

## RESIDUALIDAD Y DISIPACIÓN DE LUFENURON APLICADO EN ARVEJA EN UNA ZONA SEMIÁRIDA E ÍNDICE DE PELIGRO Y RIESGO POR INGESTA

Jorge Álvarez-Vilca<sup>1</sup>, Guido Sarmiento-Sarmiento<sup>1</sup>, Laydy Mena-Chacón<sup>1</sup> y Luis Lipa-Mamani<sup>1</sup>

### RESUMEN

La aplicación frecuente de pesticidas en cultivos hortícolas puede generar residuos con consecuencias adversas en la salud de los consumidores. El objetivo de este trabajo fue determinar la residualidad y disipación de lufenuron aplicado en arveja (*Pisum sativum* L.) y su índice de peligro y riesgo por ingesta. La investigación se realizó en campo de una zona semiárida ubicado en Arequipa-Perú. Los tratamientos fueron la aplicación de tres dosis del ingrediente activo lufenuron (12, 24 y 30 g·ha<sup>-1</sup>) en dos oportunidades (cada 4 y 8 días), conformándose seis tratamientos aplicados vía foliar en diseño completamente al azar, con tres repeticiones y 18 unidades experimentales. La detección de residuos en vainas y granos de arveja se efectuó mediante HPLC en muestras recolectadas a 4, 8 y 16 días después de la última aplicación. Se calculó la cinética de disipación, vida media, índice de peligro por ingesta o de riesgo para la salud (HI). Los mayores valores de vida media fueron 13,4 días en vainas y 4,8 días en granos con la dosis 24 g·ha<sup>-1</sup> y frecuencia de 8 días. La frecuencia de aplicación fue más relevante que la dosis de lufenuron, y la diferencia se detectó a los 4 días después de la última aplicación. Se obtuvo que los residuos de lufenuron en granos a 4 días de muestreo superaron los límites máximos de residuos en todos los tratamientos; no obstante, bajo las condiciones del ensayo, la ingesta de granos de arveja con residuos de lufenuron no representarían peligro y riesgo para la salud de la población.

**Palabras clave:** Inocuidad, pesticida, *Pisum sativum*, toxicidad.

### ABSTRACT

#### Residuality and dissipation of lufenuron applied to peas in a semi-arid zone and hazard and risk index for ingestion

The frequent application of pesticides in horticultural crops can generate residues with adverse consequences on the health of consumers. The objective of this research was to determine the residual and dissipation of lufenuron applied on peas (*Pisum sativum* L.), and its hazard and risk index by ingestion. The study was carried out in an open field in a semi-arid zone located in Arequipa, Peru. The treatments were the application of three doses of the active ingredient lufenuron (12, 24 and 30 g·ha<sup>-1</sup>) in two opportunities (every 4 and 8 days), conforming six treatments applied via foliar in a completely randomized design, with three replications (18 plots). Lufenuron residues were detected in pea pods and grains by HPLC in samples collected 4, 8 and 16 days after the last application. Dissipation kinetics, half-life, ingestion hazard or health hazard index (HI) were calculated. The highest half-life values were 13.4 days in pods and 4.8 days in grains with the dose 24 g·ha<sup>-1</sup> and frequency of 8 days. The application frequency was more relevant than the lufenuron dose, and the difference was detected at 4 days after the last application. It was found that lufenuron residues in grains at 4 days of sampling exceeded the maximum residue limits in all treatments; however, under the conditions of this trial, ingestion of pea grains with lufenuron residues did not represent a health hazard and risk of population.

**Key words:** Pesticide, *Pisum sativum*, safety, toxicity.

### INTRODUCCIÓN

El manejo agronómico para producir hortalizas considera el empleo de una gran variedad de insumos químicos para el control de insectos plaga (Osaili et al., 2022; Minut et al., 2020). La aplicación inadecuada y exagerada de insecticidas tiene consecuencias ambientales e impactos negativos en la salud de los consumidores cuando los residuos que permanecen en los alimentos superan los límites máximos permitidos (Bondareva y Fedorova, 2021; Zikankuba et al., 2019). Durante la aplicación de insecticidas existe

una proporción que cumple con su efecto biocida, mientras que otra parte del producto se sedimenta sobre la planta y luego de un tiempo se disipa (Chirinos et al., 2020). La residualidad de los insecticidas presenta diversos comportamientos que dependen de la dosis aplicada, periodo de carencia, persistencia, estabilidad, concentración, formulación, composición química (Park et al., 2021) y sobre todo de las condiciones ambientales como humedad, luz, radiación y temperatura (Chandra et al., 2021), existiendo algunos que son extremadamente estables mientras que otros se disipan rápidamente en el ambiente (Nisha et al.

Recibido: Septiembre 1, 2022

Aceptado: Marzo 6, 2023

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Urb. Aurora s/n, Arequipa, Perú. e-mail: jalvarezvi@unsa.edu.pe; gsarmientos@unsa.edu.pe (autor de correspondencia); lmenach@unsa.edu.pe; llipa@unsa.edu.pe

2021). Las mayores dosis y los menores intervalos entre aplicaciones cerca del periodo de la cosecha pueden inducir a riesgos de intoxicaciones directas por ingesta de los alimentos contaminados (Nahar et al., 2020; Parven et al., 2021). Los peligros asociados al consumo involuntario de residuos de pesticidas en la ingesta diaria de alimentos exigen que los gobiernos e investigadores enfatizan la importancia de las regulaciones de pesticidas (Pereira et al., 2021; Khazaal et al., 2022). Las evaluaciones de riesgos para la salud pueden efectuarse mediante el índice de peligro por ingesta o de riesgo para la salud (HI, por sus siglas del inglés), el cual adquiere relevancia porque contribuye con información para prevenir los efectos a la salud (Nahar et al., 2020; Park et al., 2021). Lufenuron, ingrediente activo (i.a.) de insecticidas del grupo químico de la benzoilurea, es de uso extensivo para el control químico de diferentes insectos que dañan a cultivos hortícolas (Morera, 2015; Malhat et al., 2012) su aplicación incontrolada genera residuos en los productos cosechados y el medio ambiente (Castillo et al., 2020; Khay et al., 2008). Recientemente se ha documentado que la exposición crónica a niveles residuales de lufenuron tiene potencial para ejercer estrés teratogénico, genotóxico y oxidativo en ratas preñadas y sus fetos, resultados que sugieren que mujeres y sus fetos podrían tener el mismo riesgo (Basal et al., 2020). Los productores de hortalizas muestran gran interés para cumplir con los estándares nacionales e internacionales respecto a los límites máximos de residuos de insecticidas (Delgado et al., 2018) siendo una ventaja en la comercialización de hortalizas (Pérez et al., 2015).

En el Perú, los insecticidas en base a lufenuron son aplicados en altas dosis y en varias oportunidades en el cultivo de arveja. En este contexto, el objetivo de la investigación fue determinar la residualidad y disipación de lufenuron aplicado en arveja (*Pisum sativum* L.) y su índice de peligro y riesgo por ingesta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Lugar de la investigación.** El cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) de la variedad Chinchuco negro fue instalado en terrenos con aptitud agrícola del sector denominado “La Quebrada”, distrito de Sachaca, Arequipa, Perú, ubicado a

16°25' S y 71°33' W, a 2140 m de altitud, enmarcado en una zona semiárida. El registro de temperatura y humedad relativa durante el periodo de investigación fue de 9,8-29,0 °C y 31-87 % (min-max), respectivamente.

**Características del suelo y manejo agronómico del cultivo.** El terreno agrícola presentó una textura franco arenosa, materia orgánica 1,8 %, N 0,09 %, P 24,3 mg·kg<sup>-1</sup>, K: 524 mg·kg<sup>-1</sup>, pH 7,3, conductividad eléctrica 1,21 dS·m<sup>-1</sup> y capacidad de intercambio catiónico 14,6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Todas estas características estuvieron dentro de los parámetros exigidos para el cultivo de arveja, no existiendo limitaciones edáficas.

La siembra se realizó luego de tres días de un riego abundante con un distanciamiento de 0,5 m entre filas de plantas y 0,25 m entre plantas colocando 4 semillas por cada cavidad; se empleó un equivalente de 90 kg ha<sup>-1</sup> de semilla. Antes de la fertilización se realizó una limpieza manual de malezas. Con la finalidad de no agotar las reservas nutritivas del suelo y simular un manejo comercial, se aplicó fertilización complementaria con base en un equivalente de 150 kg·ha<sup>-1</sup> del fertilizante comercial Yaramila complex y 150 kg·ha<sup>-1</sup> de sulfato de amonio; la aplicación de ambos fertilizantes se efectuó a 30 y 45 días después de la siembra (dds). Luego de 14 dds se realizó el primer riego, posteriormente se regó cada 7 días mediante inundación, hasta la cosecha. Los pesticidas empleados fueron lufenuron ((RS)-1-[2,5-dichloro-4-(1,1,2,3,3,3-hexafluoro propoxy) phenyl]-3-(2,6-difluoro benzoyl)urea, grupo químico benzoilurea) para el control del minador (*Liriomyza pusilla*) y carbendazim (methyl benzimidazol-2-ylcarbamate, grupo químico benzimidazol) para el control de *Fusarium* sp. Para aplicar lufenuron se utilizó un pulverizador de mochila. Esta se realizó en dos momentos y no hubo efecto de lavado por lluvias durante el periodo experimental. La cosecha fue manual y progresiva, comenzando a los 110 dds y culminando a los 120 dds.

**Tratamientos y diseño experimental** La investigación fue conducida bajo un diseño completamente aleatorizado con estructura factorial de tratamientos (tres dosis de lufenuron y dos frecuencias de aplicación), tres repeticiones y 18 unidades experimentales. Las dosis estudiadas fueron 12, 24 y 30 g·ha<sup>-1</sup> del i.a. del producto comercial Magistral 50 EC; estas dosis fueron

fraccionadas en dos aplicaciones: frecuencia cada 4 días (a 85 y 89 dds) y frecuencia cada 8 días (a 85 y 93 dds).

**Muestreo de plantas para análisis de laboratorio.** Se recolectaron muestras aleatorias de 1 kg de vainas maduras frescas de arveja (la principal forma de consumo del grano en el país) por cada unidad experimental. Para el traslado de la muestra hasta el laboratorio se siguió una cadena de frío de 4°C en un recipiente con hielo (Cooler yeti 9 Qt de Basa). Las determinaciones analíticas fueron realizadas en el Laboratorio de Análisis Agroambiental de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

**Determinación analítica de lufenuron.** El estándar de lufenuron grado HPLC fue obtenido de Sigma Aldrich. Los disolventes empleados fueron acetonitrilo y metanol (grado HPLC), adquiridos de Merck. Se trabajó con agua ultrapura con una conductividad de 0,055  $\mu\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1}$  obtenida de un sistema de purificación Simplicity UV Merck Millipore. Se utilizaron kits de dispersión y extracción Quechers AOAC 2007.01, un cromatógrafo líquido de alta resolución con arreglo de diodos (HPLC-DAD) Chromaster Hitachi High-Tech, un concentrador de N Labtech Mulivap6 y una columna Purospher Star C18 de 150 mm de longitud, 4,6 mm de diámetro interno y 5  $\mu\text{m}$  de tamaño de partícula.

Para la extracción de lufenuron se utilizó el método AOAC 2007.01, empleando 10,0 g de muestra homogenizada con 10 mL de acetonitrilo (ACN) y adición de un kit de extracción Quechers AOAC 2007.01 (6 g de  $\text{MgSO}_4$  y 1,5 g de citrato de sodio); se agitó manualmente por un minuto y se centrifugó por 3 minutos a 3300 rpm. Para la limpieza de los extractos se usó la extracción en fase sólida dispersiva (d-SPE); para ello se utilizó el sobrenadante del producto de la extracción anterior, añadiendo un kit de dispersión Quechers AOAC 2007.01 (50 mg PSA, 150 mg  $\text{MgSO}_4$ ); la mezcla se agitó manualmente por un minuto y se centrifugó por 3 minutos a 3300 rpm. Se tomaron 3,5 mL de la capa superior, posteriormente se concentró la muestra utilizando  $\text{N}_2$  (g), luego se reconstituyó con acetonitrilo hasta 1 mL, finalmente la solución resultante fue filtrada con un filtro de jeringa acrodisco de nylon de 0,45  $\mu\text{m}$ , para su posterior análisis por HPLC-DAD.

La determinación de lufenuron se realizó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC);

para la cuantificación del insecticida se utilizó una fase móvil compuesta por acetonitrilo: agua ultrapura (70:30) en modo isocrático, con un flujo de 1  $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ . Se utilizó un detector de arreglo de diodos (DAD) a una longitud de onda de 210 nm, identificándose la señal de lufenuron con un tiempo de retención de 9 min. El método fue validado para determinar los parámetros de linealidad, sensibilidad, precisión y exactitud. Se preparó una curva de calibración a partir del estándar puro de lufenuron, utilizando seis concentraciones (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0), obteniéndose un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,9967; con límites de detección (LOD) y cuantificación (LOQ) de 0,0170 y 0,0194  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. La desviación estándar relativa (RSD) fue 0,26 %. La exactitud calculada por el método de porcentaje de recuperación (% R) fue 98,12 %. Los resultados comprobaron que el método fue lineal ( $R^2 > 0,995$ ), preciso (RSD < 2,7%) y con exactitud entre 90 y 100 % (Aguirre et al., 2001).

**Residualidad de lufenuron.** Se determinó por HPLC la concentración de residuos de lufenuron en vainas verdes y en granos de arveja. Los muestreos del material vegetal se realizaron a los 4, 8 y 16 días luego de la segunda aplicación del insecticida: en el caso de la frecuencia de aplicación de 4 días correspondieron a 93, 97 y 105 dds; para la frecuencia de aplicación de 8 días correspondieron a 97, 101 y 109 dds.

**Cinética de disipación de lufenuron por día.** La dinámica de disipación de lufenuron se determinó mediante la cinética de primer orden con las siguientes ecuaciones:

$$C_T = C_0 \times e^{-kT}$$

$$T_{1/2} = \ln 2/k$$

Donde  $C_T$  ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) son los niveles residuales de pesticida en el punto de tiempo  $T$  (días),  $C_0$  ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) son los depósitos iniciales y  $k$  ( $\text{día}^{-1}$ ) es la tasa de disipación de pesticida constante y  $T_{1/2}$  es la vida media de degradación de pesticidas. Los depósitos iniciales y la tasa de disipación diaria se calcularon mediante el modelo de regresión lineal con arreglo logarítmico. La vida media, definida como el tiempo requerido para que el nivel de residuos del pesticida disminuya a la mitad del nivel inicial de residuos después de la aplicación, se determinó mediante la ecuación de  $T_{1/2}$ .

**Estimación del índice de peligro por ingesta o de riesgo para la salud (HI).** Este índice

representa el porcentaje de ingesta diaria estimada (EDI) con respecto a la ingesta diaria tolerable del ingrediente activo (ADI). Para el caso de lufenuron, se establece un ADI de 0,02 (Anastassiadou et al., 2020). Cuando el valor de HI es superior al 100 % indica la posibilidad de que la exposición a un pesticida determinado induzca efectos tóxicos evidentes. El índice HI se usa para predecir el posible efecto a largo plazo sobre la salud humana debido al consumo de residuos de pesticidas través de la ingesta. La determinación de HI se realizó siguiendo la metodología descrita por Nahar et al. (2020) y Park et al. (2021) mediante la siguiente ecuación:  $HI = EDI / ADI * 100$

EDI: concentración de pesticida ( $mg \cdot kg^{-1}$ ) \* ingesta diaria de alimentos ( $mg \cdot kg \cdot bw^{-1} \cdot día^{-1}$ ).

ADI:  $0,02 \text{ mg} \cdot \text{kg} \cdot \text{bw}^{-1} \cdot \text{día}^{-1} * \text{peso corporal (kg)}$ , donde bw es el peso corporal de una persona; para fines de este trabajo, se consideró el peso promedio de un adulto peruano 51 kg e ingesta diaria de granos de arveja 10,6 g (INEI, 2022).

**Análisis estadístico** Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza, correlación de Pearson, regresión lineal y prueba de comparación de medias de rangos múltiples LSD-Fisher a un nivel de significancia de 95 %. Cuando se encontraron resultados con valores de cero, los datos fueron convertidos mediante la

transformación  $x+1$ . Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa R Core Team, 2020.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Residuos de lufenuron en vainas y granos de arveja.** Los resultados indican que la interacción de las frecuencias de aplicación y dosis de lufenuron tuvieron un efecto significativo sobre la cantidad de residuos encontrados en granos y vainas de arveja a los 4, 8 y 16 días luego de la última aplicación en campo. En el Cuadro 1 se observa que, para la frecuencia de 4 días entre aplicaciones (dea), la dosis  $30 \text{ g i.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$  alcanzó las mayores concentraciones de residuos de lufenuron en granos y vainas, siendo la diferencia más significativa a los 4 días de evaluación. Para el caso de la frecuencia 8 dea, los residuos de lufenuron encontrados en vainas fueron iguales con las tres dosis en cada fecha evaluada, no existiendo diferencias significativas, excepto a los 8 días después de la última aplicación, en la cual con la menor dosis ( $12 \text{ g i.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) se lograron menores residuos; en el caso de las vainas, en las tres fechas evaluadas, la dosis  $12 \text{ g i.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$  reportó los menores contenidos de lufenuron respecto a las otras dosis estudiadas.

**Cuadro 1.** Concentración de residuos de lufenuron ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) en muestras de granos y vainas de arveja (*Pisum sativum* L.) en diferentes momentos después de la última aplicación del producto en condiciones de campo

	Dosis*	Granos de arveja			Vainas de arveja			
		Tiempo después de la última aplicación						
		4 días	8 días	16 días	4 días	8 días	16 días	
Frecuencia entre aplicaciones (días)	4	30	1,144 a	0,531 a	0,082 a	1,820 a	0,984 a	0,798 a
		24	0,652 b	0,422 a	0,018 a	1,730 a	0,812 ab	0,680 a
		12	0,624 b	0,000 b	0,000 a	1,030 b	0,610 b	0,015 b
	8	30	0,570 a	0,460 a	0,064 a	1,612 a	0,875 a	0,702 a
		24	0,510 a	0,384 a	0,003 a	1,261 b	0,744 a	0,616 a
		12	0,461 a	0,000 b	0,000 a	0,652 c	0,170 b	0,000 b
<b>C.V. (%)</b>			16,8	14,15	22,46	16,66	7,46	6,78

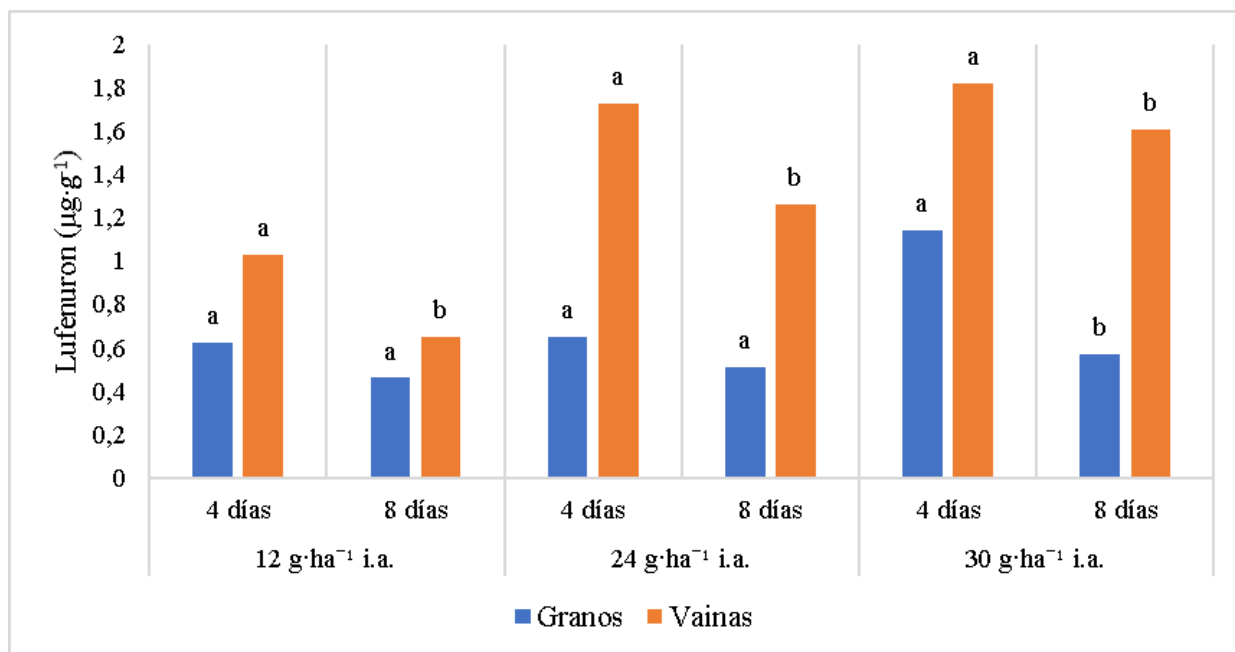
\*Dosis de lufenuron en  $\text{g i.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Medias con letras distintas en sentido vertical dentro de cada frecuencia entre aplicaciones indican diferencias significativas según la prueba de rangos múltiples LSD-Fisher ( $P \leq 0,05$ )

Al comparar las frecuencias entre aplicaciones, se encontró que con los

contenidos de lufenuron en las vainas, a los 4 días después de la última aplicación

(Figura 1), indistintamente de la dosis utilizada, siempre se obtuvieron mayores residuos con la frecuencia 4 dea respecto a la de 8 dea; no obstante, en los granos, solo se evidenciaron diferencias con la dosis más alta (30 g i.a.·ha<sup>-1</sup>). También se observó una disminución marcada de los residuos de

lufenuron conforme transcurrieron los días después de la última aplicación (Figura 2); este comportamiento es propio de los pesticidas, cuyos residuos disminuyen conforme aumenta el tiempo de muestreo (Tang et al., 2021).



**Figura 1.** Concentración de residuos de lufenuron en muestras de granos y vainas de arveja (*Pisum sativum* L.) cultivado en condiciones de campo a los cuatro días después de la última aplicación del producto. Columnas del mismo color con letras distintas dentro de cada dosis indican diferencias significativas según la prueba de rangos múltiples LSD-Fisher ( $P \leq 0,05$ )

Las diferencias del contenido residual de lufenuron entre el órgano expuesto (vainas) y el interior (granos) se ha descrito en otros cultivos; Lee y Kim (2016), al estudiar el pimiento rojo (*Capsicum annuum* L.), reportaron que la mayoría de los componentes de lufenuron permanecen en el pericarpio, y la posibilidad de que permanezcan en las semillas dentro del fruto fue muy baja. Zheng et al. (2009) obtuvieron resultados semejantes al evaluar residuos de lufenuron en hojas y semillas de algodón, mientras los resultados sobre hojas permitieron determinar una vida media del producto de 3,06 - 3,45 días, en las semillas de algodón los residuos del insecticida fueron indetectables. Este comportamiento del producto estaría condicionado a sus características físico-químicas, principalmente presión de vapor, solubilidad en agua y coeficiente de partición

alcohol agua Log  $K_{ow}$ , los cuales determinan su volatilización media y alta acumulación en la fase lipídica de los tejidos (bioacumulación) (Anastassiadou et al., 2020). Se revela un modo de acción no sistémico dentro de la planta; al tener baja solubilidad en agua su movimiento a través de la vía vascular (xilema y floema) se vería limitado, reflejándose en menor concentración del producto en los órganos no expuestos (granos de arveja) respecto a los órganos expuestos (hojas y vainas).

Respecto a la correlación entre las variables estudiadas (Cuadro 2), los resultados indican que, en el caso de las dosis y contenido de lufenuron, existe una correlación directamente proporcional, no muy fuerte pero estadísticamente significativa en granos de arveja ( $r=0,37$ ;  $P \leq 0,05$ ) y moderadamente fuerte en las vainas ( $r=0,59$ ;

$P \leq 0,05$ ); respecto al tiempo de evaluación (días después de la última aplicación del insecticida) y contenido de lufenuron, la correlación es inversamente proporcional, fuerte y significativa, tanto para granos ( $r = -0,78$ ;  $P \leq 0,05$ ) como para vainas ( $r = -0,65$ ;  $P \leq 0,05$ ). Pese a que la correlación entre la frecuencia entre aplicaciones y los residuos en granos fue baja y no significativa ( $r = -0,14$ ;  $P > 0,05$ ), en el caso de las vainas, ésta fue inversamente proporcional, de intensidad media y significativa ( $r = -0,34$ ;  $P \leq 0,05$ ), es decir, con la menor frecuencia entre aplicaciones se obtuvieron mayores concentraciones residuales del lufenuron

en las vainas de arveja. Estos resultados coinciden con lo descrito en otros cultivos y estaría relacionado al tipo de aplicación por contacto directo, permitiendo una mayor concentración del lufenuron en la superficie expuesta, y al existir muy baja translocación dentro de la planta, la biodegradación es lenta. En hojas de algodón, los valores residuales más altos de lufenuron fueron obtenidos con frecuencias más cortas (Zheng et al., 2009); en repollo cultivado en condiciones de campo, los contenidos de lufenuron aumentaron al usar frecuencias más cortas entre aplicaciones (Dong et al., 2015).

**Cuadro 2.** Matriz de coeficientes de correlación de Pearson entre variables analizadas en el contenido residual de lufenuron en muestras de vainas y granos de arveja (*Pisum sativum* L.)

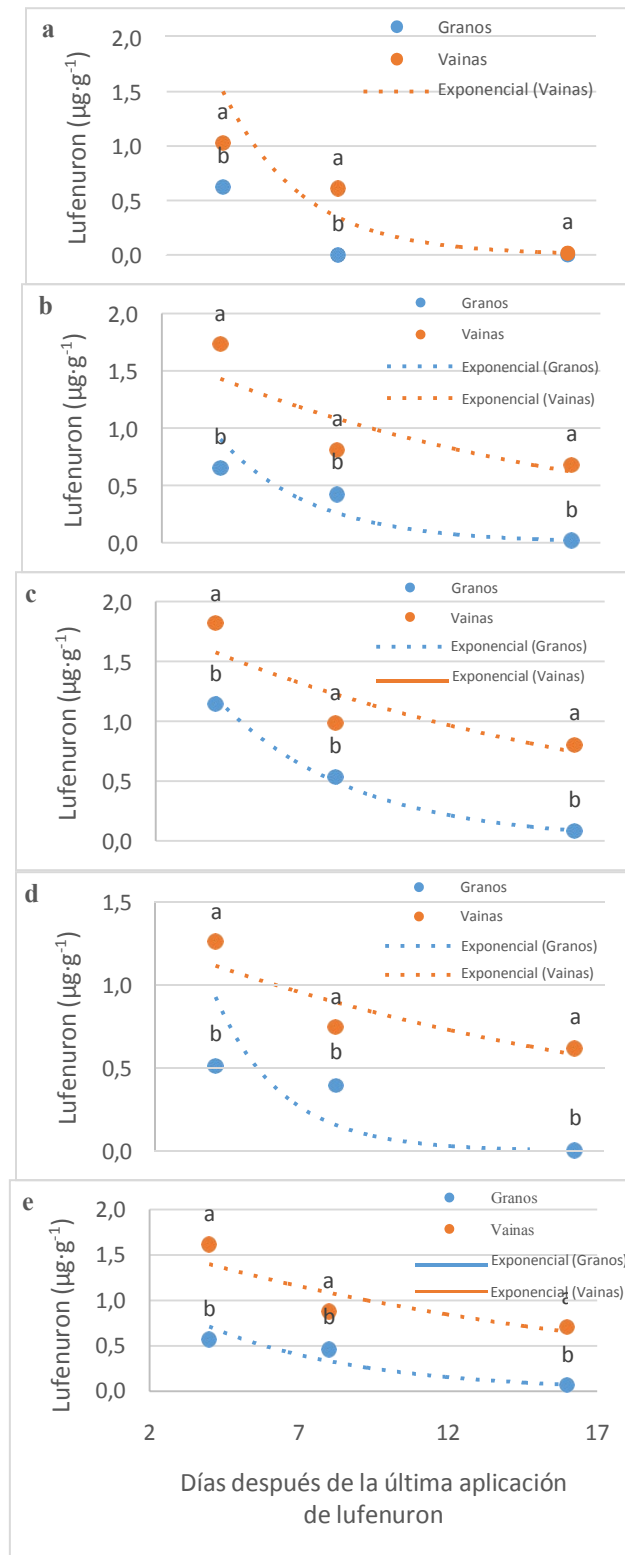
Variables	LG	DL	DDUA	LV	FA
LG	1				
DL	<b>0,37</b>	1			
DDUA	<b>-0,78</b>	0	1		
LV	<b>0,81</b>	<b>0,59</b>	<b>-0,65</b>	1	
FA	<b>-0,14</b>	-0,59	0	<b>-0,34</b>	1

LG: concentración de lufenuron en granos; DL: dosis de lufenuron; DDUA: días después de la última aplicación de lufenuron; LV: concentración de lufenuron en vainas. FA: frecuencia de aplicaciones. Los coeficientes resaltados son estadísticamente significativos ( $P \leq 0,05$ )

Respecto a las dosis de lufenuron, Zheng et al. (2009) y Dong et al. (2015) al contrastar 22 y 34  $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$  en algodón, y 67.5 y 101.25  $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$  en repollo, respectivamente, no encontraron diferencias significativas. Lo anterior no concuerda con nuestros hallazgos y se atribuye a las características particulares de cada planta, y al comportamiento de inestabilidad térmica de lufenuron en condiciones de cultivo y microclima específico de cada zona (Tang et al., 2021).

**Cinética de disipación: vida media y tasa de disipación diaria.** La cinética de disipación de lufenuron con la dosis 12  $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$  en ambas frecuencias de aplicación no se determinaron debido a que a partir de la segunda fecha de evaluación los valores de residuos fueron indetectables; excepto para el residuo en vainas con frecuencia de 4 dea (Figura 2a). En las Figuras 2b, 2c, 2d y 2e se observa la cinética de disipación tanto para vainas como para granos. Las ecuaciones obtenidas se presentan en el Cuadro 3.

Las concentraciones máximas de lufenuron en la primera evaluación (4 días después de la última aplicación en campo) fueron de 1,144  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  en granos y 1,820  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  en vainas, correspondientes a la dosis 30  $\text{g i.a.}\cdot\text{ha}^{-1}$  con frecuencia 4 dea (Cuadro 1). Resultados diferentes fueron reportados por otros autores, como por ejemplo Li et al. (2022) al realizar aplicaciones de lufenuron en una especie de cítrico kumquats con dosis de 52,4  $\text{g i.a.}\cdot\text{ha}^{-1}$ , encontraron concentraciones iniciales de 0,211  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (localidad Hunan, China) y 0,209  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (localidad Guangxi, China). Por su parte, Tang et al. (2021), al aplicar 45  $\text{g i.a.}\cdot\text{ha}^{-1}$ , reportaron concentraciones de 1,9  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  en invernadero y 0,8  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  en campo en muestras de pak choi (*Brassica campestris chinensis* Makino) recolectadas luego de 2 horas de la aplicación. Pese a que los valores iniciales de lufenuron en el presente estudio fueron mayores que los valores mencionados en esos estudios, la vida media estimada ( $T_{1/2}$ ) estuvo dentro del rango descrito en la literatura.



**Figura 2.** Cinética de disipación de lufenuron en granos y vainas de arveja (*Pisum sativum* L.) cultivada bajo condiciones de campo con tres dosis y dos frecuencias entre aplicaciones: **a.** 12 g i.a.·ha<sup>-1</sup> y frecuencia 4 días; **b.** 24 g i.a.·ha<sup>-1</sup> y frecuencia de 4 días; **c.** 30 g i.a.·ha<sup>-1</sup> y frecuencia de 4 días; **d.** 24 g i.a.·ha<sup>-1</sup> y frecuencia de 8 días; **e.** 30 g i.a.·ha<sup>-1</sup> y frecuencia de 8 días. Puntos con letras distintas dentro de cada fecha indican diferencias significativas (prueba de LSD-Fisher;  $P \leq 0,05$ ).

Los mayores valores de  $T_{1/2}$  fueron obtenidos con la dosis 24 g i.a ha<sup>-1</sup> con frecuencia 8 dea, tanto en vainas (13,35 días) como en granos (4,84 días). Estos hallazgos (Cuadro 3) están dentro del amplio rango reportado en otros cultivos: 11 y 5,7 días en pak choi (Tang et al., 2021); 9,12 y 12,60 días en kumquats (*Citrus japonica* L.) (Li et al., 2022); 1,74-5,04 días en repollo (Dong et al., 2015); 3,04 días en tomate (Malhat et al., 2012),

3,06-3.45 días en algodón (Zheng et al., 2009) y 4,6-5,8 días en repollo chino (*Brassica rapa pekinensis* L.) (Khay et al., 2008). En relación a la cinética de degradación, se observa que, a mayor tiempo entre aplicaciones, mayor es el tiempo de vida media ( $T_{1/2}$ ) de lufenuron. Así mismo, a mayor tiempo transcurrido desde la última aplicación, menor es la concentración de los residuos del producto.

**Cuadro 3.** Cinética de disipación de residuos y vida media de lufenuron en muestras de vainas y granos de arveja (*Pisum sativum* L) cultivada en condiciones de campo

En granos de arveja							
Frecuencia entre aplicaciones	Dosis (g i.a.·ha <sup>-1</sup> )	$C_0$	$k$	DDUA*	$C_T = C_0 \times e^{-kT}$	Vida media	R <sup>2</sup>
4 días	12	-	-	-	-	-	-
				4	0,177		
4 días	24	0,932450	-0,414120	8	0,033	1,67	0,95
				16	0,001		
				4	1,196		
4 días	30	2,907606	-0,221880	8	0,492	3,12	0,99
				16	0,083		
8 días	12	-	-	-	-	-	-
				4	0,893		
8 días	24	1,584312	-0,143190	8	0,503	4,84	0,92
				16	0,160		
				4	0,707		
8 días	30	1,519954	-0,191270	8	0,329	3,62	0,90
				16	0,071		
En vainas de arveja							
Frecuencia entre aplicaciones	Dosis (g i.a.·ha <sup>-1</sup> )	$C_0$	$k$	DDUA	$C_T = C_0 \times e^{-kT}$	Vida media	R <sup>2</sup>
4 días	12	6,583292	-0,369020	4	1,504		
				8	0,343	1,88	0,95
				16	0,017		
				4	1,420		
4 días	24	1,874219	-0,069370	8	1,075	9,99	0,74
				16	0,617		
				4	1,570		
4 días	30	2,016645	-0,062589	8	1,222	11,07	0,79
				16	0,740		
8 días	12	-	-	-	-	-	-
				4	1,084		
8 días	24	1,334363	-0,051914	8	0,880	13,35	0,89
				16	0,581		
				4	1,395		
8 días	30	1,797874	-0,063255	8	1,083	10,96	0,88
				16	0,653		

\*DDUA: días después de la última aplicación

La información existente y los datos encontrados en este ensayo, indican que la tasa de disipación y vida media de lufenuron varían entre especies, condiciones de cultivo, acumulación de

biomasa del cultivo, dosis del producto, tipo de aplicación, frecuencia entre aplicaciones y condiciones ambientales.



**Índice de peligro por ingesta o de riesgo para la salud (HI).** En la primera evaluación realizada a los 4 días después de la última aplicación de lufenuron, se encontró que todas las combinaciones de dosis y frecuencias superaron el límite máximo residual (LMR) de  $0,02 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  establecido en Perú (Resolución Ministerial N°1006-2016/, Ministerio de Sanidad-MINSA, Lima) tanto en vainas como en granos (Cuadro 1). Al analizar los resultados del índice HI (Cuadro 4) se encontró que conforme pasaron los días después de la última aplicación de lufenuron en campo, el HI disminuyó significativamente ( $P \leq 0,05$ ). Así mismo, se percibe que la frecuencia de aplicación tendió a ser más relevante que la dosis del producto, aunque la diferencia se observa sólo a los 4 días después de la última aplicación.

Pese a que los valores iniciales de residuos de lufenuron obtenidos en este ensayo fueron superiores a los reportados por otros autores, el

índice HI no superó el 100 %. Esto indicaría que, bajo las condiciones en que se realizó el ensayo, es muy improbable que la exposición a los residuos de lufenuron en granos de arveja induzcan efectos tóxicos evidentes, es decir, el riesgo del pesticida para la salud humana fue bajo. Resultados semejantes fueron reportados por Tang et al. (2021) quienes al aplicar dosis de  $45 \text{ g i.a.}\cdot\text{ha}^{-1}$  en el cultivo de pak choi hallaron que la evaluación de riesgo de exposición dietética no reveló riesgos potenciales para la salud humana. Asimismo, Nahar et al. (2020) y Park et al. (2021) indicaron que, a pesar que diversas hortalizas provenientes de mercados locales superan los LMR de lufenuron, el índice HI indica que no serían nocivos para la salud. Sin embargo, debido a que la exposición crónica a pesticidas podría reducir las capacidades cognitivas y a la influencia del peso corporal, tanto personas de la tercera edad como niños podrían ser más susceptibles a problemas de riesgo para la salud

**Cuadro 4.** Índice de peligro por ingesta o de riesgo para la salud (HI) (%) por consumo de granos de arveja (*Pisum sativum* L.) muestreados en diferentes momentos después de la última aplicación de lufenuron en condiciones de campo

		Dosis*	Tiempo después de la última aplicación de lufenuron		
			4 días	8 días	16 días
Frecuencia entre aplicaciones	4 días	30	0,677 a	0,478 b	0,085 c
		24	0,530 a	0,439 a	0,067 b
		12	0,649 a	0,399 b	0,019 c
	8 días	30	0,530 a	0,428 ab	0,059 b
		24	0,474 a	0,357 b	0,003 c
		12	0,479 a	0,000 b	0,000 b

\*Dosis de lufenuron en  $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Medias con letras distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas según la prueba de rangos múltiples LSD-Fisher ( $P \leq 0,05$ )

## CONCLUSIONES

El contenido residual de lufenuron en los granos de arveja a los 4 días de muestreo superaron los LMR permitidos en todos los tratamientos, aunque a los 8 días con la aplicación de la dosis más baja de lufenuron no se superó el límite máximo residual (LMR). De cualquier forma, el índice HI indica que en las condiciones de esta investigación la ingesta de granos de arveja con aplicaciones de lufenuron no representan un riesgo para la salud. El bajo índice

HI podría atribuirse al bajo consumo de hortalizas por la población adulta peruana. Es recomendable continuar con este tipo de investigaciones debido a que el consumo de hortalizas frescas es cada más importante, por lo que la aplicación de diferentes tipos de pesticidas para proteger los cultivos hortícolas puede representar un riesgo potencial para la salud de consumidores.

## AGRADECIMIENTO

Al Laboratorio de Análisis Agroambiental de la

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa por el apoyo brindado para realizar las determinaciones analíticas de la presente investigación.

### LITERATURA CITADA

1. Aguirre, L., F. García, J. García, M. Illera, M. Juncabella, M. Lizondo et al. 2001. Validación de métodos analíticos. Asociación Española de Farmacéuticos de la Industria. Barcelona, España.
2. Anastasiadou, M., G. Bernasconi, A. Brancato, L. Carrasco, L. Ferreira, L. Greco et al. 2020. Setting of import tolerances for lufenuron in various commodities of plant and animal origin. *EFSA Journal* 18(8): 6228-6257.
3. AOAC. 2007. Official Method 2007.01 Pesticide residues in foods by acetonitrile. Extraction and partitioning with magnesium sulfate. Gas chromatography/mass spectrometry and liquid chromatography/tandem mass spectrometry. First action 2007. 9 p.
4. Basal, W.T., A.R. Ahmed, A. Mahmoud, y A.R. Omar. 2020. Lufenuron induces reproductive toxicity and genotoxic effects in pregnant albino rats and their fetuses. *Scientific Reports* 10(1): 19544-19563.
5. Bondareva, L. y N. Fedorova. 2021. Pesticides: Behavior in agricultural soil and plants. *Molecules* 26(17): 5370-5384.
6. Castillo, B., J. Ruiz, M. Manrique y C. Pozo. 2020. Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú). *Revista Espacios* 41(10): 1-11.
7. Chandra, R., N. Sharpanabharathi, B. Prusty, P. Azeez y R. Kurakalva. 2021. Organochlorine pesticide residues in plants and their possible ecotoxicological and agri food impacts. *Scientific Reports* 11(1):17841-17850.
8. Chirinos, D., R. Castro, J. Cun, J. Castro, S. Peñarrieta, L. Solis y F. Geraud-Pouey. 2020. Insecticides and agricultural pest control: the magnitude of its use in crops in some provinces of Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 21(1): 84-99.
9. Delgado-Zegarra, J., A. Alvarez-Risco y J.A. Yañez. 2018. Uso indiscriminado de pesticidas y ausencia de control sanitario para el mercado interno en el Perú. *Pan American Journal of Public Health* 42: 1-6.
10. Dong, B., Q. Zhao y J. Hu. 2015. Dissipation kinetics of emamectin benzoate and lufenuron residues in cabbage grown under field conditions. *Environmental Monitoring and Assessment* 187(12): 1-11.
11. INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2022. Catálogo de bases de datos. Lima, Perú. 35 p. <https://n9.cl/nxd5e> (consulta de agosto 7, 2022).
12. Khay, S., J.H. Choi, A.M. Abd El-Aty, M.I. Mamun, B.J. Park, A. Goudah et al. 2008. Dissipation behavior of lufenuron, benzoylphenylurea insecticide, in/on chinese cabbage applied by foliar spraying under greenhouse conditions. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 81: 369-372.
13. Khazaal, S., N. El Darra, A. Kobeissi, R. Jammoul y A. Jammoul. 2022. Risk assessment of pesticide residues from foods of plant origin in lebanon. *Food Chemistry* 374: 131676-131685.
14. Lee, M. y J.S. Kim. 2016. Pesticide residues in chili pepper seeds and their transfer into the seed oil. *Korean Journal of Food Science and Technology* 48(4): 317-322.
15. Li, K., W. Chen, P. Deng, X. Luo, Z. Xiong, Z. Li, Y. Ning, Y. Liu y A. Chen. 2022. Dissipation, residues and risk assessment of lufenuron during kumquat growing and processing. *Journal of Food Composition and Analysis* 112: 104643-104649.
16. Malhat, F., M. Almaz, M. Arief, K. El-Din y M. Fathy. 2012. Residue and dissipation dynamics of lufenuron in tomato fruit using QuEChERS methodology. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 89(5): 1037-1039.
17. Minut, M., M. Rosca, R. Hlihor, P. Cozma y M. Gavrilescu. 2020. Modelling of health risk associated with the intake of pesticides from Romanian fruits and vegetables. *Sustainability* 12: 10035-10055.
18. Morera, I. 2015. Identificación de principios activos de plaguicidas en frutas, hortalizas y granos básicos en Costa Rica: Una propuesta para la implementación de nuevas metodologías de análisis. *Revista Pensamiento*

- 15(25): 155-171.
19. Nahar, K.M., M.S.I. Khan, M. Habib, S.M. Hossain, M.D. Prodhán y M.A. Islam. 2020. Health risk assessment of pesticide residues in vegetables collected from northern part of Bangladesh. *Food Research* 4(6): 2281-2288.
20. Nisha, U.S., M.S.I. Khan, M.D. Prodhán, I.M. Meftaul, N. Begum, A. Parven et al. 2021. Quantification of pesticide residues in fresh vegetables available in local markets for human consumption and the associated health risks. *Agronomy* 11(9): 1804-1815.
21. Osaili, T., M. Al, D. Dhanasekaran, W. Bani, H. Al-Ali, A. Al-Ali et al. 2022. Pesticide residues in fresh vegetables imported into the United Arab Emirates. *Food Control* 133(2): 108663-108674.
22. Park, D., Y. Yang, Y. Lee, S. Han, H. Kim, S. Kim et al. 2021. Pesticide residues and risk assessment from monitoring programs in the largest production area of leafy vegetables in South Korea: A 15-year study. *Foods* 10(2): 425-442.
23. Parven, A., S. Islam, M. Dalower, K. Venkateswarlu, M. Megharaj, y I. Meftaul. 2021. Human health risk assessment through quantitative screening of insecticide residues in two green beans to ensure food safety. *Journal of Food Composition and Analysis* 103: 104121-104127.
24. Pereira, P., C. Parente, G. Carvalho, J. Torres, R. Meire, P. Dorneles y O. Malm. 2021. A review on pesticides in flower production: A push to reduce human exposure and environmental contamination. *Environmental Pollution* 289: 117817-117832.
25. Pérez, A., E. Navarro y E. Miranda. 2015. Residuos de plaguicidas en hortalizas: Problemática y riesgo en México. *Revista internacional de contaminación ambiental* 29(2): 45-64.
26. Tang, H., L. Ma, J. Huang, Y. Li, Z. Liu, D. Meng, G. Wen, M. Dong, W. Wang y L. Zhao. 2021. Residue behavior and dietary risk assessment of six pesticides in pak choi using QuEChERS method coupled with UPLC-MS/MS. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 213: 112022-112029.
27. Zheng, L., R. Yang, B. Li, y P. Liu. 2009. Residues and degradation of lufenuron in cotton and soil. *Journal of Ecology and Rural Environment* 25(3): 109-112.
28. Zikankuba, V.L., G. Mwanyika, J. Ntwenya y A. James. 2019. Pesticide regulations and their malpractice implications on food and environment safety. *Cogent Food and Agriculture* 5(1): 1544-1559.

