

$$CPC = PPC - PC$$

Donde:

CPC = Cumplimiento del periodo de carencia expresado en número de días positivos o negativos.

PPC = Número de días transcurridos entre la aplicación del plaguicida y la cosecha.

PC = Número de días, que, según el fabricante, deben de transcurrir para que los residuos del plaguicida estén por debajo de los límites máximos permisibles.

Análisis de los datos

Una vez descargados de la plataforma KoboToolBox, los datos sobre IA de plaguicidas, junto con la información procedente de los libros de registro, fueron sistematizados y depurados en el programa Excel.

Para representar gráficamente los IA y el PC, se consideró el factor espacio, ya que el número de IA identificados fueron 74 y el número de aplicaciones registradas por última vez para cada IA fueron 115. Para ello, se utilizaron gráficos de barras circulares, los cuales se procesaron en el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE por sus siglas en inglés) RStudio del lenguaje de programación estadística R (R Core Team 2024), versión 4.3.3 (2024-02-29). Para ello, se utilizó la librería tidyverse (Wickham *et al.* 2019). El código ejecutable fue extraído de la plataforma From Data to Viz (Holtz 2022) y se modificaron algunos elementos de este, de acuerdo con la naturaleza de los datos del estudio.

Resultados y discusión

Como resultado de las encuestas aplicadas, se identificaron un total de 42 grupos químicos utilizados como productos fitosanitarios en el cultivo de repollo. De estos, 20 grupos representan más del 90% de la frecuencia total de uso, destacándose los organofosforados, *Bacillus thuringiensis*, ditiocarbamatos, piretroides y compuestos inorgánicos a base de cobre (**Tabla 1**), coincidiendo con los hallazgos de Weinberger y Srinivasan (2009) y Diallo *et al.* (2021) donde, respectivamente, los agricultores de repollo en India y Senegal utilizan principalmente insecticidas pertenecientes a los grupos químico organofosforados y piretroides para combatir insectos plagas, principalmente *Plutella xylostella* (Linneaus 1758).

Asimismo, a través de las encuestas, se identificaron 74 IA que se utilizan como estrategia de supresión de plagas en el cultivo de repollo. De estos, el 42% (31) son insecticidas (I), 38% (28) son fungicidas (F), 12% (9) son fungicidas-bactericidas (F-B) y el 8% (6) son herbicidas (H) (**Figura 2**). Entre los insecticidas más utilizados está el *B. thuringiensis*, profenofos, indoxacarb, cipermetrina y clorantraniliprol, con frecuencias de 77, 42, 40, 34 y 31 respectivamente.

Aunque las aplicaciones de *B. thuringiensis* no sugieren un efecto perjudicial para las personas, se ha demostrado que su uso frecuente ha provocado que *P. xylostella*, la principal plaga del cultivo de repollo (Furlong *et al.* 2013), desarrolle resistencia (Pérez y Shelton 1997, Jiang *et al.* 2015).

Esta resistencia es consecuencia de la presión genética a la que esta plaga es sometida por el uso constante de un mismo IA. Este fenómeno también se ha observado con otros insecticidas, reportados en este estudio, como cipermetrina, clorantraniliprol, indoxacarb y profenofos (Pérez *et al.* 2000, Khaliq *et al.* 2007, Dunn *et al.* 2022, Pudasaini *et al.* 2022, Shehzad *et al.* 2023).

Basado en lo anterior, se vuelve necesario estudiar la tolerancia que esta plaga ha desarrollado a los principales IA acá reportados, que sirva como base para el establecimiento de un programa de monitoreo y manejo de la resistencia a la gama de productos, tanto autorizados como no autorizados, para su control. De lo contrario, los costos productivos podrían incrementarse significativamente a mediano y largo plazo (Furlong *et al.* 2013).

En cuanto al manejo de enfermedades en el cultivo de repollo, se observó una marcada preferencia por el uso de fungicidas sistémicos y de contacto. Los IA más utilizados fueron el carbendazim (57 aplicaciones), propineb (36), mancozeb (30), clorotalonil (26) y el difenoconazol (12). Por su parte, los ditiocarbamatos, como el propineb y el mancozeb, también presentaron un uso significativo, lo cual es consistente con lo reportado por Weinberger y Srinivasan (2009), quienes señalaron que estos IA son comúnmente preferidos por los productores en sistemas hortícolas intensivos por su bajo costo y amplio espectro de acción.

Con respecto a los fungicidas-bactericidas, predominó el uso de compuestos inorgánicos y antibióticos de amplio espectro. El sulfato de cobre pentahidratado fue el más empleado (41 aplicaciones), seguido por la oxitetraciclina (16), clorhidrato de oxitetraciclina (12), sulfato de gentamicina (12) y estreptomycin (10). Lo anterior indica una estrategia preventiva contra patógenos de origen bacteriano, posiblemente asociada a condiciones de alta humedad, típico en el macizo montañoso nicaragüense.

Para la supresión de arvenses, se emplean IA como el glifosato, paraquat, oxifluorfen y fluazifop-p-butyl, con frecuencias absolutas de aplicación de 48, 31, 31 y 26, respectivamente. Estos herbicidas presentan distintos modos de acción. El glifosato y el Fluazifop-p-butyl, son herbicidas sistémicos, el primero con un espectro de acción amplio, mientras que el segundo es específico para gramíneas. Por otro lado, el paraquat y oxifluorfen son herbicidas de contacto. Ambos presentan un espectro de acción amplio, con mejor eficacia sobre dicotiledóneas y algunas gramíneas en estados fenológicos tempranos.

Tabla 1. Grupos químicos utilizados en el manejo fitosanitario del cultivo de repollo en los departamentos de Estelí, Matagalpa y Jinotega.

Table 1. Chemical groups used in the phytosanitary management of cabbage crops in the departments of Estelí, Matagalpa, and Jinotega.

Grupos químicos	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Organofosforados	98	9,87
Bacillus thuringiensis	77	7,75
Ditiocarbamatos	66	6,65
Piretroides	62	6,24
Inorgánico	60	6,04
Benzimidazoles	58	5,84
Avermectinas	48	4,83
Glicinas	48	4,83
Diamidas	44	4,43
Oxadiazinas	40	4,03
Carbamatos	32	3,22
Bipiridilos	31	3,12
Éteres de difenil	31	3,12
Triazoles	30	3,02
Tetraciclina	28	2,82
Ariloxifenoxi-propionatos	26	2,62
Cloronitrilos	26	2,62
Neonicotinoides	23	2,32
Análogo de la Nereistoxina	22	2,22
Benzoilureas	19	1,91
Pirroles	18	1,81
Espinosinas	14	1,41
Aminoglucósido	12	1,21
Fenoxi-carboxilatos	12	1,21
Glucopiranosilo	10	1,01
Cianoacetamida-oxima	10	1,01
Fosfonatos de etilo	7	0,70
Metoxi-carbamatos	7	0,70
Oximino-acetatos	7	0,70
Hexopiranosilo	5	0,50
Metoxi-acrilatos	5	0,50
Fenilpirazoles	4	0,40
Ftalimidas	2	0,20
Oxazolidina-dionas	2	0,20
Piridina-carboxamidas	2	0,20
Acilalaninas	1	0,10
Amidas de ácido cinámico	1	0,10
Amidas del ácido modélico	1	0,10
Benzotiazol	1	0,10
Piperidinil-tiazol-isoxazolinas	1	0,10
Tiofanato	1	0,10
Triazinonas	1	0,10

En general, de acuerdo con el sistema de clasificación de peligro de plaguicidas de la Organización Mundial de la Salud, de los 74 IA acá reportados, 3 plaguicidas (oxamil, forato y terbufos) se clasifican como extremadamente peligrosos (Ia), 20 como moderadamente peligrosos (II), 9 como levemente peligrosos (III) y 42 se consideran improbables para presentar un peligro agudo (U) (**Figura 2**).

Según la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNRCST 2023), existen 39 marcas comerciales y 13 IA de plaguicidas autorizados para el repollo en Nicaragua. De estos, solo cinco marcas comerciales y cuatro IA (lambda cihalotrina, cipermetrina, clorantraniliprol y clorotalonil) se reportan están siendo utilizados por los productores de repollo en Nicaragua, lo que puede causar problemas de residualidad en el cultivo, ya que se utilizan productos no sugeridos para ser aplicados en crucíferas. Además, es evidente que se utilizan más plaguicidas de banda azul, verde y amarilla, pero eso no significa menos riesgo en la salud, pues la EPA (2022) ha clasificado a la cipermetrina (azul) y al clorotalonil (verde) como posibles cancerígenos para humanos. Este último también es considerado como posiblemente cancerígeno por Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés).

Otros IA reportados en este estudio como el glifosato, diazinon y el 2-4-D han sido clasificados por la IARC (2023) como posibles (2B) y probables (2A) carcinogénicos. Esto indica que, aunque los plaguicidas utilizados sean de una clasificación baja según su toxicidad aguda, no significa que no puedan tener un efecto crónico, ya que estos IA también poseen disolventes y vehículos inertes que representan un riesgo a la salud. Esto puede ocasionar problemas a largo plazo, entre los que se pueden mencionar carcinogenicidad, genotoxicidad, problemas reproductivos, trastornos del crecimiento y problemas endocrino disruptores (Carvalho 2017, Martin-Reina *et al.* 2017, Jkanović 2018, Mitra y Maitra 2018). Estos efectos pueden ser más dañinos cuando no se respeta el periodo de retiro del plaguicida aplicado, como se reporta a continuación.

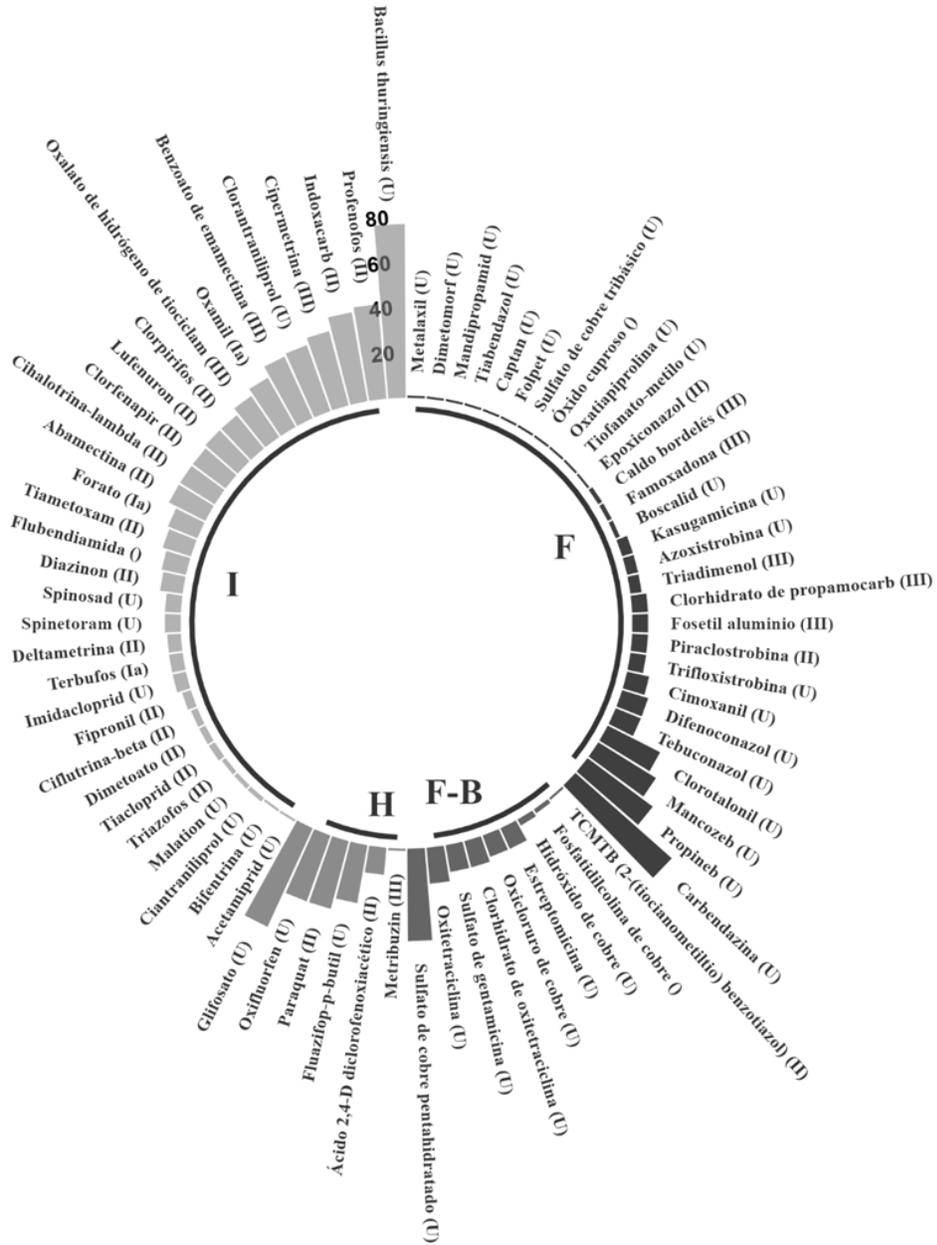


Figura 2. Frecuencias absolutas de IA utilizados como plaguicidas en el cultivo de repollo en los departamentos de Estelí, Matagalpa y Jinotega; clasificados por actividad biocida y clase toxicológica. I: Insecticidas; F: Fungicidas; F-B: Fungicidas-Bactericidas; H: Herbicidas. TCMTB: 2-tiocianometil benzoiazol. Ia: Extremadamente peligroso; II: moderadamente peligroso; III: Levemente peligroso; U: No peligroso.

Figure 2. Absolute frequencies of active ingredients (AIs) used as pesticides in cabbage cultivation in the departments of Estelí, Matagalpa, and Jinotega, classified by biocidal activity and toxicological class. I: Insecticides; F: Fungicides; F-B: Fungicide-Bactericides; H: Herbicides. TCMTB: 2-thiocyanomethylbenzothiazole. Ia: Extremely hazardous; II: Moderately hazardous; III: Slightly hazardous; U: Unlikely to present acute hazard.

Basados en la información rescatada de los libros de registro de 20 parcelas y 18 productores, en el cultivo de repollo se aplicaron 52 ingredientes activos. El número de aplicaciones totales aplicadas por última vez en las 20 parcelas durante el ciclo del cultivo fue de 115. En el 36% de los IA aplicados, se incumplió con el PC. Además, el 39% de los productores cosechó su producción sin cumplir este criterio en al menos una aplicación o al menos un IA. Asimismo, en el 16% de las aplicaciones realizadas, se incumplió el PC (**Figura 3**).

Lo anterior representa un hallazgo esperable, ya que entre la comunidad de productores se desconoce sobre el criterio PC. Además, en el país, no existe un sistema de vigilancia de residuos en productos agrícolas destinados al consumo local, por lo que los productores, además de su desconocimiento, no esperan ninguna sanción por coaccionar de la autoridad competente que los obligue a respetar este criterio, sobre el cual se ha documentado ampliamente, que tenerlo en cuenta, garantiza una producción libre de residuos (Kocourek *et al.* 2017).

Este hallazgo resalta la importancia de abordar las causas del problema para prevenir la presencia de residuos de plaguicidas en los alimentos. Un estudio relativamente reciente (Díaz 2020) ha revelado presencia de plaguicidas en un 55% de muestras tomadas de alimentos como tomate (*Solanum lycopersicum* var., *lycopersicum*), chiltoma (*Capsicum annuum*), lechuga (*Lactuca sativa*) y repollo (*Brasica oleracea* var., *capitata*) procedentes de mercados populares y supermercados del país. Dicho estudio reportó que el 20% de las muestras con trazas de agroquímicos sobrepasaron el LMR estipulados por el Codex Alimentarius.

Otro aspecto para considerar es que el 66,7% de los productores registraron mezclas de plaguicidas, principalmente insecticida-fungicida, incluso, hubo dos casos donde se aplicaron solo en mezclas y no individualmente. Aunque se requiere más investigación para comprender mejor los efectos en la salud humana derivados de la exposición a mezclas de plaguicidas, un artículo de revisión reciente concluye que la exposición a combinaciones de plaguicidas representa un riesgo significativo a la salud humana debido a la variedad de efectos tóxicos que pueden generar. Por ejemplo, las mezclas de insecticidas en humanos están asociadas sinérgica o aditivamente con efectos neurotóxicos, y las mezclas de fungicidas con disrupciones endocrinas y trastornos reproductivos. Estos efectos varían según los IA mezclados, las dosis y los parámetros fisiológicos donde puede ocurrir el efecto, como el sistema nervioso central, sistema endocrino, ADN, sistema inmunológico, etc., (Rizzati *et al.* 2016).

A pesar de que el porcentaje de aplicaciones que incumplieron el PC fue relativamente bajo, el hallazgo de que más de un tercio de los IA y un 39% de los productores no respetaron este criterio evidencia una debilidad estructural en la implementación de prácticas agrícolas que consideren la salud pública en sus decisiones fitosanitarias. En América Latina, se ha promovido el cumplimiento de buenas prácticas como un componente esencial de la inocuidad alimentaria, sin embargo, su aplicación efectiva depende de la capacitación técnica, la disponibilidad de información clara en las etiquetas de los productos y la existencia de mecanismos de fiscalización (FAO 2012). La falta de conocimiento sobre el PC, sumada al uso de IA no autorizados para el cultivo de repollo, representa un riesgo significativo para la salud pública.

Por lo anterior, resulta fundamental implementar soluciones prácticas que fortalezcan el cumplimiento del PC. Entre ellas, se recomienda la adopción de registros digitales para el manejo fitosanitario, el uso de etiquetas con pictogramas comprensibles para productores con bajo nivel de alfabetización, y la capacitación continua en BPA, especialmente en zonas rurales. Además, los programas de certificación voluntaria y los incentivos económicos por cumplimiento podrían motivar a los productores a adoptar prácticas más seguras. Estas estrategias han sido promovidas por organismos como el Servicios Internacionales de Exportación (SIESA) en colaboración con instancias privadas de Guatemala, donde demostraron ser efectivas en la reducción de residuos en productos hortícolas (FAO 2012).

Cabe señalar que el presente estudio presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas. El uso de un muestreo no probabilístico limita la generalización de los resultados, y la dependencia de registros autocompletados por los productores puede introducir sesgos de información. Para futuros estudios, se recomienda emplear diseños muestrales representativos, incorporar análisis de residuos en laboratorio como método de validación y explorar la relación entre el nivel educativo del productor y el cumplimiento del PC. Asimismo, sería pertinente evaluar el impacto de intervenciones educativas sobre el cambio de comportamiento en el manejo de plaguicidas en el país.

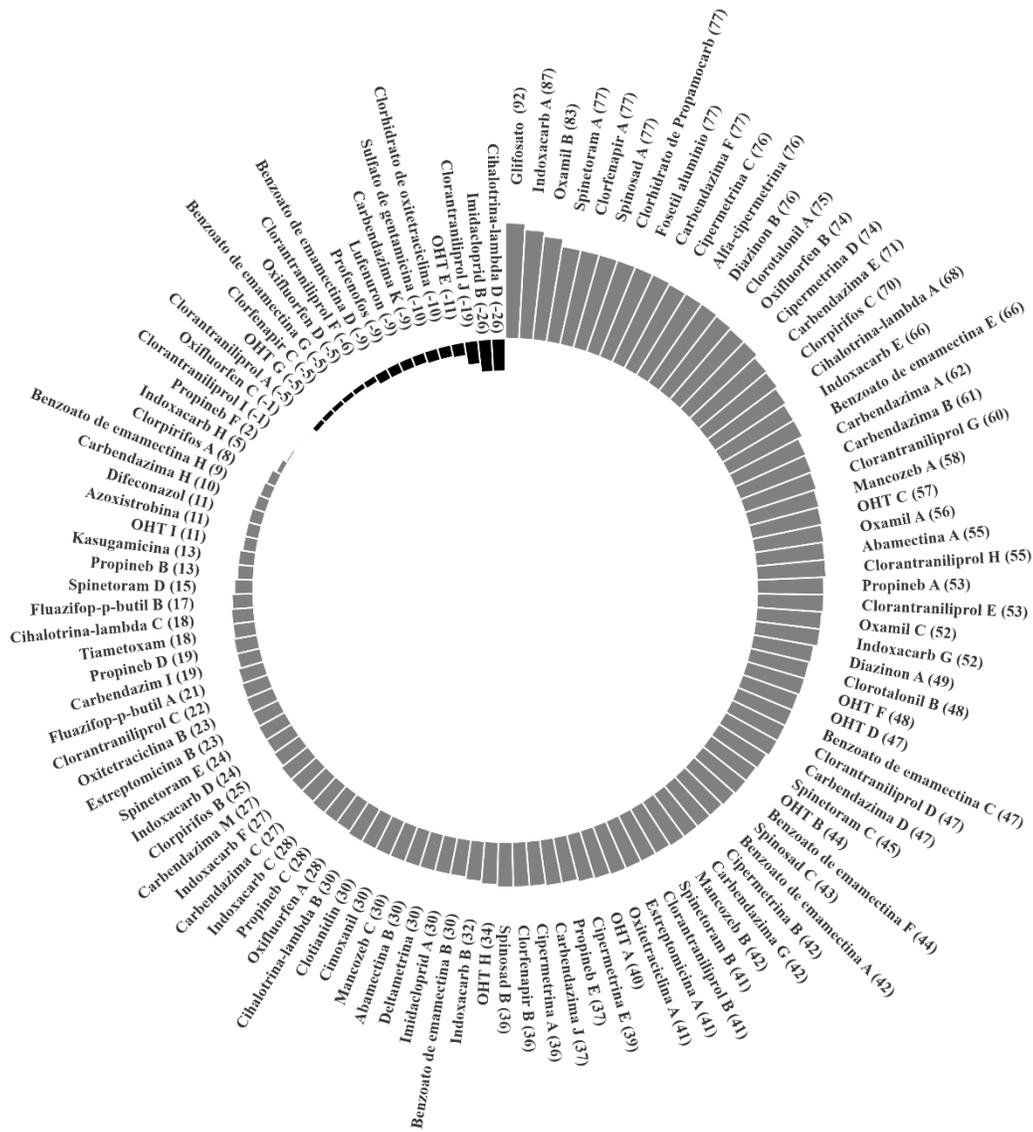


Figura 3. Aplicaciones de plaguicidas y acato del PC en el cultivo de repollo en los departamentos de Estelí, Matagalpa y Jinotega. Nota. El número entre paréntesis indica la diferencia en días entre la última aplicación del IA y el PC. Los números negativos o barras negras representan los IA aplicados que no cumplieron con el PC. La letra posterior al IA se asignó para lograr un valor único necesario para el tipo de análisis.

Figure 3. Pesticide applications and compliance with the pre-harvest interval (PHI) in cabbage cultivation in the departments of Estelí, Matagalpa, and Jinotega. Note. The number in parentheses indicates the difference in days between the last application of the AI and the PHI. Negative values or black bars represent AIs applied without compliance with the PHI. The letter following each AI was assigned to ensure a unique identifier required for the type of plot.

Conclusiones

El incumplimiento del PC en el cultivo de repollo representa un riesgo tangible para la salud pública de estas comunidades de Nicaragua. En ese sentido, la falta de conocimiento técnico y el apoyo de la extensión agrícola, en adición al uso de IA no autorizados son factores críticos que deben ser abordados mediante educación, regulación y tecnología.

Los hallazgos obtenidos en el presente estudio, junto a los obtenidos en investigaciones previas, justifican el diseño e implementación de políticas orientadas a mitigar el impacto de los plaguicidas en la salud pública. Este esfuerzo no solo requerirá del compromiso de las instancias oficiales, sino también de la participación activa de empresas privadas, cooperativas y gremios de productores. Su involucramiento será crucial para enfrentar este desafío.

En este contexto, será esencial aprovechar las tecnologías disponibles actualmente para acciones como el monitoreo de la resistencia a plaguicidas y, por supuesto, la prevención y monitoreo de residuos en alimentos.

Pese a que el presente estudio recabó evidencia útil, se recomiendan futuras investigaciones para fortalecer el diseño metodológico e incorporar análisis de residuos para validar el cumplimiento del PC con estadística robusta.

Agradecimientos

El más sincero agradecimiento a la Dirección de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Agraria por el apoyo financiero y logístico brindado durante todo el proceso de investigación. A la Ing. Marilyn Zúñiga y al Ing. Octavio Gutiérrez por su valiosa colaboración y esfuerzo en la recolección de datos. Finalmente, se agradece a todos los productores que brindaron información sobre sus decisiones de manejo de plagas en sus parcelas.

Literatura citada

Biradar, R; Bheemanna, M; Hosamani, A; Naik, H; Naik, N; Kandpal, K. 2020. Insecticide use and farmers perception on cabbage cultivation in nine districts of Karnataka, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9(1):1461-1467.

Cai, C; Bucher, J; Bakker, FT; Bonnema, J. 2022. Evidence for two domestication lineages supporting a middle eastern origin for *Brassica oleracea* crops from diversified kale populations. *Horticulture Research* 9:1-15.

Carvalho, FP. 2017. Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security* 6(2):48-60.

CNRCST (Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas, Nicaragua). 2023. Listado de plaguicidas autorizados en Nicaragua para el cultivo de repollo (*Brassica oleracea* var capitata).

Cole, DC; McConnell, R; Murray, DL; Pacheco Anton, F. 1988. Vigilancia de las enfermedades provocadas por plaguicidas: La experiencia nicaragüense (en línea). *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP)* 105(3). Disponible en <http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/17651>

Diallo, M; Fall Gueye, M; Samba Mbaye, M; Dieng, B; Noba, K. 2021. Pesticides use on the cultivation of *Brassica oleracea* var capitata L. (cabbage) in the Niayes area (Senegal): impact on the environment and the health of producers. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences* 16(2):274-282.

Díaz, DJM. 2020. Identificación y cuantificación de residuos de plaguicidas en hortalizas de alto consumo comercializadas en mercados y supermercados de Managua (en línea). *Revista Torreón Universitario* 8(23):48-57. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9774572>

Dunn, T; Champagne, D; Riley, D; Smith, H; Bennett, J. 2022. A target site mutation associated with diamide insecticide resistance in the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) is widespread in South Georgia and Florida populations. *Journal of Economic Entomology* 115(1):289-296.

EPA (United States Environmental Protection Agency, United States). 2022. Chemicals evaluated for carcinogenic potential by the office of pesticide programs (en línea). (p. 17). Washington, D.C., EPA. Disponible en http://npic.orst.edu/chemicals_evaluated.pdf

Fantke, P; Gillespie, BW; Juraske, R; Jolliet, O. 2014. Estimating half-lives for pesticide dissipation from plants. *Environmental Science and Technology* 48(15):8588-8602. DOI: <https://doi.org/10.1021/es500434p>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2012. Factores que favorecen y limitan la implementación de las buenas prácticas agrícolas en la cadena hortícola: Experiencia a partir del caso de siete organizaciones de productores del departamento de Sololá (en línea). (p. 31). Disponible en https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/11/13305393011350/sistematizacion_bpas_hortalizas_febrero_2012_atinar.pdf

Farha, W; Abd El-Aty, AM; Rahman, MM; Shin, HC; Shim, JH. 2016. An overview on common aspects influencing the dissipation pattern of pesticides: a review. Environmental Monitoring and Assessment 188(12). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5709-1>

Furlong, MJ; Wright, DJ; Dosdall, LM. 2013. Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. Annual Review of Entomology 58:517-541.

Holtz, D. 2022. From Data to Viz. (en línea). Disponible en <https://www.fromdatatoviz.com>

IARC (International Agency for Research on Cancer, United States). 2023. Agents classified by the IARC Monographs (en línea). Lyon, Francia, IARC. Disponible en <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>

Jiang, T; Wu, S; Yang, T; Zhu, C; Gao, C. 2015. Monitoring field populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) for resistance to eight insecticides in China. Florida Entomologist 98(1):65-73.

Jokanović, M. 2018. Neurotoxic effects of organophosphorus pesticides and possible association with neurodegenerative diseases in man: a review. Toxicology 410:125-131.

Khaliq, A; Attique, M; Sayyed, A. 2007. Evidence for resistance to pyrethroids and organophosphates in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from Pakistan. Bulletin of Entomological Research 97:191-200.

KoboToolBox. 2022. KoboCollect (Version v2022.3.6) [Aplicación móvil]. Google Play Store.

Kocourek, F; Stará, J; Holý, K; Horská, T; Kocourek, V; Kováčová, J; Kohoutková, J; Suchanová, M; Hajšlová, J. 2017. Evaluation of pesticide residue dynamics in Chinese cabbage, head cabbage and cauliflower. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment* 34(6):980-989. DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1311419>

Linnaeus, C. 1758. *Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. 10 ed. Tomo I. Holmiae (Suecia): Laurentii Salvii.

Mabry, ME; Turner-Hissong, SD; Gallagher, EY; McAlvay, AC; Hong A; Edger, PP; Moore, JD; Pink, DAC; Teakle, GR; Stevens, CJ; Barker, G; Labate, J; Fuller DQ; Allaby RG; Beissinger, T; Decker, JE; Gore, MA; Pires, JC. 2021. The evolutionary history of wild, domesticated, and feral *Brassica oleracea* (Brassicaceae). *Molecular Biology and Evolution* 38(10):4419-4434.

Martin-Reina, J; Duarte, J; Cerrillos, L; Bautista, J; Moreno, I. 2017. Insecticide reproductive toxicity profile: Organophosphate, carbamate and pyrethroids. *Journal of Toxins* 4(1):1-7.

MAG (Ministerio Agropecuario). 2023. Mapa nacional de hortalizas (en línea). Managua, Nicaragua. Color. Consultado 26 jun. 2024. Disponible en <https://www.mag.gob.ni/index.php/mapas-interactivos/mapa-nacional-de-hortalizas>

Mitra, A; Maitra, SK. 2018. Reproductive toxicity of organophosphate and carbamate pesticides. *Annals of Clinical Toxicology* 1(1):447-462.

Mokarizadeh, A; Faryabi, M; Rezvanfar, M; Abdollahi, M. 2015. A comprehensive review of pesticides and the immune dysregulation: mechanisms, evidence and consequences. *Toxicology Mechanisms and Methods* 25(4):258-278.

Parrón, T; Requena, M; Hernández, A; Alarcón, R. 2014. Environmental exposure to pesticides and cancer risk in multiple human organ systems. *Toxicology Letters* 230(2):157-165.

Pérez, CJ; Alvarado, P; Narváez, C; Miranda, F; Hernández, L; Vanegas, H; Hruska, A; Shelton, AM. 2000. Assessment of insecticide resistance in five insect pests attacking field and vegetable crops in Nicaragua. *Journal of Economic Entomology* 93(6):1779-1787.

Pérez, CJ; Shelton, AM. 1997. Resistance of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) to *Bacillus thuringiensis* Berliner in Central America. *Entomological Society of America* 90(1):87-93.

Pudasaini, R; Chou, Ming-Yi; Wu, Tsung-Jung; Dai, Shu-Mei. 2022. Insecticide resistance and control failure likelihood analysis in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) populations from Taiwan. *Journal of Economic Entomology* 115(3):835-843.

Rizzati, V; Briand, O; Guillou, H; Gamet-Payrastré, L. 2016. Effects of pesticide mixtures in human and animal models: an update of the recent literature. *Chemico-Biological Interactions* 254:231:246.

R Core Team 2024. R: a language and environment for statistical computing (en línea). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en <https://www.R-project.org/>

Sawant, CG. 2022. Pesticide residues: concerns, regulations and management. New Delhi, India, Java Publishing House. 280 p.

Shehzad, M; Bodlah, I; Siddiqui, JA; Bodlah, MA; Fareen, AGE; Islam, W. 2023. Recent insights into pesticide resistance mechanisms in *Plutella xylostella* and possible management strategies. *Environmental Science and Pollution Research* 30(42):95296-95311. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29271-5>

WHO (World Health Organization). 2020. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification. 2019 ed. s. l., Geneva. 92 p.

Weinberger, K; Srinivasan, R. 2009. Farmer's management of cabbage and cauliflower pest in Indian and their approaches to crop protection. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 12:253-259.

Wickham, H; Averick, M; Bryan, J; Chang, W; McGowan, LD; François, R; Grolemund, G; Hayes, A; Henry, L; Hester, J; Kuhn, M; Pedersen, TL; Miller, E; Bache, SM; Müller, K; Ooms, J; Robinson, D; Seidel, DP; Spinu, V; Takahashi, K; Vaughan, D; Wilke, C; Woo, K; Yutani, H. 2019. “Welcome to the tidyverse.” Journal of Open-Source Software 4(43):1686. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.01686>



Agronomía Costarricense, Universidad de Costa Rica.

Se encuentra licenciada con [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr