

Capítulo 5
**CONTROL DE MALEZAS
EN QUÍNOA**

Jorge Díaz S.
Guillermo Contreras J.

5.1 Introducción

Las malezas son un factor que limitan de manera importante el cultivo de quínoa, debido a que ocasionan pérdidas significativas de rendimiento al competir por factores esenciales para el crecimiento y desarrollo, como son nutrientes, luz y agua. La quínoa es un cultivo altamente sensible a la presencia de malezas con pérdidas de rendimiento que superan el 90 % (Aguerrea, 1998). Ensayos realizados por INIA Carillanca en el valle central y costa de La Araucanía, indican que las pérdidas productivas son del orden del 40% e incluso en situaciones de alta infestación pueden alcanzar al 100%. Adicionalmente, las malezas pueden ser fuente de enfermedades y plagas, dificultando o impidiendo el proceso de cosecha.

El lento crecimiento de la quínoa después de la germinación hace que el manejo de las malezas sea particularmente desafiante y que presente un amplio período crítico de interferencia con las malezas, que se inicia en la siembra y manteniéndose hasta la floración (Mujica et al., 2001). Otros autores (Gómez y Aguilar, 2016), destacan que el período de mayor sensibilidad está entre la etapa de desarrollo vegetativo y la de ramificación. Por lo anterior, se requiere intervenir con un control eficaz en varios momentos del desarrollo del cultivo y que se pueden extender por aproximadamente unos tres meses (Díaz et al., 2017).

Actualmente, en Chile y otros países productores de quínoa, el control de malezas se realiza casi exclusivamente de forma mecánica, para lo cual se recomienda una distancia de siembra igual o superior a 40 cm entre las hileras, para la realización apropiada de labores de escarda o para el paso de implementos mecánicos. Si esta labor es realizada de forma manual puede requerir extensas y laboriosas jornadas hombre, dependiendo del nivel de infestación, tipo de malezas presentes en el cultivo y condiciones climáticas.

Por otra parte, una de las principales limitantes para masificar y aumentar la superficie de cultivo de la quínoa en Chile es la falta de herbicidas selectivos, siendo muy escasos los estudios y con resultados contradictorios o no concluyentes. Todas estas situaciones han sido relevadas por parte de los productores, indicando que una de las principales necesidades es contar con una estrategia de control de malezas eficiente para el cultivo de la quínoa en el país (FIA, 2017).

5.2 Malezas asociadas al cultivo de la quínoa

Las principales malezas asociadas al cultivo de la quínoa en la Región de La Araucanía se presentan en el cuadro 1, donde todas corresponden a especies de hoja ancha, ciclo anual y de reproducción vía semilla, a excepción del vinagrillo (*Rumex acetosella*). Adicionalmente, pero de forma ocasional, aparecen malezas gramíneas como ballica y avenilla. Este listado fue obtenido de los ensayos realizados en el valle central (INIA Carillanca) y el secano costero (Tranapunte), durante tres temporadas agrícolas.

Cuadro 1. Principales malezas asociadas al cultivo de la quínoa en la Región de La Araucanía

Nombre común	Nombre científico	Ciclo y reproducción
Arvejilla	<i>Vicia</i> sp	Anual y semilla
Calabacillo	<i>Silene gallica</i>	Anual y semilla
Chinilla	<i>Leontodon saxatilis</i>	Anual y semilla
Duraznillo	<i>Polygonum persicaria</i>	Anual y semilla
Hierba de la culebra	<i>Fumaria</i> sp	Anual y semilla
Manzanillón	<i>Anthemis</i> sp	Anual y semilla
Mostacilla	<i>Sisymbrium officinale</i>	Anual y semilla
Porotillo	<i>Fallopia convolvulus</i>	Anual y semilla
Quinguilla	<i>Chenopodium</i> sp	Anual y semilla
Rábano	<i>Raphanus</i> sp	Anual y semilla
Sanguinaria	<i>Polygonum aviculare</i>	Anual y semilla
Siete Venas	<i>Plantago lanceolata</i>	Anual y semilla
Tomatillo	<i>Solanum nigrum</i>	Anual y semilla
Vinagrillo	<i>Rumex acetosella</i>	Perenne, semilla y rizomas
Violeta	<i>Viola arvensis</i>	Anual y semilla

Entre las especies anuales y de hoja ancha, se pueden destacar la quinguilla (*Chenopodium* sp) y rábano (*Raphanus* sp). La primera es considerada una de las de mayor importancia a nivel mundial, debido a la cantidad de cultivos que invade y por su amplia distribución geográfica. Es reconocida como una de las principales limitaciones para la expansión del cultivo de quínoa, ya que a menudo establece agresivas infestaciones dada sus similitudes en hábito de crecimiento y apariencia (Foto 1a). La quinguilla presenta una germinación que coincide con el comienzo de la primavera, y de ahí un acelerado desarrollo vegetativo, para iniciar durante noviembre la floración que se puede extender hasta fines del verano. La semilla puede permanecer viable en el suelo por varios años (Bassett y Crompton, 1978). Su presencia en la cosecha puede contaminar el grano de quínoa, quitándole valor y encareciendo el proceso de selección debido a la similitud en tamaño.

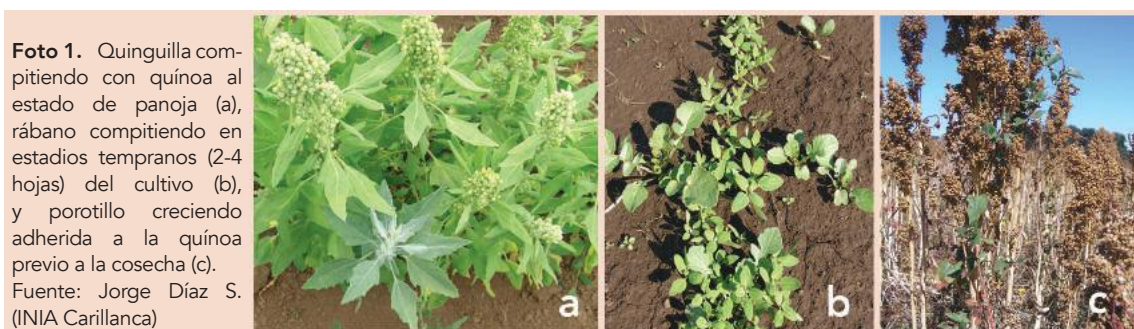


Foto 1. Quinguilla compitiendo con quínoa al estado de panoja (a), rábano compitiendo en estadios tempranos (2-4 hojas) del cultivo (b), y porotillo creciendo adherida a la quínoa previo a la cosecha (c). Fuente: Jorge Díaz S. (INIA Carillanca)

El rábano es una maleza altamente competitiva para la quínoa (Foto 1b), presentándose en todo tipo de suelos y cultivos. Su amplia distribución geográfica se debe a que se diseminan contaminando semilla de cultivos, fardos de heno y residuos de cereales. La raíz profundizadora del rábano le permite soportar la sequía y proporciona suficientes reservas de alimento para el rebrote después de la pérdida de hojas a través del corte, el pastoreo o la actividad de algunos herbicidas. Presentan un banco de semillas persistente junto a un hábito de crecimiento anual competitivo (rápido crecimiento, gran altura y follaje denso) y elevada fecundidad, lo que contribuye y asegura un problema continuo (Warwick y Francis, 2005). También posee actividad alelopática, por lo que sus extractos y residuos pueden suprimir la germinación, emergencia y crecimiento de plántulas de algunos cultivos (Warwick y Francis, 2005). Finalmente, considerar que infestaciones tardías de algunas malezas, como por ejemplo porotillo (*Fallopia convolvulus*), entranan el proceso de cosecha, contaminan y dificultan la etapa de procesamiento del grano de quínoa (Foto 1c).

5.3. Métodos de control

Las opciones de control pueden ser diversas, desde convivir con el problema aceptando ciertos niveles de daño o utilizando métodos eficientes que redunden en altas producciones y maximizando los beneficios económicos.

5.3.1 Prevención: evitar que nuevas semillas o propágulos vegetativos se introduzcan al potrero o campo. Para esto es esencial la calidad de la semilla a sembrar. Utilizar semilla limpia y de buen poder germinativo, que originen plántulas vigorosas para lograr un rápido establecimiento y con una adecuada población. Por ejemplo, tener especial cuidado con semillas de malezas con un tamaño y forma parecida al grano de la quínoa como es el caso de la quinguilla (Foto 2). Los implementos de laboreo del suelo, sembradoras y cosechadoras, actúan como eficientes medios para propagar malezas, por lo que es esencial el uso de maquinaria limpia antes de su ingreso al campo.



Foto 2. Semilla de quinguilla (izquierda) y de quínoa (derecha).
Fuente: Jorge Díaz S. (INIA Carillanca).

5.3.2 Control cultural: las prácticas agronómicas tienen un efecto directo sobre la presencia y desarrollo de las malezas. Es esencial adoptar medidas para agotar o disminuir el banco de semillas de las malezas en el suelo, promoviendo la germinación y controlando con labores de preparación de suelo.

La rotación de cultivos es también una práctica adecuada y conveniente, aportando diversidad al sistema. En general, cuanto más diferentes sean los cultivos a establecer en una rotación, ya sea por fechas de siembra y prácticas agronómicas, mejores son las oportunidades para atenuar la presión de malezas en el cultivo de la quínoa. En este sentido la experiencia recomienda que una opción adecuada es sembrar quínoa después de cereales (No comparten enfermedades ni plagas) y porque estos cultivos tienen más opciones de control de malezas. Después de papa no es recomendable porque compiten agresivamente y por la dificultad en el control de “papas voluntarias”. En lo posible evitar establecer quínoa después de una pradera degradada, por la cantidad de residuos que se genera, lo que dificulta la preparación de suelo y labores posteriores a la presencia de malezas perennes que pueden rebrotar y a un alto banco de semillas de malezas.

La distancia o espaciamento entre las hileras (Más adelante se presentan mayores antecedentes) o la densidad de las plantas, desempeñan un papel importante en el equilibrio competitivo entre las malezas y el cultivo. Por tanto, incrementando la densidad de cultivo también constituye otra medida adicional para disminuir la abundancia de malezas (Singh y Singh, 2006).

5.3.3 Control mecánico: las labores de preparación de suelo y de las condiciones en que se ejecutan, pueden tener efectos variables dependiendo del tipo de malezas presentes. En general, los arados de vertedera, disco y cincel eliminan efectivamente plántulas pequeñas y superficiales, lo que disminuye con malezas perennes bien establecidas, debido a los órganos de reserva subterráneos como rizomas, estolones y tubérculos. Labores secundarias, por ejemplo, realizadas con vibrocultivador, tienen un adecuado efecto solo en malezas anuales de poco desarrollo (García y Fernández, 1991).

En cuanto a las labores mecánicas de control entre las hileras de un cultivo, estas deben realizarse cuando la quínoa esté bien arraigada. Labores de escarda o “limpias” manuales pueden cumplir una importante misión para cultivos establecidos en línea con una distancia igual o superior a los 40 cm. Es muy probable que deban repetirse las labores de control en varias oportunidades (mínimo 2 a 3 veces) durante la temporada, y en donde la disponibilidad de mano de obra también puede ser una limitante para su ejecución oportuna. En el caso de labores manuales, se ha estimado que pueden requerirse entre 30 a 50 JH ha⁻¹ (1 JH = \$12.000), lo que implica un costo aproximado de \$360.000 a \$600.000 ha⁻¹ en Chile (US\$550 a US\$920 ha⁻¹).

Las limitaciones de este tipo de control están dadas por el potencial daño mecánico al cultivo de la quínoa por el paso de los implementos, por lo que solo se puede realizar hasta cierta etapa de desarrollo del cultivo.

5.3.4 Control químico: los herbicidas son una herramienta esencial e insustituible en el control de las malezas por su eficacia, rápida respuesta, fácil manejo, bajo costo y agrónomicamente flexibles al ser utilizados en diversas etapas de un cultivo.

Una de las primeras etapas en que se utilizan herbicidas, es en el barbecho químico como parte de la preparación de suelo. El barbecho químico corresponde a la aplicación de herbicida(s) que se ejecuta después de la cosecha y antes de la siembra del cultivo. Se realizan en terrenos con altas infestaciones de malezas, sobre todo del tipo perenne. Se utilizan herbicidas no selectivos, sistémicos y de amplio espectro como glifosato que puede ser mezclado en el estanque con otros herbicidas como fluroxipir, 2,4-D o MCPA para complementar el control de malezas de hoja ancha. Posterior a su aplicación se debe esperar al menos unas 3 a 4 semanas antes de iniciar las labores de preparación de suelo. Las labores mecánicas primarias y secundarias realizan un importante aporte de control sobre las malezas que puedan emerger durante esta etapa.

Otra alternativa es paraquat o paraquat+diquat, herbicidas de contacto y de amplio espectro, efectivos sobre malezas anuales con poco desarrollo. Presentan una rápida acción (Necrosando tejidos verdes), por lo que se requiere solo de algunos días entre su aplicación y preparación de suelo.

Con el cultivo establecido se pueden aplicar herbicidas de pre y post emergencia. Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con herbicidas recomendados para la quínoa, y los escasos estudios existentes no son concluyentes e incluso contradictorios. Dada esta situación es que se realizó una serie de ensayos con herbicidas para determinar la selectividad o tolerancia de la quínoa. Entendiéndose como selectividad a la característica de los herbicidas que hace posible su aplicación para controlar malezas sin dañar al cultivo. La selectividad es el resultado de interacciones complejas entre la planta (Desarrollo, morfología), el herbicida (Método y momento de aplicación, mecanismo de acción) y el medio ambiente (Tipo de suelo, humedad del suelo, temperatura) (Radosevich et al., 2007).

5.3.5 Control integrado: la combinación de dos o más métodos de control mejora el manejo de las malezas en los sistemas productivos y es más amigable para el cuidado del medio ambiente (Naylor y Drummond, 2002). En este sentido, se realizaron ensayos que combinaron el método cultural (distancia entre las hileras), mecánico (labores de escarda entre las hileras) y herbicidas, para evaluar el control efectivo de malezas y la respuesta productiva de la quínoa.

5.4 Evaluación de métodos de control de malezas en el cultivo de la quínoa

5.4.1 Control mecánico: durante la temporada 2017-2018 en INIA Carillanca se estableció un ensayo con el objetivo de evaluar implementos manuales como rastra horquilla, azadón oscilatorio (Hosstools^{MR}) y combinaciones de éstos en tándem (Fotomontaje 1). La siembra del ensayo se realizó el 22/09 con quínoa Regalona Baer en dosis de 10 kg ha⁻¹ y 40 cm de distancia entre las hileras, en macro parcelas de 4 x 18 m (64 m²) por tratamiento evaluado. Los tratamientos se aplicaron en tres oportunidades, correspondientes a las fechas de 25/10, 10/11 y 27/11 de 2017, momento en que el cultivo se encontraba con un desarrollo de 4 hojas, 8-10 hojas e inicios de emisión de panoja, respectivamente. Las principales malezas presentes correspondieron a rábano, pasto pinito, calabacillo, sanguinaria, porotillo, yuyo y duraznillo.

IMPLEMENTOS	TÁNDEM	
T1: Rastra horquilla		Sin implemento
T2: Rastra horquilla + azadón oscilatorio		
T3: Azadón oscilatorio		Sin implemento
T4: Testigo limpio		
T5: Azadón oscilatorio + rastra horquilla		
T6: Azadón oscilatorio + azadón oscilatorio		
T7: Testigo enmalezado		

Fotomontaje 1. Esquema de los tratamientos según implementos y combinaciones evaluadas en el control mecánico de malezas. INIA Carillanca. Fuente: Jorge Díaz S. (INIA Carillanca)

Los resultados de esta experiencia se presentan en el cuadro 2, correspondientes a población y biomasa total de malezas, con sus respectivos niveles de eficacia de control y rendimiento del cultivo. Se puede observar que todos los tratamientos disminuyeron de forma importante la población y biomasa de malezas.

Cuadro 2. Respuesta a tratamientos de control mecánico. Población y biomasa total de malezas, eficacia de control y rendimiento de la quínoa. INIA Carillanca

Tratamiento	Población (n° m ⁻²)	Control (%) [#]	Biomasa (g m ⁻²)	Control (%) ^{&}	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Rastra horquilla	62,7 c	85	870 b	54	1.570 c
Rastra horquilla + azadón oscilatorio	36,3 c	91	657,4 b	65	1.300 cd
Azadón oscilatorio	180 b	57	663,3 b	65	1.102 d
Testigo Limpio	0 c	100	0 c	100	2.840 a
Azadón oscilatorio + rastra horquilla	60,3 c	86	834,7 b	56	2.020 b
Azadón oscilatorio + azadón oscilatorio	33,7 c	92	512,4 b	73	2.520 a
Testigo enmalezado	416,0 a		1884,5 a	0	950 d
Nivel de Significancia	***		***		***
CV (%)	50,5		33,1		13,7

#: eficacia sobre la población de malezas

&: eficacia sobre la biomasa de malezas

(***): nivel de significancia $p < 0,001$

Para la población de malezas los niveles de eficacia de control fueron de 85% y superiores, con la única excepción del implemento azadón oscilatorio (T3). En el caso de la biomasa de malezas, los niveles de control fueron inferiores a los obtenidos sobre la población de malezas, con variaciones entre 54% (T1) a 73% (T6). Esta menor respuesta de control sobre la biomasa de malezas se debió a que malezas como rábano y yuyo escaparon al paso de los implementos al ubicarse sobre las hileras del cultivo. Sin embargo, el cultivo respondió con rendimientos significativamente superiores al testigo enmalezado en los tratamientos rastra horquilla (T1) y azadón con rastra en tándem (T5). Sin duda, de todos los tratamientos evaluados destacó el azadón en tándem (T6) al alcanzar un rendimiento similar al testigo limpio.

Al momento de realizar el paso de los implementos se observó que la rastra de horquilla no tenía una buena capacidad para desarraigar las malezas del suelo, particularmente rábanos y yuyos con varias hojas y una raíz profundizadora en desarrollo. Además, con el suelo húmedo el control disminuye (Ross y Lembi, 1999), ya que las malezas desarraigadas pueden volver a unirse al suelo y retomar su crecimiento. Por otra parte, si bien el azadón oscilatorio eliminó las malezas mediante un corte (Separando parte aérea de la raíz), el

mecanismo de corte rápidamente se satura con suelo y restos de las malezas cortadas, requiriendo una constante limpieza ralentizando el trabajo del implemento. Es sabido que el control mecánico es más efectivo en suelo seco porque las malezas a menudo mueren por desecación, los implementos trabajan mejor y se opera de forma más rápida. Además, cuando el suelo está demasiado húmedo se puede dañar su estructura y posiblemente contribuir a la propagación de malezas (Cloutier y Leblanc, 2001).

Los resultados del ensayo sugieren que las labores mecánicas realizadas entre las hileras pueden proporcionar y contribuir a un control efectivo de malezas para el cultivo de la quínoa. Estos resultados son consistentes a los de Jacobsen *et al.* (2010), quienes obtuvieron adecuados resultados de control mecánico en quínoa durante dos años en las condiciones de Dinamarca. Sin embargo, la eficacia de este método va a depender de los implementos utilizados, tipo y desarrollo de malezas presentes, condiciones del suelo (Humedad, presencia de terrones y residuos), desarrollo del cultivo y costos económicos asociados.

5.4.2 Tolerancia y eficacia de control de herbicidas: para definir los tratamientos a evaluar se consideró información existente (Cuadro 3) y herbicidas registrados en cultivos emparentados botánicamente a la quínoa (Cuadro 4). Adicionalmente, se incorporaron herbicidas que no controlan quinguilla, maleza botánicamente muy próxima a la quínoa, como triasulfuron, triflusal, halosulfuron, metsulfuron (familia química de las sulfonilureas) y flucarbazone (familia química de las sulfonilaminocarboniltriazolinonas), todos inhibidores de la enzima ALS. No se evaluaron herbicidas que controlan específicamente malezas gramíneas, o comúnmente llamados graminicidas, debido a su especificidad en inhibir la enzima ACCasa, que en especies dicotiledóneas es insensible a estos herbicidas (Reade y Cobb, 2002). Esto explicaría la tolerancia de la quínoa a este tipo de herbicidas.

Cuadro 3. Antecedentes de herbicidas pre y postemergentes evaluados en el cultivo de la quínoa

Autor	Herbicidas promisorios
Alvarez (1990); Aguerrea (1998)	Alacloro (pre), propizamida (pre), metsulfuron (post), quizalofop (post) y fluazifop (post).
Westra (1988); Galwey (1989); (Risi & Galwey, 1989).	Metamitron (pre), propizamida (pre y post), metabenzthiazuron (pre) y alacloro (pre y post).

Entre paréntesis indica momento de aplicación (preemergencia) y (postemergencia)

Cuadro 4. Herbicidas utilizados y registrados para cultivos de la familia Chenopodiacea como remolacha, acelga, betarraga y espinaca

Cultivo	Herbicidas
Remolacha	Propizamida, triflusaluron, metamiltron, metolacoloro, fenmedifam/desmedifam/etofumesato, lenacilo, cloridazona, clopiralid, amitrol, etofumesato
Acelga y Betarraga	metamiltron, fenmedifam/desmedifam/etofumesato, cloridazona
Espinaca	metamiltron, fenmedifam/desmedifam/etofumesato, cloridazona, oxifluorfen, pendimetalina

(Fuente: SAG, 2016)

Las evaluaciones comenzaron a realizarse en la temporada 2014-2015 mediante un ensayo exploratorio con los herbicidas metamiltron (Pre y postemergencia), propizamida (Postemergencia) y la secuencia de metamiltron (Pre) seguido de propizamida (Post). De este "screening", donde solo se realizaron observaciones visuales de síntomas, se pudo descartar al herbicida metamiltron aplicado en postemergencia debido al alto daño causado a la quínoa.

En los cuadros 5, 6 y 7 se indican los herbicidas evaluados durante las temporadas 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018, con un total de 10, 19 y 20 tratamientos, respectivamente. Estos se aplicaron en preemergencia, postemergencia y secuencias pre y postemergencia al cultivo. Las aplicaciones de postemergencia se realizaron con la quínoa siempre al estado vegetativo (Entre 4 a 8 hojas). La aplicación en banda de metamiltron es entre las hileras y dirigida al suelo, sin contactar al cultivo (Foto 3).

CUADRO 5. Tratamientos herbicidas evaluados (10) en dos localidades (INIA Carillanca y Tranapunte). Temporada 2015-2016

Herbicidas	Dosis (g ha ⁻¹)	Momento aplicación
Metamiltron	1.750	Preemergencia
Propizamida	500	Postemergencia
Metamiltron - Propizamida	1.750 - 500	Pre - Post
Metsulfuron metil	4,8	Post
Metamiltron -Metsulfuron	1.750 - 4,8	Pre - Post
Triasulfuron	7,5	Post
Metamiltron – Triasulfuron	1.750 – 7,5	Pre - Post
Flucarbazono	17,5	Post
Flucarbazono	35	Post
Flucarbazono	70	Post

Cuadro 6. Tratamientos herbicidas evaluados (19) en dos localidades (INIA Carillanca y Tranapunte). Temporada 2016-2017

Herbicidas	Dosis (g ha ⁻¹)	Momento aplicación
Metamitron	3.500	Preemergencia
Metamitron	7.000	Pre
Metamitron - Metamitron	3.500 - 1.750	Pre - Dirigido entre hileras
Metamitron	1.750	Dirigido entre hileras
Metamitron - Triasulfuron	3.500 - 7,5	Pre - Post
Metamitron - Triasulfuron	7.000 - 7,5	Pre - Post
Triasulfuron	7,5	Post
Triasulfuron	33,75	Pre
Pendimetalin	1.800	Pre
Clomazone	144	Pre
Prosulfocard	4.000	Pre
Prosulfocard / Metolacloro	2.800 / 420	Pre
Propisoclor	1.440	Pre
Metazaclor	1.000	Pre
Rimsulfuron	25	Pre
Rimsulfuron	25	Post
Halosulfuron	75	Post
Triflusaluron	22,5	Post
Fenmedifan/desmedifan/etofumesato	187,5/62,5/377,5	Post



Foto 3. Aplicación de herbicida metamitron entre las hileras del cultivo de la quínoa (40 cm), con pantalla y dirigido al suelo.
Fuente: Jorge Díaz S.
(INIA Carillanca)

Cuadro 7. Tratamientos herbicidas evaluados (20) en dos localidades (INIA Carillanca y Tranapuente). Temporada 2017-2018

Herbicidas	Dosis (g ha ⁻¹)	Momento aplicación
Metamitron	3.500	Preemergencia
Metamitron	5.250	Pre
Metamitron - Metamitron	3.500 – 1.750	Pre – Dirigido entre hileras
Metamitron	1.750	Dirigido entre hileras
Prosulfocarb	2.000	Pre
Prosulfocarb	4.000	Pre
Prosulfocarb / Metolacloro	1.400 / 210	Pre
Prosulfocarb / Metolacloro	2.800 / 420	Pre
Flumioxazin	15,5	Pre
Flumioxazin	25	Pre
Flumioxazin	50	Pre
Rimsulfuron	25	Pre
Clomazone	72	Pre
Clomazone	144	Pre
Flufenacet/flurtamona/diflufenican	24 / 24 / 24	Pre
Flufenacet/flurtamona/diflufenican	48 / 48 / 48	Pre
Flufenacet/flurtamona/diflufenican	96 / 96 / 96	Pre
Triasulfuron	7,5	Post
Metsulfuron	4,8	Post
Triflusalufuron	22,5	Post

Los resultados logrados en la temporada 2015-2016 indicaron como selectivos los tratamientos con metamitron en preemergencia y propizamida de postemergencia, al no causar síntomas visibles de fitotoxicidad, no disminuir la población y altura de plantas de quínoa y presentaron rendimientos similares al testigo sin herbicida (Figura 2). Mientras que los herbicidas de postemergencia como metsulfuron y triflusalufuron mostraron niveles intermedios de daño y se descartó el herbicida flucarbazone por su alta fitotoxicidad al causar muerte de plantas (datos no presentados).

En la temporada 2016-2017 de los 19 tratamientos evaluados, solamente los herbicidas metamitron (Figura 3) y triflusalufuron (Figura 4) fueron selectivos o tolerados por la variedad Regalona Baer y el genotipo CQU 162. Los tratamientos con estos herbicidas no presentaron síntomas visuales de fitotoxicidad, no declinó la población y no disminuyó la altura de las plantas, y se alcanzaron rendimientos significativamente similares al testigo sin herbicida.

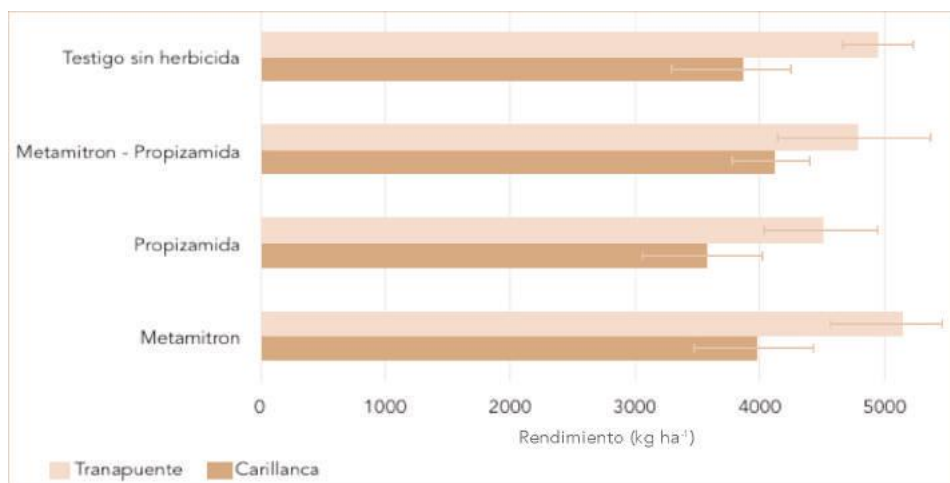


Figura 2. Rendimiento (kg ha⁻¹) de tratamientos herbicidas con metamitron de preemergencia y propizamida de postemergencia. Temporada 2015-2016

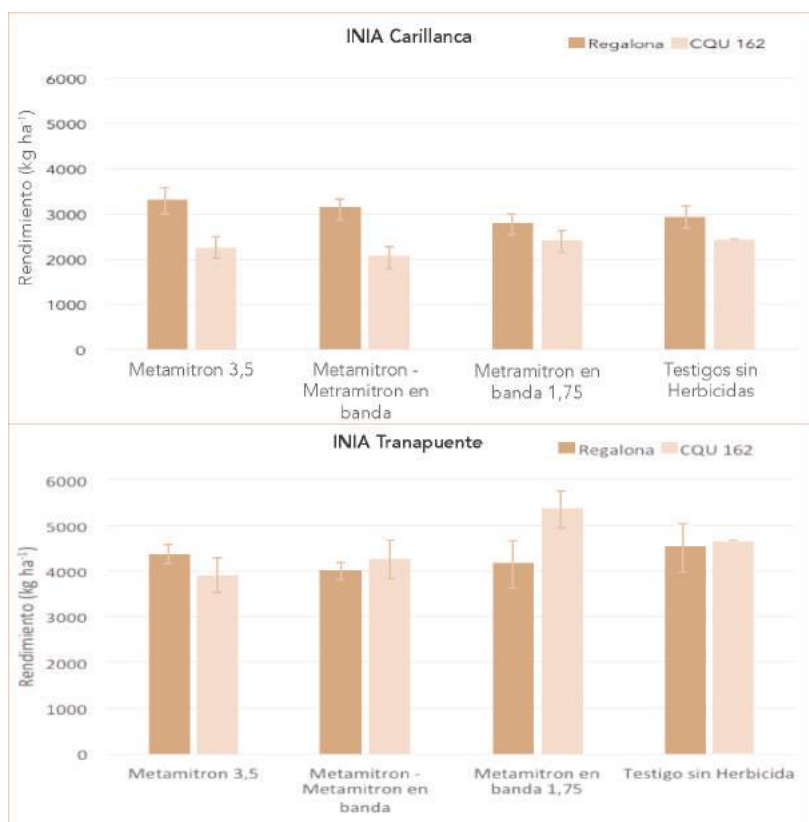


Figura 3. Rendimiento (kg ha⁻¹) de quínoa Regalona Baer y CQU 162 con metamitron de preemergencia y aplicado en banda entre las hileras del cultivo. INIA Carillanca y Tranapunte. Temporada 2016-2017



Figura 4. Rendimiento (kg ha^{-1}) de quínoa Regalona Baer y CQU 162 como respuesta a tratamientos herbicida con triflurosulfuron de postemergencia. Temporada 2016-2017

Por otra parte, por los altos niveles de fitotoxicidad y daño que comprometieron la población, altura y rendimiento de la quínoa, se descartaron los herbicidas triasulfuron, pendimetalin, clomazone, prosulfocarb, prosulfocarb/metolacloro, propisoclor y metazaclor aplicados de preemergencia, junto con rimsulfuron, halosulfuron y fenmedifan/desmedifan/etofumesato aplicados de postemergencia (datos no presentados).

En la temporada 2017-2018, de los 20 tratamientos evaluados el herbicida metamitron aplicado en preemergencia, al momento de la siembra y entre las hileras del cultivo (Figura 5) en Regalona Baer y genotipo CQU 162, y triflurosulfuron en postemergencia a Regalona Baer (Figura 6), mantuvieron su comportamiento selectivo en ambas localidades. En el caso del herbicida triflurosulfuron se aplicó en dos condiciones ambientales contrastantes, una a medio día con una temperatura ambiental de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la segunda hacia el atardecer con $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. En ambas situaciones el herbicida provocó una leve clorosis, por un período de dos semanas, pero que no se tradujo en una disminución del rendimiento (Figura 6).

En conclusión, la quínoa toleró adecuadamente durante tres temporadas los tratamientos con metamitron de preemergencia en dosis de 1.250 a 3.500 g ha^{-1} y, durante dos temporadas a triflurosulfuron en postemergencia a la dosis única de $22,5\text{ g ha}^{-1}$. Probablemente, el herbicida triflurosulfuron pueda convertirse en una eficiente estrategia de control que reemplace al herbicida metamitron y a labores mecánicas entre las hileras, pero que deberá ser evaluado en futuros ensayos de eficacia de control en las principales malezas que invaden el cultivo.

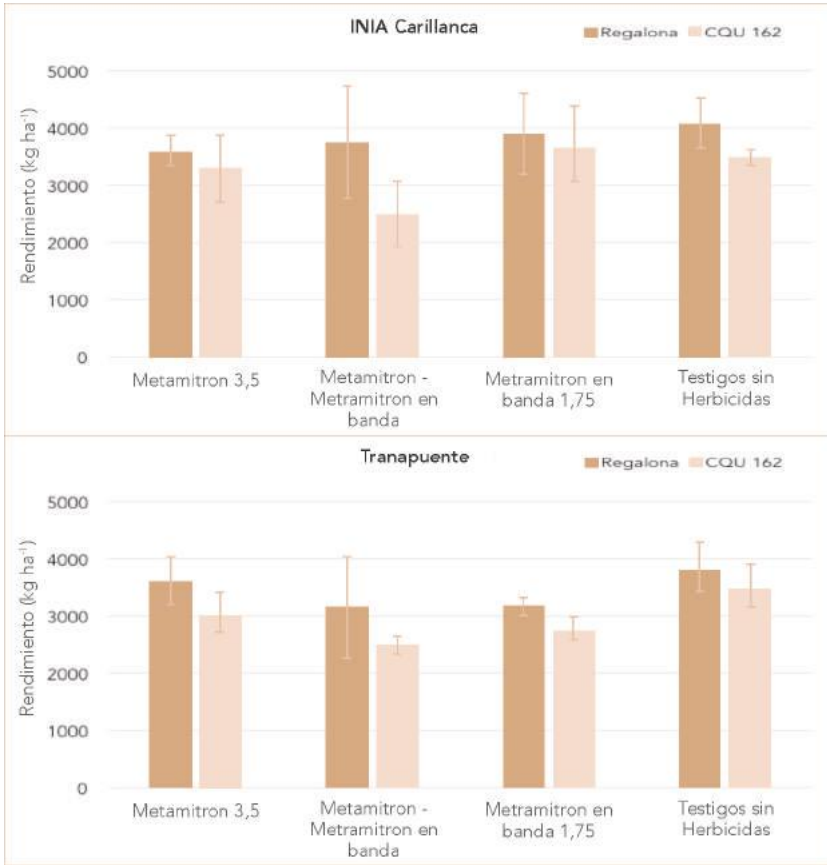


Figura 5. Rendimiento (kg ha⁻¹) de quinoa Regalona Baer y CQU 162 como respuesta a tratamientos herbicidas con metamitron de preemergencia y en banda entre las hileras del cultivo. Temporada 2017-2018

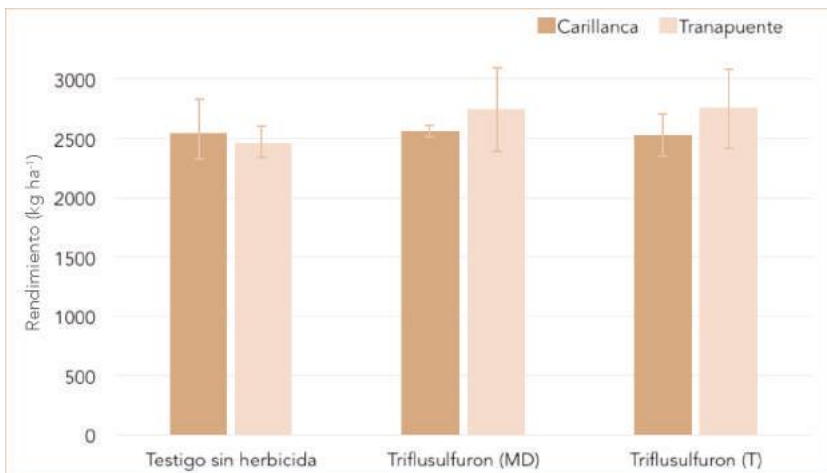


Figura 6. Rendimiento (kg ha⁻¹) de la quinoa Regalona Baer como respuesta al herbicida triflusaluron de postemergencia aplicado a medio día (MD) y en la tarde (T). Temporada 2017-2018

5.4.3 Control integrado (distancia entre hileras, herbicidas y labores mecánicas):

durante tres temporadas se realizaron ensayos con el cultivo establecido a las distancias de 20 y 40 cm entre las hileras, utilizando siempre una única dosis de 10 kg ha⁻¹ de semilla de quínoa. Es sabido que el aumento de la densidad del cultivo, ya sea por medio de dosis mayores de siembra o bien disminuyendo la distancia entre las hileras del cultivo, es siempre una práctica recomendada para el control de malezas. Las hileras más próximas y/o un mayor número de plantas por unidad de superficie permiten una cobertura más rápida del suelo, lo que reduce la germinación y competencia de las malezas con el cultivo (García, 1997).

Los resultados de la primera temporada indicaron que metamitron de preemergencia y metamitron de preemergencia con propizamida de postemergencia, presentaron eficacias de control en torno a un 50%, con una leve ventaja para la distancia de 40 cm. Esto bajos niveles de control, se debió a que los herbicidas no redujeron la población y biomasa de las principales malezas presentes como rábano, quinguilla y verónica (Cuadro 8).

Cuadro 8. Niveles de control (%) sobre la biomasa y población de malezas en quínoa según distancia entre hileras (20 y 40 cm) y tratamientos herbicidas.
INIA Carillanca 2015-2016

Tratamientos	Dosis (kg ha ⁻¹)	Población malezas (%) 1		Biomasa malezas (%) 2	
		20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
Testigo Enmalezado		0,0	0,0	0,0	0,0
Metamitron (Pre)	1,75	29,8	49,1	56,1	67,7
Propizamida (Post)	0,5	0,0	0,0	4,8	8,8
Metamitron (Pre) - Propizamida (Post)	1,75 - 0,5	50,8	53,4	57,8	51,7
Testigo sin Malezas		100,0	100,0	100,0	100,0

1: Control sobre la población total de malezas.

2: Control sobre la biomasa total de malezas.

Consecuentemente, el rendimiento de la quínoa también respondió al factor distancia entre las hileras y en donde 40 cm superó a la de 20 cm en 770 kg ha⁻¹ (Figura 7).

Dada la escasa eficacia de control y respuesta productiva de los tratamientos evaluados, a la siguiente temporada, 2016-2017 se estableció un ensayo en dos localidades (INIA Carillanca y Tranapunte), evaluando al herbicida metamitron en preemergencia en dosis de 1,75 y 3,5 kg ha⁻¹, metamitron complementado con un control mecánico (una labor) y solo control mecánico (dos labores), más los respectivos testigos (con y sin malezas). El control mecánico consistió en el uso de un implemento manual entre las hileras del cultivo que simuló la acción de un cincel trabajando superficialmente (5 a 10 cm de profundidad).

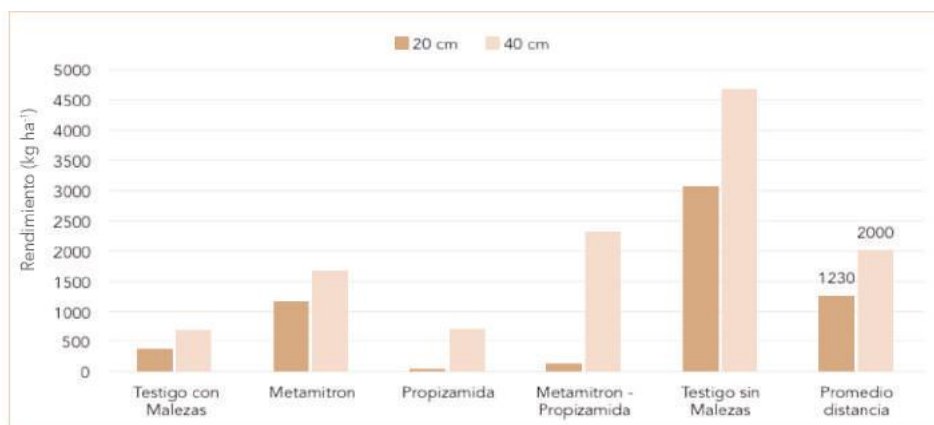


Figura 7. Rendimiento (kg ha⁻¹) de la quínoa según distancia entre hileras (20 y 40 cm) y tratamientos herbicidas. INIA Carillanca 2015-2016

Los resultados indicaron que el tratamiento de metamitron complementado posteriormente con una labor mecánica entre las hileras del cultivo, alcanzó los mayores niveles de control en ambas localidades y destacando la distancia de 40 cm entre las hileras, particularmente en Tranapunte (Figura 8). Las diferencias de eficacia de control entre las localidades se debieron a que en Tranapunte las malezas fueron de una mayor agresividad por los altos niveles poblacionales y de biomasa (datos no presentados), alcanzado por las principales malezas como rábano, hierba de la culebra y sanguinaria, respecto al sitio de INIA Carillanca. En ambas situaciones el herbicida metamitron presentó un buen control en sanguinaria, pasto pinito, calabacillo y quilloi-quilloi, control mediano en porotillo, duraznillo, manzanillón, hierba de la culebra y un escaso a nulo control en rábano, siete venas, chinilla y quinguilla.

La interferencia de las malezas provocó pérdidas productivas para el promedio de las distancias entre hileras, de 1.170 kg ha⁻¹ (35%) en INIA Carillanca y 2.015 kg ha⁻¹ (41%) en Tranapunte (Figura 9).

En INIA Carillanca destacó el tratamiento de metamitron (en dosis de 3,5 kg ha⁻¹) al incrementar el rendimiento en 1.000 y 300 kg ha⁻¹ para la distancia de 20 y 40 cm, respectivamente (Figura 9). Si bien este herbicida complementando con labores mecánicas logró los mejores niveles de control, pero que no se expresó en un rendimiento destacado respecto de otros tratamientos, sugiere un posible daño mecánico al cultivo que no fue percibido durante y después de realizada la labor.

Para la localidad de Tranapunte todos los tratamientos aumentaron de forma importante el rendimiento del cultivo en la distancia de 40 cm por sobre el de 20 cm, destacando metamitron - labor mecánica y el control mecánico (Figura 9).

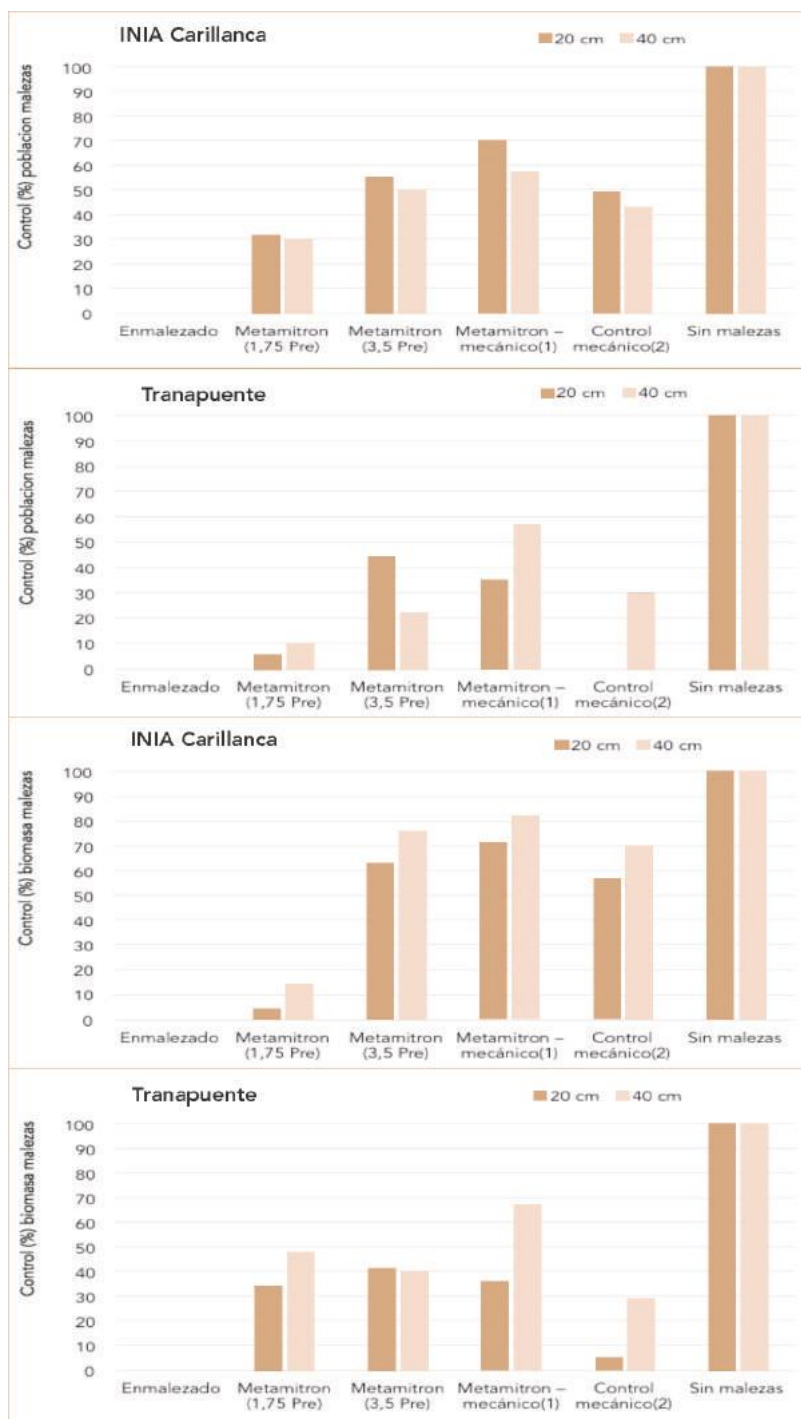


Figura 8. Niveles de control (%) sobre la población y biomasa de malezas según distancia entre las hileras (20 y 40 cm) y tratamientos de control de malezas. INIA Carillanca y Tranapunte, 2016-2017

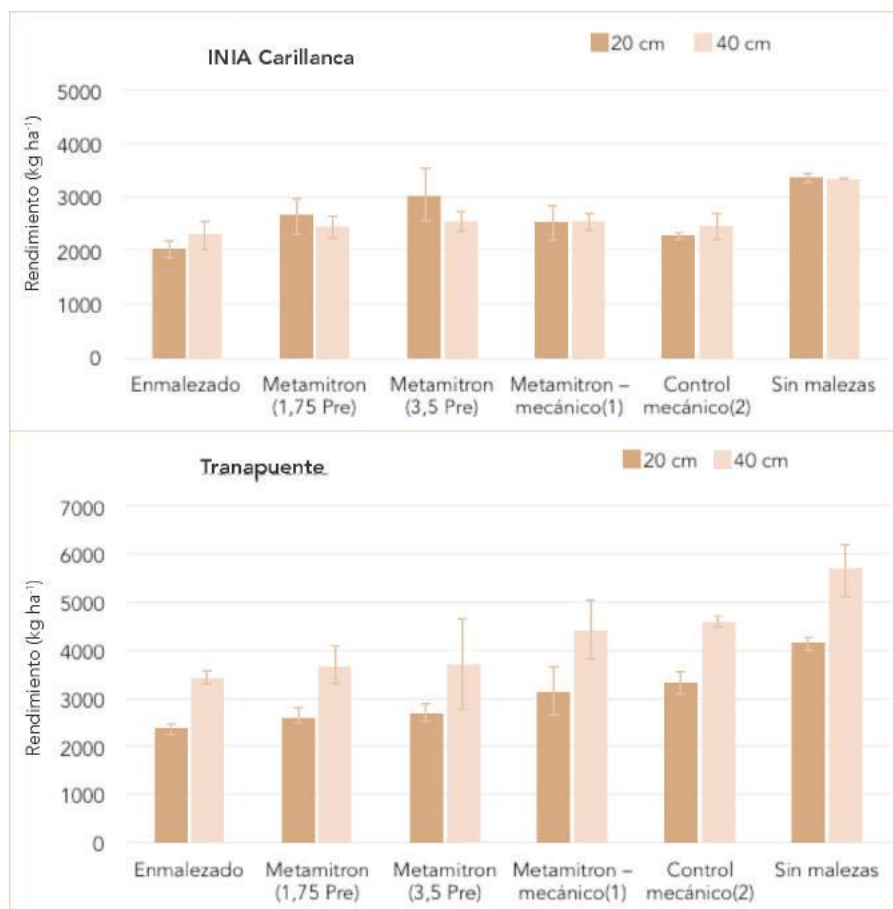


Figura 9. Rendimiento (kg ha⁻¹) de la quinoa según distancia entre hileras (20 y 40 cm) y tratamientos de control. INIA Carillanca y Tranapunte, 2016-2017

A la siguiente temporada, 2017-2018, los tratamientos evaluados en la localidad de INIA Carillanca presentaron adecuados niveles de control. Se puede destacar a metamitron de preemergencia más una segunda aplicación del herbicida entre las hileras y posteriormente complementado con control mecánico. Este tratamiento ejerció niveles de control superiores a un 70% sobre la población y biomasa total de malezas (Cuadro 9).

Si bien no se presentan los resultados por especie de malezas, puede concluirse que el herbicida metamitron aplicado en preemergencia en sus mayores dosis, demostró durante tres temporadas y dos localidades un buen control en malezas como sanguinaria, pasto pinito, calabacillo y quilloi-quilloi, y mediano en porotillo, duraznillo, manzanillón y hierba de la culebra. Siendo su mayor debilidad las malezas quinguilla, rábano y yuyo; especies que pueden constituirse en serios problemas y plantear futuros desafíos para el cultivo.

Cuadro 9. Niveles de control (%) sobre la biomasa y población de malezas en quínoa establecida a 20 y 40 cm de distancia entre las hileras. INIA Carillanca 2017 – 2018

Tratamientos	Dosis (kg ha ⁻¹) y labores	Población malezas (%) 1		Biomasa malezas (%) 2	
		20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
Testigo Enmalezado		0,0	0,0	0,0	0,0
Metamitron	3,5	76,4	82,0	50,1	76,0
Metamitron - Metamitron (dirigida)	3,5 - 1,75	84,5	80,0	69,7	85,0
Metamitron - Control Mecánico	3,5 - 2 labores	16,2	90,0	37,4	90,0
Metamitron - Metamitron (dirigida) - C. Mec.	3,5 - 1,75 - 1 labor	91,2	89,0	72,0	89,2
Control Mecánico	3 labores	53,1	78,0	41,3	78,0
Testigo sin malezas		100,0	100,0	100,0	100,0

1: Control sobre la población total de malezas

2: Control sobre la biomasa total de malezas

En esta temporada también respondieron con mayores rendimientos los tratamientos aplicados a la distancia de 40 cm versus 20 cm, superando en más de 400 kg ha⁻¹ de rendimiento promedio (Figura 10). Además, el tratamiento que destacó por su mayor control de las malezas (metamitron en preemergencia - metamitron entre las hileras - control mecánico), alcanzó rendimientos cercanos a los 3.500 y 4.000 kg ha⁻¹ para la distancia de 20 y 40 cm, respectivamente (Figura 10).

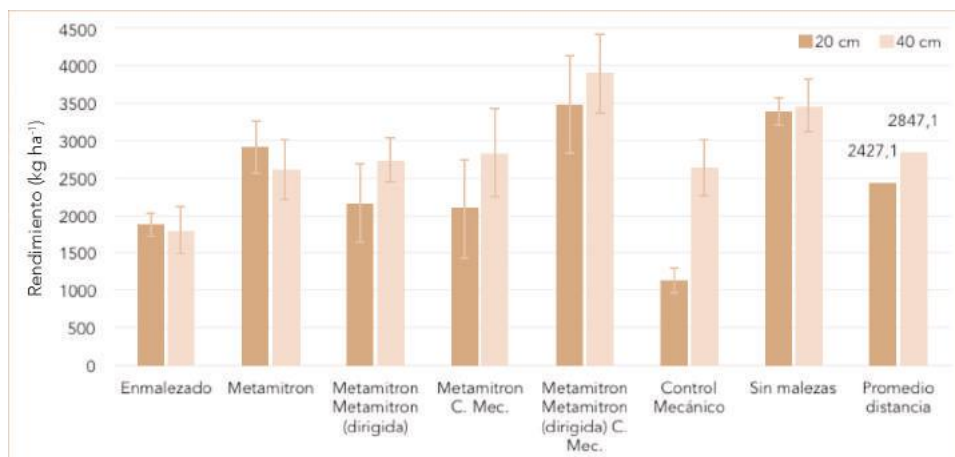


Figura 10. Rendimiento (kg ha⁻¹) de la quínoa según distancia entre hileras (20 y 40 cm) y tratamientos de control. INIA Carillanca, 2017-2018

La mayoría de los estudios confirman que, al disminuir el espacio entre las hileras de siembra del cultivo, responden incrementando el rendimiento. Esto se atribuye a una disposición más equidistante de las plantas, logrando así un mejor uso de los recursos agua, nutrientes y luz. Junto a lo anterior, se ha encontrado que espaciamentos más estrechos pueden tener un impacto significativo en reducir las poblaciones de malezas (Bradley, 2006). La efectividad de reducir el espacio de las hileras sobre el control de malezas depende de varios factores, incluidas las restricciones de agua, nutrientes, proporción de altura entre cultivo y malezas, y momento de la emergencia de malezas (Nichols *et al.*, 2015).

En consecuencia, disminuir la distancia entre las hileras desde 40 a 20 cm no se logra un mejoramiento importante en el control de las malezas y en la productividad del cultivo. Esto se debería a que en la distancia mayor entre las hileras del cultivo, las labores de aplicación de herbicida y el empleo de implementos se pueden realizar de una manera más efectiva y con un menor daño mecánico al cultivo. A lo anterior, se suma la conocida plasticidad que tiene la quínoa para autorregular y compensar variaciones en su población de plantas de manera independiente a la distancia y dosis de siembra (Capítulo 3), y también a una menor predisposición a la enfermedad endémica del mildiú (*Peronospora variabilis*) con densidades bajas de plantas. Dichas características, que se complementan a las medidas de control, permitirían una mejor defensa frente a las malezas cuando el cultivo se establece a una distancia de 40 cm entre las hileras.

5.5 Conclusiones

Para una eficiente estrategia de control de malezas en el cultivo de quínoa, se debe iniciar considerando una adecuada rotación de cultivos (después de algún cereal), una eficiente preparación de suelo partiendo con barbecho químico y labores mecánicas, a fin de obtener una adecuada cama de semilla. Al momento de la siembra se puede utilizar el herbicida metamitron en preemergencia, el que, según las condiciones ambientales, suelo y tipo de malezas, presenta una persistencia de unos 40 a 50 días. Posteriormente, se puede intervenir con labores mecánicas o realizar una aplicación de herbicidas postemergentes selectivos como propizamida o triflusal. Finalmente, es importante destacar que, a la luz de los resultados obtenidos con los herbicidas selectivos, es que las empresas de productos fitosanitarios consideren estos antecedentes a fin de promover los registros necesarios ante el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), para su uso en el cultivo de la quínoa.

Referencias Bibliográficas

- Aguerrea, A. 1998. Control químico de malezas en quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción. Fac. Agronomía. 31 p.
- Álvarez, M. 1990. Capítulo III: Herbicidas. Quinoa hacia su cultivo comercial. Latrinco S.A. Quito. Ecuador. 205p.
- Bassett I. J. y Crompton, C. W. 1978. The Biology of Canadian Weeds. 32. *Chenopodium album* L. Canadian Journal Plant Sci. 58: 1061-1072.
- Blackshaw, R.E., L.J. Molnar, H.-H. Muendel, G. Saindon and X. Li. 2000. Integration of cropping practices and herbicides improves weed management in dry bean (*Phaseolus vulgaris*). Weed Technol. 14: 327-336.
- Bradley, K. W. 2006. A Review of the Effects of Row Spacing on Weed Management in Corn and Soybean. Online. Crop Management doi:10.1094/CM-2006-0227-02-RV.
- Cloutier, D. and Leblanc, M.L. 2001. Mechanical weed control in agriculture. In: Vincent, C., Panneton, B. and Fleurat-Lessard, F. (eds) Physical Control in Plant Protection. Springer-Verlag, Berlin, Germany, and INRA, Paris, France, pp. 191–204.
- Díaz, J., Contreras, G. y Morales, A. 2017. Tolerancia y eficacia de control de herbicidas en el cultivo de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Resúmenes de Exposiciones VI Congreso Mundial de la Quínoa, III Simposio Internacional de Granos Andinos. 21-24 de marzo, Puno, Perú. pag: 63.
- Fundación para la Innovación Agraria (FIA). 2017. Serie estudios para la innovación FIA. Potencial competitivo de la quinua chilena. 152 p.
- Galwey, N. 1989. Exploited plants. Quinoa. Biologist, 36: 267-274.
- García T., L. 1997. Control de malas hierbas en el laboreo de conservación. En: Agricultura de Conservación. Fundamentos Agronómicos, medioambientales y económicos. L. García y P. González (eds.). Asociación Española Laboreo de Conservación. Córdoba, España.
- Gómez, L. y Aguilar, E. 2016. Guía de cultivo de la quinua. FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú
- Jacobsen, S-E.; Christiansen, J. and Rasmussen, J. 2010. Weed harrowing and inter-row hoeing in organic grown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Outlook on agriculture 39(3):223-227.
- Johnson DL, Ward S. Quinoa. In: Janick J, Simon JE, editors. Newcrops. New York, NY:Wiley; 1993. P 219–221.
- Mujica, A., Canahua, A. y Saravia, R. 2001. Capítulo II. Agronomía del cultivo de la quínoa. In: Mujica A., Jacobsen S.E., Izquierdo J, Marathe J.P., editors. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Santiago de Chile: FAO, UNA, Puno. pp. 20–48.

- Naylor, R. y Drummond, C. 2002. Chapter 14. Integrated weed management. Pp: 302-310. In: Weed Management Handbook (Ed. R. Naylor). 9° Edition.
- Nichols V, Verhulst N, Cox R, Govaerts B (2015) Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. Field Crops Research 183:56-68.
- Radosevich, S.R.; Holt, J. and Ghersa, C. 2007. Ecology of weeds and Invasive plants. 3 Edition. 454 pag.
- Reade, J. P. H y Cobb, A.H. 2002. Chapter 8. Herbicides: Modes of action and metabolism. Pp: 134-170. In: Weed Management Handbook (Ed. R. Naylor). 9° Edition.
- Risi, J.C. and Galwey, N. W. 1991. Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in a temperate environment. Journal Agr Sci 117(03):32.
- Risi, J. C. and Galwey, N. W. 1989. The Chenopodium grains of the Andes; Inca crops for modern agriculture. Adv. Applied Biology, v 10:145-216.
- Ross, M. A. and Lembi, C. A. 1999. Applied Weed Science. 2 Edition.
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). 2016. Lista de Plaguicidas con autorización vigente. <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/plaguicidas-y-fertilizantes>. Accesado en julio 2016.
- Singh, R. P. and Singh, R. K. 2006. Ecological approaches in weed management. National symposium on conservation Agriculture and Environment, October 26-28, BHU Varanasi. pp. 301-304
- Warwick, S. y Francis, A. 2005. The biology of Canadian weeds. 132. *Raphanus raphanistrum*. L. Canadian Journal of Plant Sc. 85: 709–733.
- Weiner, J., H.-W. Griepentrog and L. Kristensen. 2001. Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity. J. Applied Ecol. 38:784-790.
- Westra, P. 1988. Weed control in quinoa. Report to Sierra Blanca Assoc. Colorado, USA.
- Wilson H.D, Manhart J. 1993. Crop/weed gene flow: *Chenopodium quinoa* Willd. and *C. berlandieri* Moq. Theor Appl Genet 86(5):642-648.