



Capítulo 4
GESTIÓN NITROGENADA Y POTÁSICA DEL
CULTIVO DE QUÍNOA EN LA ARAUCANÍA

Ricardo Campillo R.
Guillermo Contreras J.

4.1 Introducción

La característica nutricional más importante de la quínoa es el contenido de proteína, que es de alrededor de 16% base materia seca y su balance rico en aminoácidos esenciales. Su contenido proteico es mayor respecto a otros cereales como son el maíz (*Zea mays*); trigo (*Triticum aestivum*); arroz (*Oryza sativa*) con 9,4, 8,9 y 8,6%, respectivamente (Galwey, 1993; Koziol, 1993; Ranhotra et al., 1993).

La quínoa tiene cualidades que le permiten adaptarse a condiciones ambientales diversas como son suelos pobres, sequía y heladas, y se puede cultivar a diferentes altitudes, desde los 3000 m hasta el nivel del mar (Wahli, 1990). La siembra debe realizarse entre los meses septiembre a octubre en la zona centro-sur de Chile y la cosecha se efectúa aproximadamente seis a ocho meses después, dependiendo de la precocidad del genotipo utilizado.

Se estima que la quínoa es un cultivo rústico y que requiere suelos pobres. Sin embargo, esta condición determina también rendimientos limitados. En la condición del altiplano generalmente los campesinos no fertilizan la quínoa, por lo cual es altamente dependiente del efecto residual del cultivo anterior, que normalmente es papa (Tapia, 1990).

Baer (1995), evaluó dos genotipos de quínoa en un suelo andisol de Temuco, concluyendo que el cultivar Baer II alcanzó el mayor rendimiento (6.090 kg ha⁻¹) con una distancia entre hileras de 40 cm, maximizándose el rendimiento en ambos cultivos con la dosis de 10 kg ha⁻¹ de semilla, equivalentes a 135,5 plantas m⁻².

Según Ávila y Etchevers (1988), los requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio del cultivo son aparentemente altos. La producción de materia seca de la parte aérea de la planta en un experimento en macetas con un suelo de baja fertilidad natural, aumentó significativamente con las aplicaciones de estos nutrientes.

Generalmente se indica que el cultivo de quínoa responde adecuadamente a la fertilización nitrogenada. El rendimiento se incrementa cuando la dosis de nitrógeno aumenta de 40 a 160 kg ha⁻¹ (Jacobsen et al., 1994). También se han obtenido buenos rendimientos con aplicaciones de 120 kg ha⁻¹ de N, mientras que dosis entre 150 y 180 kg ha⁻¹ han determinado disminución del rendimiento (Álvarez y von Rütte, 1990; Jacobsen et al., 1994).

Berti y otros, (2000), utilizaron dos genotipos de quínoa en un suelo *Typic melanoxerand* de Chillán (Ñuble), alcanzando rendimientos máximos con 190 kg ha⁻¹ (FARO) y 236 kg ha⁻¹ (UDEDEC10). Indicaron que el rendimiento proteico mostró una respuesta lineal para la fertilización nitrogenada, alcanzando el máximo con la mayor dosis en ambos genotipos.

Respecto a la parcialización del N, existe bastante coincidencia en que la mitad de la dosis debe ser a la siembra y la otra mitad previo a la floración (Álvarez y von Rütte, 1990). Sin embargo, otros autores (Tapia, 1990), señalan que la parcialización del N debe realizarse mitad a la siembra y la otra parcialidad a la aporca (aproximadamente 50 días luego de la germinación).

En relación a la fertilización con fósforo (P) y potasio (K) no existe consenso. Algunos autores indican que el P no es importante y no es considerado en las fórmulas de fertilización. Sin embargo, se mencionan recomendaciones generales de dosis entre 40 a 80 kg ha⁻¹ de fosfato. En cuanto al K, este nutriente se ha descartado de las recomendaciones de fertilización en razón a la ausencia de respuesta (Álvarez y von Rütte, 1990). Según estos autores las respuestas a P y K no fueron consistentes. Ello podría indicar que la planta de quínoa encuentra estos nutrientes en cantidades adecuadas en el suelo, puesto que los análisis de grano muestran altos contenidos de dichos nutrientes.

Por su parte, Choquehuanca (1988), señala que, en ensayos realizados en Perú, el K es el elemento más extraído por el cultivo de la quínoa, superando la extracción total de N.

En Chile existen escasos antecedentes de los requerimientos nutricionales del cultivo de quínoa, principalmente en la zona centro sur y sur. Las condiciones climáticas y las características de suelos diferentes drásticamente del norte del país, por lo cual no es dable extrapolar información agronómica del cultivo entre ambas zonas del país. Matus, Ruff y Pinto (2015), señalan que, de acuerdo a ensayos de campo realizados en Litueche (Condiciones de secano, Región de O'Higgins) y Chillán (Condiciones de riego, Región de Ñuble), la respuesta a N estuvo fuertemente condicionada a la variedad de quínoa. En la localidad de secano (Hidango, comuna de Litueche), no se observó una clara respuesta a las dosis crecientes de N. En el caso de Chillán (bajo riego), la mejor respuesta se obtuvo con 150 kg ha⁻¹ de N y con la variedad Riobamba.

La escasa y aislada información técnica existente sobre los requerimientos nutricionales requeridos por el cultivo de quínoa, establecido en las condiciones agroecológicas de La Araucanía justificó que en el desarrollo del proyecto FIA se abordaran estos desafíos tecnológicos. A continuación, se presenta una síntesis con los principales resultados sobre la gestión de nitrógeno y potasio en dos comunas de la Región de La Araucanía.

4.2 Características de los suelos del Llano Central y Precordillera de La Araucanía

Una alta proporción del área de cultivos se desarrolla en suelos derivados de cenizas volcánicas que, de acuerdo a su edad, se clasifican como rojo-arcillosos, los más antiguos, transicionales, algo más recientes y trumaos, los más nuevos. Todos se caracterizan por su alta capacidad de fijación de fósforo, que puede alcanzar niveles superiores a 90% en los trumaos y sobre 70% en los rojo-arcillosos (Rodríguez, 1993).

El estudio se realizó en el predio del Centro de Investigación INIA Carillanca, comuna de Vilcún, Región de La Araucanía, durante tres ciclos productivos consecutivos. El suelo correspondió a la serie Vilcún (Andisol). Este suelo está sometido tradicionalmente a una rotación intensiva de cultivos anuales, bajo el sistema de labranza tradicional con quema de residuos. La caracterización inicial de los suelos se realizó de acuerdo a las metodologías establecidas en Sadzawka *et al.* (2006). Los sitios corresponden a potreros diferentes del mismo predio y presentaron niveles de fertilidad adecuados, con limitaciones moderadas por acidez y con un bajo nivel de N inicial.

4.3 Características de los suelos del Borde Costero de La Araucanía

La zona del Borde Costero de La Araucanía presenta mayoritariamente dos agrupaciones de suelos: trumaos (Andisoles) y rojos arcillosos (Ultisoles). Ambos tipos de suelos tienen en común su evolución a partir de cenizas volcánicas de diferentes antigüedades. El origen volcánico de ambas agrupaciones de suelo es el responsable del proceso de "retención o fijación del fósforo soluble" (Rodríguez, 1993) y la necesidad de aplicar dosis altas y localizadas de fósforo a la siembra para obtener buenos rendimientos, producciones de calidad y en forma rentable.

Por otra parte, estos suelos también se destacan por una gran capacidad de mineralizar nitrógeno, preferentemente en los meses de primavera, nutriente que puede ser utilizado por el cultivo en desarrollo. Este aporte natural de nitrógeno del propio suelo se debe preferentemente a la acumulación de residuos frescos provenientes de la cosecha del cultivo anterior (Campillo, 2013), principalmente papa. Estos dos procesos (Efecto residual del fósforo y gran capacidad de mineralización de nitrógeno), explican la ventaja e impacto del denominado "**Bochán de papa**" (suelo que queda disponible luego de una plantación de papa) en la productividad del cultivo siguiente, como continuador de la rotación de cultivos.

Con el fin de visualizar el impacto que tiene el suministro natural de nitrógeno del suelo sobre la productividad del cultivo de trigo, se compararon tres suelos trumaos ubicados en distintas localidades de Cautín (Campillo, 2013). En todos los casos el nivel de fósforo disponible fue muy alto. Los rendimientos de grano del trigo Maxwell, sin aplicación de nitrógeno-fertilizante, fluctuaron entre 29,3 qqm ha⁻¹ (INIA Carillanca) y 98 qqm ha⁻¹ (Tranapunte), resaltando el impacto del aporte natural de nitrógeno y la capacidad de mineralización de los residuos de cosecha del pre cultivo de papa, bajo el suelo de Tranapunte. Este antecedente grafica el potencial productivo que es posible alcanzar en este suelo con un pre cultivo de papa.

El estudio también se realizó en el predio Tranapunte, comuna de Carahue, Región de La Araucanía, durante tres ciclos productivos consecutivos. El suelo correspondió a un andisol del borde costero, utilizado anteriormente con diferentes cultivos. En el

ciclo productivo 20015-2016 el pre cultivo fue papa; en el siguiente ciclo 2016-2017, fue poroto grano y en el ciclo final 2017-2018 fue una pradera naturalizada de tres años.

4.4. Gestión del Nitrógeno en el Cultivo de Quínoa en La Araucanía

Para determinar la tecnología y uso de los fertilizantes nitrogenados utilizados en este proyecto se diseñó un set de experimentos de campo en dos comunas de La Araucanía (Vilcún y Carahue), insertas en la zona productora de quínoa de la región.

Los objetivos de las evaluaciones experimentales implementadas con el cv. Regalona Baer y el genotipo CQU 162, en dos zonas edafoclimáticas de las comunas elegidas durante los ciclos productivos 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018 permitieron evaluar el efecto del N (como urea) sobre el rendimiento y calidad de grano de quínoa en un andisol, estimar las dosis óptimas físicas (DOF) y económicas (DOE) para su producción en un andisol sometido a una rotación de cultivos anuales y determinar el efecto de dosis de N en la eficiencia de uso de N en el cultivo.

4.4.1 Metodología de Optimización de Dosis de Nutrientes

La forma correcta de comparar niveles cuantitativos de una variable es a través del ajuste de una función de respuesta. Para establecer las dosis óptimas físicas y económicas derivadas de los experimentos, se ajustó un polinomio de segundo grado a los resultados de rendimientos del cultivo de quínoa evaluado (Rebolledo, 1999): $Y = a + bX + cX^2$, donde Y es el rendimiento del cultivo en qqm o kg ha⁻¹, X es la dosis del nutriente en kg ha⁻¹ y a , b y c son parámetros de la regresión.

En determinadas zonas edafoclimáticas puede ser necesario estimar el rendimiento máximo del cultivo para una localidad específica. Utilizando el modelo de regresión estimado (Volke, 1982), es posible calcular la dosis de fertilizante (nutriente específico) para obtener el rendimiento máximo. Dicha dosis se conoce como **dosis óptima física (DOF)** de un nutriente.

Asumiendo el costo por unidad de nutriente y el valor de un quintal de quínoa se puede calcular la relación de precios insumo/producto. De esta manera, se puede estimar las **dosis óptimas económicas (DOE)** del nutriente y su respectivo *rendimiento óptimo económico* para producción de grano. La DOE de un nutriente se define cuando los incrementos del ingreso neto ante incrementos de los costos variables, son iguales a la **Tasa de Retorno (TR)**, donde TR es la tasa de retorno mínima a obtener.

Es importante recordar que TR son las ganancias que el agricultor obtiene por el dinero invertido. Por ejemplo, una TR del 50 % significa que el agricultor obtiene un ingreso neto de \$50 por cada \$100 invertidos.

4.5. Experimentos de Campo en Gestión de N en INIA Carillanca

El estudio inicial se realizó en el ciclo 2015-2016 bajo condiciones de secano, en un andisol de la serie Vilcún ubicado en el predio de INIA Carillanca, comuna de Vilcún. Los rendimientos de grano para Regalona Baer estuvieron por debajo del potencial, fluctuando entre 11 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 35,9 qqm ha⁻¹ (320 kg ha⁻¹ N).

La DOF alcanzó a 328,8 kg ha⁻¹ de N anual, con un rendimiento máximo de 35,4 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 277,2 kg ha⁻¹ de N anual (Cuadro 1), alcanzando un rendimiento óptimo de 34,8 qqm ha⁻¹. De acuerdo a la DOE estimada (Cuadro 1) se necesitaron solamente 8 kg de N para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

Cuadro 1. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer. Carillanca, 2015-2016

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	11.0		
2	SI ₃₀ -4H ₅₀ -6H ₀ -8H ₀	80	21.4	26.8	3.7
3	SI ₃₀ -4H ₆₅ -6H ₆₅ -8H ₀	160	30.0	18.7	5.3
4	SI ₄₀ -4H ₁₀₀ -6H ₁₀₀ -8H ₀	240	33.6	14.0	7.1
5	SI ₄₀ -4H ₁₂₀ -6H ₁₂₀ -8H ₄₀	320	35.4	11.1	9.0
6	SI ₆₀ -4H ₁₄₀ -6H ₁₄₀ -8H ₆₀	400	34.3	8.6	11.7
	DOF	328.8	35.4	10.8	9.3
	DOE	277.2	34.8	12.5	8.0

*:Ajuste cuadrático. $Y = 10,989 + 0,148433X - 0,00022572X^2$ ($R^2 = 0.9976$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$776 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa).

SI: siembra; 4H: 4 hojas; 6H: 6 hojas; 8H: 8 hojas. Valores a junio de 2019.



Foto 1. Fertilización con nitrógeno en quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, comuna de Vilcún, diciembre de 2015.

Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo).

Los rendimientos de proteína de grano de quínoa Regalona Baer durante el ciclo 2015-2016 estuvieron por debajo del potencial. Los niveles de proteína de grano de los tratamientos fluctuaron solo entre 8,6% (80 kg ha⁻¹ N) y 12,7 % (400 kg ha⁻¹ N). A su vez, los rendimientos de grano del genotipo CQU 162, fueron similares a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 10,2 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 32,1 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ N).

Durante el ciclo 2016-2017 en Carillanca bajo condiciones de secano, los rendimientos de quínoa Regalona Baer estuvieron nuevamente por debajo del potencial, fluctuando entre 11,8 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 32,7 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N). La DOF fue de 280 kg ha⁻¹ de N anual, alcanzando un rendimiento máximo de 34,1 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 250,5 kg ha⁻¹ de N anual (Cuadro 2), alcanzando un rendimiento óptimo de 33,9 qqm ha⁻¹. Es decir, con la DOE estimada se necesitaron solamente 7,4 kg de N para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

Cuadro 2. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer.
Carillanca, 2016-2017

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹ sumin.	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	12.2		0.0
2	SI ₃₀ -4H ₄₀ -6H ₅₀ -8H ₀	120	26.9	22.4	4.5
3	SI ₃₀ -4H ₉₀ -6H ₁₂₀ -8H ₀	240	33.7	14.0	7.1
4	SI ₃₀ -4H ₉₀ -6H ₁₂₀ -8H ₁₂₀	360	32.3	9.0	11.1
	DOF	280.0	34.1	12.2	8.2
	DOE	250.5	33.9	13.5	7.4

*:Ajuste cuadrático. $Y = 12.185 + 0.15654X - 0.000559X^2$ ($R^2 = 0.9898$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$550 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Los rendimientos de proteína de grano de quínoa Regalona Baer durante la temporada 2016-2017 fueron elevados y fluctuaron entre 12,2 % (0 kg ha⁻¹ N) y 16,1 % (240 kg ha⁻¹ N). La dosis de 240 N fue más eficiente que las restantes. A su vez, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 (datos no mostrados), fueron superiores a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 15,3 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 37,2 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N). Los niveles de proteína de grano de los tratamientos fluctuaron entre 13,75 % (0 kg ha⁻¹ N) y 15,25 % (360 kg ha⁻¹ N), incrementándose en función del N aplicado.

Finalmente, durante el último ciclo productivo (2017-2018) y en condiciones de secano, los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer siguieron por debajo del potencial productivo. Los rendimientos de grano fluctuaron entre 22,8 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 34,6 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N).

De acuerdo al ajuste cuadrático (Cuadro 3), la DOF fue de 300,7 kg ha⁻¹ de N anual, alcanzando un rendimiento máximo de 34,7 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 235,6 kg ha⁻¹ de N anual, con un rendimiento óptimo de 34,2 qqm ha⁻¹. A partir de esta DOE estimada (Cuadro 3), se necesitaron solamente 6,9 kg de N para producir un qqm de quínoa.

Cuadro 3. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer. Carillanca, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	23.2		
2	SI ₃₀ -4H ₄₀ -8H ₅₀ -IP ₀	120	30.6	25.5	3.9
3	SI ₃₀ -4H ₉₀ -8H ₁₂₀ -IP ₀	240	34.2	14.3	7.0
4	SI ₃₀ -4H ₉₀ -8H ₁₂₀ -IP ₁₂₀	360	34.3	9.5	10.5
	DOF	300.7	34.7	11.5	8.7
	DOE	235.6	34.2	14.5	6.9

*:Ajuste cuadrático. $Y = 23.245 + 0.0762X - 0.000126X^2$ ($R^2 = 0.9713$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$550 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Por su parte, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 (datos no mostrados), fueron similares a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 15,3 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 30,7 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N).

4.6. Experimentos de Campo en Gestión de N en Tranapunte

El experimento se realizó durante el ciclo 2015-2016 bajo condiciones de secano, en el predio Tranapunte de INIA, comuna de Carahue. Se utilizó el cultivar Regalona Baer y el genotipo CQU 162. El déficit de precipitaciones afectó la fenología normal del cultivo. Los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer fueron elevados, acercándose al potencial productivo de la zona de Tranapunte. Los rendimientos de grano fluctuaron entre 43,8 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 51,1 qqm ha⁻¹ (240 kg ha⁻¹ N).



Foto 2. Comparación de dosis nitrogenada (0 vs. 80 kg ha⁻¹ de N) en quínoa Regalona Baer. Tranapunte, comuna de Carahue, diciembre de 2015. Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo).

Todos los tratamientos evaluados mostraron un buen nivel productivo de quínoa, lo cual se explica por el alto potencial productivo de la zona de Tranapunte. El pre cultivo de papa del sitio experimental fue fundamental, aportando una gran cantidad de residuos de cosecha.

A partir del ajuste cuadrático de los rendimientos de quínoa (Cuadro 4), se estimó una DOF de 205,4 kg ha⁻¹ de N anual, con un rendimiento máximo de 51 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 132,7 kg ha⁻¹ de N anual (Cuadro 4), alcanzando un rendimiento óptimo de 50,1 qqm ha⁻¹. La DOE estimada significa que se necesitaron solamente 2,6 kg de N para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión. Los contenidos de proteína de grano de quínoa Regalona Baer durante la temporada 2015-2016 fueron adecuados, a pesar de la disminución de las precipitaciones principalmente durante la primavera y fluctuaron entre 14,1% (80 kg ha⁻¹ N) y 14,5% (240 kg ha⁻¹ N).

Cuadro 4. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2015-2016

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	44.2		
2	SI ₃₀ -4H ₅₀ -6H ₀ -8H ₀	80	48.4	60.5	1.7
3	SI ₃₀ -4H ₆₅ -6H ₆₅ -8H ₀	160	50.6	31.6	3.2
4	SI ₄₀ -4H ₁₀₀ -6H ₁₀₀ -8H ₀	240	50.8	21.2	4.7
5	SI ₄₀ -4H ₁₂₀ -6H ₁₂₀ -8H ₄₀	320	48.9	15.3	6.5
6	SI ₆₀ -4H ₁₄₀ -6H ₁₄₀ -8H ₆₀	400	44.9	11.2	8.9
	DOF	205.4	51.0	24.8	4.0
	DOE	132.7	50.1	37.8	2.6

*:Ajuste cuadrático. $Y = 44.207 + 0,065776X - 0,0001601X^2$ ($R^2 = 0.9405$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$776 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Por otra parte, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2015-2016, fueron levemente más bajos que los de la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 38,7 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 47,9 qqm ha⁻¹ (120 kg ha⁻¹ N).

Durante el ciclo 2016-2017, realizado bajo condiciones de secano, en el predio de Tranapunte, los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer estuvieron claramente por debajo del potencial. Los rendimientos de grano fluctuaron entre 30,9 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 43,2 qqm ha⁻¹ (240 kg ha⁻¹ N). Es importante resaltar que el sitio experimental tenía como pre cultivo poroto para grano, lo que marca una diferencia fundamental con lo ocurrido en el ciclo previo (2015-2016).

La DOF calculada fue de 260,9 kg ha⁻¹ de N anual, con un rendimiento máximo de 43 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 214,7 kg ha⁻¹ de N anual (Cuadro 5), con un rendimiento óptimo de 42,6 qqm ha⁻¹. Según esta DOE estimada, se necesitaron solamente 5 kg de N para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

Cuadro 5. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer.
Tranapuente, 2016-2017

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹ sumin.	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	30.8		0.0
2	SI ₃₀ -4H ₄₀ -6H ₅₀ -8H ₀	120	39.4	32.8	3.0
3	SI ₃₀ -4H ₉₀ -6H ₁₂₀ -8H ₀	240	42.9	17.9	5.6
4	SI ₃₀ -4H ₉₀ -6H ₁₂₀ -8H ₁₂₀	360	41.2	11.4	8.7
	DOF	260.9	43.0	16.5	6.1
	DOE	214.7	42.6	19.8	5.0

*:Ajuste cuadrático. $Y = 30.795 + 0.09329X - 0.0001788X^2$ ($R^2 = 0.9974$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$550 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Los rendimientos de proteína de quínoa Regalona Baer durante el ciclo 2016-2017 fueron altos, a pesar de la disminución de las precipitaciones principalmente durante la primavera y fluctuaron entre 13,4 % (0 kg ha⁻¹ N) y 15,4 % (240 kg ha⁻¹ N).

Por su parte, los rendimientos de grano del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 (Datos no mostrados), fueron similares a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 31,2 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 40,8 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N). Al igual que la quínoa Regalona Baer, el sitio experimental tenía como pre cultivo poroto para grano, lo que marca una diferencia fundamental con lo ocurrido en el ciclo previo (2015-2016). Los niveles de proteína de grano de CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 superaron a la quínoa Regalona Baer, fluctuando entre 14,75 % (sin N) y 16,65 % (360 kg ha⁻¹ N).

Finalmente, durante el ciclo 2017-2018 realizado bajo condiciones de secano los rendimientos de grano estuvieron también por debajo del potencial, fluctuando entre 23,5 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 31,9 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N). Es preciso señalar que el sitio experimental tenía como pre cultivo pradera naturalizada, lo cual afectó fuertemente la producción de la quínoa.

El ajuste de los rendimientos de grano estimó una DOF de 333,8 kg ha⁻¹ de N anual, con un rendimiento máximo de 31,9 qqm ha⁻¹. De acuerdo al proceso de optimización la DOE estimada fue de 225,8 kg ha⁻¹ de N anual (Cuadro 6), alcanzando

un rendimiento óptimo de 31 qqm ha⁻¹. La DOE estimada permite concluir que se necesitaron solamente 7,3 kg de N para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

Cuadro 6. Índices de eficiencia de uso de N de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg grano kg N ⁻¹ sumin.	kg N qqm ⁻¹ grano
1	0	0	23.4		
2	SI ₃₀ -4H ₄₀ -8H ₅₀ -IP ₀	120	28.4	23.7	4.2
3	SI ₃₀ -4H ₉₀ -8H ₁₂₀ -IP ₀	240	31.3	13.0	7.7
4	SI ₃₀ -4H ₉₀ -8H ₁₂₀ -IP ₁₂₀	360	31.8	8.8	11.3
	DOF	333.8	31.9	9.6	10.5
	DOE	225.8	31.0	13.7	7.3

*:Ajuste cuadrático. $Y = 23.42 + 0.051X - 0.000076X^2$ ($R^2 = 0.9972$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$550 (kg N-urea) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Finalmente, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2017-2018 (datos no mostrados), fueron menores que la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 28,9 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 36,9 qqm ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ N).

4.7. Experimentos de Campo de Gestión de Parcialización Nitrogenada de Quínoa

El manejo eficiente del nitrógeno requiere parcializar el fertilizante durante el desarrollo de la quínoa para optimizar su producción de grano. Para ello es fundamental identificar las dosis de nitrógeno y su parcialización requerida en los diferentes estados fenológicos del cultivo. Con este objetivo se diseñó el siguiente experimento.

El estudio se realizó en el ciclo 2017-2018, en condiciones de secano, en un suelo andisol de la serie Vilcún ubicado en el predio de INIA Carillanca, comuna de Vilcún. Se utilizó solamente Regalona Baer, evaluándose tres alternativas de parcialización de la dosis anual de N (240 kg ha⁻¹). Los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer fueron normales, pero nuevamente estuvieron por debajo del potencial. Los rendimientos de la temporada fluctuaron entre 24,3 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 37,2 qqm ha⁻¹ (240 kg ha⁻¹ N).

De acuerdo a los resultados (Cuadro 7), las tres parcializaciones evaluadas de la dosis única de N (240 kg ha⁻¹) resultaron ser similares en producción de quínoa. Sin embargo, el tratamiento 4 (SI₃₀-4H₉₀-8H₁₂₀-IP₀) tuvo la ventaja de omitir la parcialización en el

estado de inicio de panoja. Es importante destacar este resultado puesto que avala la selección del tratamiento como la gestión más eficiente de parcialización, y que fue utilizada normalmente en los restantes ensayos de fertilización del cultivo de quínoa.

Cuadro 7. Efecto de la gestión de parcialización de dosis de N en el rendimiento de grano de quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹
3	SI ₃₀ -4H ₁₀₀ -8H ₀ -IP ₁₁₀	240	37.2 a
4	SI ₃₀ -4H ₉₀ -8H ₁₂₀ -IP ₀	240	36.4 a
2	SI ₃₀ -4H ₇₀ -8H ₇₀ -IP ₇₀	240	32.9 a
1	0	0	24.3 b

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) según Prueba de Tukey. SI: siembra; 4H: 4 hojas; 8H: 8 hojas; IP: Inicio Panoja

El siguiente experimento se realizó en el ciclo 2017-2018, en condiciones de secano en Tranapunte, comuna de Carahue. Se utilizó solamente Regalona Baer, evaluándose tres alternativas de parcialización de la dosis anual de N (180 kg ha⁻¹). Los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer nuevamente estuvieron por debajo del potencial. Otro factor de importancia fue el atraso en la fecha de establecimiento del ensayo (octubre de 2018). Los rendimientos de grano de la temporada fluctuaron entre 22,8 qqm ha⁻¹ (Testigo sin N) y 29,6 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ N). De acuerdo a los resultados (Cuadro 8), las tres parcializaciones evaluadas de la dosis única de N (180 kg ha⁻¹ N) resultaron ser similares en producción de quínoa. Sin embargo, el tratamiento 4 (SI₃₀-4H₇₅-8H₇₅-IP₀), tuvo la ventaja de omitir la parcialización en el estado de inicio de panoja. Es importante destacar este resultado, puesto que avala la selección del tratamiento como la gestión más eficiente de parcialización, y que fue utilizada normalmente en los restantes ensayos de fertilización del cultivo de quínoa.

Cuadro 8. Efecto de la gestión de parcialización de dosis de N en el rendimiento de grano de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹
3	SI ₃₀ -4H ₇₅ -8H ₀ -IP ₇₅	180	29.6 a
2	SI ₃₀ -4H ₅₀ -8H ₅₀ -IP ₅₀	180	29.1 a
4	SI ₃₀ -4H ₇₅ -8H ₇₅ -IP ₀	180	29.0 a
1	0	0	22.8 b

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) según Prueba de Tukey. SI: siembra; 4H: 4 hojas; 8H: 8 hojas; IP: Inicio Panoja

4.8. Conclusiones de la Gestión Nitrogenada en Quínoa

El análisis comparativo del comportamiento productivo permitió establecer diferencias importantes de las quínoas evaluadas en ambas localidades.

En INIA Carillanca y durante los tres ciclos de producción (Cuadro 9), la quínoa Regalona Baer y el genotipo CQU 162 tuvieron como pre cultivo una rotación intensiva de cereales. Este hecho explica que, tanto las DOE de N estimadas, las producciones de grano obtenidas y las EUN calculadas muestren una variación mínima, tanto en el tiempo como en el espacio.

En cambio, en Tranapunte durante los tres ciclos productivos (Cuadro 9), la quínoa Regalona Baer y el genotipo CQU 162 tuvieron distintos pre cultivos, que marcaron dramáticamente sus índices productivos. Así en el ciclo 2015-2016, el pre cultivo fue un rastrojo de papa, por lo cual la DOE de N fue muy baja, con una producción de grano muy elevada y alcanzando también una EUN muy buena.

Cuadro 9. Producción, DOE y EUN de quínoa Regalona Baer y genotipo CQU 162 en dos localidades de La Araucanía

Ciclo Productivo	Carillanca			Tranapunte		
	DOE N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg N qqm ⁻¹ grano	DOE N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg N qqm ⁻¹ grano
2015-2016	277.2	34.8	8.0	132.7	50.1	2.6
2016-2017	250.5	33.9	7.4	214.7	42.6	5.0
2017-2018	235.6	34.2	6.9	225.8	31.0	7.3
Ciclo Productivo CQU 162	DOE N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg N qqm ⁻¹ grano	DOE N kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUN kg N qqm ⁻¹ grano
2016-2017	288.1	36.6	7.9	240	39.2	6.1
2017-2018	263.2	30.5	8.6	216	36.1	6.0

En el siguiente ciclo productivo de Tranapunte (2016-2017), tuvo como pre cultivo un rastrojo de poroto para grano, lo cual determinó un incremento de la DOE de N estimada, y una significativa disminución del rendimiento de grano y de la EUN calculada.

Este fenómeno se profundizó durante el tercer ciclo productivo (2017-2018), donde el pre cultivo correspondió a una pradera naturalizada de tres años. En esta oportunidad, la DOE de N siguió incrementándose, mientras el rendimiento siguió disminuyendo y en forma paralela se incrementó la EUN.

Adicionalmente al efecto del pre cultivo sobre la quínoa también se constató una marcada diferencia productiva entre las dos zonas estudiadas en el proyecto. En la localidad de INIA Carillanca y durante los tres ciclos de producción (Cuadro 9), la quínoa Regalona Baer y el genotipo CQU 162 requirieron DOE de N más elevadas, alcanzando normalmente buenos rendimientos de grano, aunque menores que los obtenidos por este mismo cultivar en Tranapunte.

Un panorama similar se visualizó respecto a la EUN de quínoa. En este caso, normalmente la quínoa producida en Tranapunte (Cuadro 9), requirió menos kg N qqm^{-1} de grano producido que la misma quínoa producida en INIA Carillanca, considerando el mismo ciclo productivo. Los resultados productivos y de EUN del cultivo de quínoa alcanzados en estos ambientes de gran contraste (clima y suelo), ponen de relieve la importancia del pre cultivo para el comportamiento de la quínoa. Así, en la zona de Tranapunte, el pre cultivo utilizado condicionó la DOE de N y el rendimiento alcanzado por la quínoa Regalona Baer. La recomendación técnica en orden de prioridad es elegir como pre cultivo: 1° el rastrojo de papa; 2° el rastrojo de leguminosa y 3° el rastrojo de pradera naturalizada, aplicando las DOE de N detalladas en el cuadro 9.

En la zona de INIA Carillanca, donde se presentó una rotación intensiva de cereales que generó una menor calidad de los residuos aportados al cultivo de quínoa, se produjo una condición productiva más estable y equilibrada en el tiempo. Bajo estas condiciones, es posible definir una recomendación promedio de DOE de N, de los tres ciclos productivos, es decir, un rango de 240 a 250 kg ha^{-1} para obtener un rendimiento esperado en torno a 34 qqm ha^{-1} de quínoa Regalona Baer.



Foto 3. Vista panorámica del experimento de gestión nitrogenada con quínoa Regalona Baer. Tranapunte, comuna de Carahue, diciembre de 2015. Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo)

4.9. Gestión del Potasio en el Cultivo de Quínoa en La Araucanía

Para determinar la tecnología y uso del fertilizante potásico (K_2O) se diseñó un set de experimentos de campo en dos comunas de La Araucanía (Vilcún y Carahue). Los objetivos generales de cada una de las evaluaciones experimentales implementadas con el cultivar Regalona Baer y el genotipo CQU 162 en los ciclos productivos 2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018 fueron: evaluar el efecto del potasio (K_2O) sobre el rendimiento y calidad de grano de quínoa, estimar las dosis óptimas físicas y económicas de K_2O para la producción de quínoa en un suelo andisol sometido a una rotación de cultivos anuales y determinar el efecto de dosis de K_2O en la eficiencia de uso del nutriente por el cultivo.

4.10. Experimentos de Campo en Gestión de Potasio en INIA Carillanca

Los experimentos del primer ciclo productivo (2015-2016), se realizaron en el predio de INIA Carillanca, comuna de Vilcún, bajo condiciones de secano, utilizándose el cultivar de quínoa Regalona Baer y el genotipo CQU 162. Los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer (Cuadro 10), fueron adecuados. Los rendimientos de grano fluctuaron entre 26,3 qqm ha^{-1} (Testigo sin K_2O) y 31,4 qqm ha^{-1} (80 kg ha^{-1} K_2O). Todos los tratamientos evaluados mostraron un buen nivel productivo de quínoa, debido al elevado contenido de K de intercambio que presentaba el suelo trumao (0,6 $cmol+ kg^{-1}$).

Cuadro 10. Índices de eficiencia de uso de K_2O de quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, 2015-2016

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K_2O $kg ha^{-1}$	Rendimiento qqm ha^{-1} *	EUK $kg grano kg K_2O^{-1}$	$kg K_2O$ qqm $^{-1}$ grano
1	0	0	25.9		
2	SI ₂₀ -4H ₂₀ -6H ₀	40	28.6	71.5	1.4
3	SI ₄₀ -4H ₄₀ -6H ₀	80	30.1	37.6	2.7
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₀	120	30.6	25.5	3.9
5	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₄₀	160	29.9	18.7	5.4
6	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₈₀	200	28.2	14.1	7.1
	DOF	116.2	30.6	26.3	3.8
	DOE	90.7	30.4	33.5	3.0

*:Ajuste cuadrático. $Y = 25.946 + 0,080116X - 0,0003448X^2$ ($R^2 = 0.8106$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica. Relación de precios: \$585 (kg K_2O) / \$50.000 (qqm quínoa). SI: siembra; 4H: 4 hojas; 6H: 6 hojas; 8H: 8 hojas. Valores a junio de 2019

El ajuste de los rendimientos de grano de quínoa estableció una DOF de 116,2 kg ha⁻¹ de K₂O anual, con un rendimiento máximo de 30,6 qqm ha⁻¹. Por su parte, la DOE estimada fue de 90,7 kg ha⁻¹ de K₂O anual (Cuadro 10), alcanzando un rendimiento óptimo de 30,4 qqm ha⁻¹.

También se realizó un análisis de eficiencia de utilización del fertilizante potásico, donde la DOE estimada alcanzó una elevada EUK de 33,5 kg de grano por kg de K₂O suministrado (Cuadro 10). En otras palabras, se necesitaron solamente 3 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa.

En el caso del genotipo CQU 162, los rendimientos de grano durante el ciclo 2015-2016 (datos no mostrados), fueron similares a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 26,7 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 29,5 qqm ha⁻¹ (120 kg ha⁻¹ K₂O).

Durante el segundo ciclo productivo (2016-2017), bajo condiciones de secano, los rendimientos de grano fluctuaron entre 28,4 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 31,7 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ K₂O).

Todos los tratamientos evaluados mostraron un buen nivel productivo de quínoa, lo cual se explica por el contenido inicial de K de intercambio que presentaba el suelo trumao. De acuerdo a estos resultados, suelos trumaos con una disponibilidad inicial superior a 0,4 cmol+/kg de K intercambiable tendrían una respuesta significativa improbable a la fertilización potásica del cultivo de quínoa.

Según el ajuste de los rendimientos de grano, la DOF fue de 180,9 kg ha⁻¹ de K₂O anual, alcanzando un rendimiento máximo de 31,6 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 111,5 kg ha⁻¹ de K₂O anual (Cuadro 11), con un rendimiento óptimo de 31,1 qqm ha⁻¹. Esta DOE estimada alcanzó una elevada EUK, es decir se necesitaron solamente 3,6 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

Cuadro 11. Índices de eficiencia de uso de K₂O de quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, 2016-2017

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUK kg grano kg K ₂ O ⁻¹	kg K ₂ O qqm ⁻¹ grano
1	0	0	28.4	0.0	0.0
2	SI ₃₀ -4H ₃₀ -6H ₀	60	30.2	50.3	2.0
3	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₀	120	31.2	26.0	3.8
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₆₀	180	31.6	19.8	5.1
	DOF	180.9	31.6	17.5	5.7
	DOE	111.5	31.1	27.9	3.6

*:Ajuste cuadrático. $Y = 28.41 + 0.035166X - 0.0000972X^2$ ($R^2 = 0.9620$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$450 (kg K₂O) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019

Foto 4. Ensayos de Gestión del potasio con quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, comuna de Vilcún, diciembre de 2015. Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo)



La absorción acumulada de potasio en el grano de quínoa durante la temporada 2016-2017 alcanzó niveles adecuados a pesar de la disminución de las precipitaciones, principalmente durante la primavera.

En cuanto al genotipo CQU 162, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 (datos no mostrados), fueron menores a la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 20,1 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 28,4 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ K₂O).

Por último, en el ciclo productivo 2017-2018 también realizado en INIA Carillanca y bajo condiciones de secano, los rendimientos de quínoa Regalona Baer estuvieron por debajo del potencial. Los rendimientos de grano (Cuadro 12), fluctuaron entre 26,7 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 33,7 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ K₂O).

Cuadro 12. Índices de eficiencia de uso de K₂O de quínoa Regalona Baer. INIA Carillanca, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUK kg grano kg K ₂ O ⁻¹	kg K ₂ O qqm ⁻¹ grano
1	0	0	26.7		
2	SI ₃₀ -4H ₃₀ -8H ₀	60	29.4	49.0	2.0
3	SI ₄₀ -4H ₈₀ -8H ₀	120	31.8	26.5	3.8
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -8H ₆₀	180	33.7	18.7	5.3
	DOF	441.0	37.5	8.5	11.8
	DOE	180	33.7	18.7	5.3

*:Ajuste cuadrático. $Y = 26.74 + 0.049X - 0.0000555X^2$ ($R^2 = 0.9974$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$450 (kg K₂O) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Todos los tratamientos evaluados mostraron efecto sobre la producción de quínoa. De acuerdo a estos resultados, suelos trumaos con una disponibilidad inicial superior a 0,4 cmol+/kg de K intercambiable tendrían una respuesta significativa improbable a la fertilización potásica del cultivo.

El modelo cuadrático distorsionó la DOF estimada, excediendo los niveles de K₂O evaluados. Por lo anterior, se estimó más realista fijar como DOE el nivel de 180 kg ha⁻¹ de K₂O, que constituye la dosis máxima estudiada experimentalmente.

La DOE estimada (180 kg ha⁻¹ de K₂O anual) alcanzó una elevada EUK, lo cual significa que se necesitaron solamente 5,3 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa, indicando una alta eficiencia de conversión.

4.11. Experimentos de Campo en Gestión de Potasio en Tranapunte

En el ciclo 2015-2016 realizado en condiciones de secano en el predio Tranapunte de INIA, los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer fueron elevados y acorde al potencial productivo de la zona de Tranapunte. Los rendimientos de grano (Cuadro 13), fluctuaron entre 50,6 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 59,3 qqm ha⁻¹ (80 kg ha⁻¹ K₂O). No hubo efecto de la fertilización potásica sobre la expresión de rendimiento de grano del cultivo de quínoa, a pesar de la diferencia de casi 9 qqm ha⁻¹ entre las producciones mencionadas.

Cuadro 13. Índices de eficiencia de uso de K₂O de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2015-2016

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUK kg grano kg K ₂ O ⁻¹	kg K ₂ O qqm ⁻¹ grano
1	0	0	50.4		
2	SI ₂₀ -4H ₂₀ -6H ₀	40	57.0	142.5	0.7
3	SI ₄₀ -4H ₄₀ -6H ₀	80	58.8	73.5	1.4
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₀	120	57.6	48.0	2.1
5	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₄₀	160	55.4	34.6	2.9
6	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₈₀	200	54.1	27.1	3.7
	DOF	57.2	57.3	100.2	1.0
	DOE	53.0	57.3	108.1	0.9

*:Ajuste cuadrático. $Y = 50.472 + 0,240552X - 0,0021036X^2$ ($R^2 = 0.9888$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$585 (kg K₂O) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Todos los tratamientos evaluados alcanzaron un buen nivel productivo de quínoa, lo cual se explica por el elevado contenido de K de intercambio que presentaba el suelo. Según estos resultados, suelos trumaos con una disponibilidad inicial superior a 0,7 cmol+/kg

de K intercambiable tendrían una respuesta significativa improbable a la fertilización potásica del cultivo.

Según el ajuste de los rendimientos de grano, la DOF fue de 57,2 kg ha⁻¹ de K₂O anual, alcanzando un rendimiento máximo de 57,3 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 53, kg ha⁻¹ de K₂O anual (Cuadro 13), alcanzando un rendimiento óptimo de 57,3 qqm ha⁻¹. La DOE estimada alcanzó una elevada EUK, es decir se necesitaron solamente 0,9 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una altísima eficiencia de conversión.

La absorción acumulada de potasio en el grano de quínoa durante la temporada 2015-2016 presentó niveles adecuados a pesar de la disminución de las precipitaciones, principalmente durante la primavera. A su vez, los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2015-2016 (datos no mostrados), fueron menores que la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 35,4 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 43,8 qqm ha⁻¹ (120 kg ha⁻¹ K₂O).

Durante el segundo ciclo productivo (2016-2017) realizado en Tranapunte bajo condiciones de secano, los rendimientos de grano del cultivar Regalona Baer fueron adecuados (Cuadro 14) y fluctuaron entre 24,7 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 31,8 qqm ha⁻¹ (180 kg ha⁻¹ K₂O).

Cuadro 14. Índices de eficiencia de uso de K₂O de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2016-2017

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUK Kg grano kg K ₂ O ⁻¹	Kg K ₂ O qqm ⁻¹ grano
1	0	0	24.6	0.0	0.0
2	SI ₃₀ -4H ₃₀ -6H ₀	60	27.5	45.8	2.2
3	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₀	120	30.0	25.0	4.0
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -6H ₆₀	180	31.9	17.7	5.6
	DOF	385.4	34.9	9.0	11.1
	DOE	180	31.9	17.7	5.6

*:Ajuste cuadrático. $Y = 24.56 + 0.0535X - 0.0000694X^2$ ($R^2 = 0.9872$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica. Relación de precios: \$450 (kg K₂O) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Todos los tratamientos evaluados mostraron un buen nivel productivo. De acuerdo a estos resultados, suelos trumaos con una disponibilidad inicial superior a 0,45 cmol+ kg⁻¹ de K intercambiable tendrían una respuesta significativa improbable a la fertilización potásica del cultivo de quínoa.

Como el modelo cuadrático distorsionó la DOF calculada, se estimó mejor establecer como DOE el nivel de 180 kg ha⁻¹ de K₂O (Cuadro 14), que representa la dosis máxima evaluada en este experimento. Esta DOE generó un rendimiento de 31,9 qqm ha⁻¹.

En base a los resultados obtenidos, se realizó un análisis de eficiencia de utilización del fertilizante potásico. La DOE estimada (180 kg ha⁻¹ de K₂O anual) alcanzó una elevada EUK, es decir se necesitaron solamente 5,6 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa, lo cual indica una alta eficiencia de conversión.

La absorción acumulada de potasio en el grano durante la temporada 2016-2017 presentó niveles adecuados, a pesar de la disminución de las precipitaciones, principalmente durante la primavera.

Los rendimientos de grano de quínoa del genotipo CQU 162 durante el ciclo 2016-2017 (datos no mostrados), fueron mayores que la quínoa Regalona Baer y fluctuaron entre 24,4 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 35,2 qqm ha⁻¹ (120 kg ha⁻¹ K₂O). Finalmente, en el último ciclo productivo (2017-2018), en condiciones de secano, los rendimientos de grano de quínoa Regalona Baer (Cuadro 15), estuvieron muy por debajo del potencial. Los rendimientos fluctuaron entre 22,9 qqm ha⁻¹ (Testigo sin K₂O) y 28,6 qqm ha⁻¹ (120 kg ha⁻¹ K₂O). Es preciso destacar que todos los tratamientos evaluados mostraron un bajo nivel productivo de quínoa. Suelos trumaos con una disponibilidad inicial superior a 0,7 cmol+/kg de K intercambiable tendrían una respuesta significativa improbable a la fertilización potásica del cultivo de quínoa.

El ajuste de los rendimientos de grano estimó una DOF de 135,1 kg ha⁻¹ de K₂O anual, alcanzando un rendimiento máximo de 28,7 qqm ha⁻¹. La DOE estimada fue de 113,5 kg ha⁻¹ de K₂O anual (Cuadro 15), con un rendimiento óptimo de 28,5 qqm ha⁻¹. La DOE estimada significó una elevada EUK, es decir se requirieron solamente 4 kg de K₂O para producir un qqm de quínoa.

Cuadro 15. Índices de eficiencia de uso de K₂O de quínoa Regalona Baer. Tranapunte, 2017-2018

Tratamiento	Desarrollo y parcialización	Dosis K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹ *	EUK kg grano kg K ₂ O ⁻¹	kg K ₂ O qqm ⁻¹ grano
1	0	0	22.9		
2	SI ₃₀ -4H ₃₀ -8H ₀	60	26.9	44.8	2.2
3	SI ₄₀ -4H ₈₀ -8H ₀	120	28.6	23.8	4.2
4	SI ₄₀ -4H ₈₀ -8H ₆₀	180	28.0	15.6	6.4
	DOF	135.1	28.7	21.2	4.7
	DOE	113.5	28.5	25.1	4.0

*:Ajuste cuadrático. $Y = 22.96 + 0.0844X - 0.000312X^2$ ($R^2 = 0.9815$)

DOF: dosis óptima física DOE: dosis óptima económica.

Relación de precios: \$450 (kg K₂O) / \$50.000 (qqm quínoa). Valores a junio de 2019.

Foto 5. Ensayos comparativos de dosis de potasio (0 kg/ha vs. 40 kg/ha de K_2O) en quínoa Regalona Baer. Tranapunte, Comuna de Carahue, diciembre de 2015.

Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo)



4.12. Conclusiones de la Gestión Potásica en Quínoa

La respuesta productiva requerida por el cultivo de quínoa dependió principalmente del nivel inicial de K de intercambio que poseía el suelo y en segundo término del pre cultivo. En Carillanca el suelo andisol presentó niveles iniciales decrecientes de K de intercambio a lo largo de los ciclos productivos, siendo alto en el ciclo 2015-2016 ($0,7 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$), medio en el ciclo 2016-2017 y medio a bajo en el ciclo 2017-2018. Esto determinó que las DOE de K_2O estimadas fueran crecientes en el tiempo (Cuadro 16), mientras que el rendimiento se mantuvo relativamente estable en torno a 32 qqm ha^{-1} .

Cuadro 16. Producción, DOE y EUK de quínoa Regalona Baer y genotipo CQU 162 en dos localidades de La Araucanía

	Carillanca			Tranapunte		
Ciclo Productivo Regalona	DOE K_2O kg ha^{-1}	Rendimiento $\text{qqm ha}^{-1} *$	EUK $\text{kg K}_2\text{O qqm}^{-1}$ grano	DOE K_2O kg ha^{-1}	Rendimiento $\text{qqm ha}^{-1} *$	EUK $\text{kg K}_2\text{O qqm}^{-1}$ grano
2015-2016	90.7	30.4	3.0	53.0	57.3	0.9
2016-2017	111.5	31.1	3.6	180	31.9	5.6
2017-2018	180	33.7	5.3	113.5	28.5	4.0
Ciclo Productivo CQU 162	DOE K_2O kg ha^{-1}	Rendimiento $\text{qqm ha}^{-1} *$	EUK $\text{kg K}_2\text{O qqm}^{-1}$ grano	DOE K_2O kg ha^{-1}	Rendimiento $\text{qqm ha}^{-1} *$	EUK $\text{kg K}_2\text{O qqm}^{-1}$ grano
2016-2017	166.9	28.5	5.9	188.5	35.3	5.3



Foto 6. Vista panorámica del experimento de gestión del potasio en quínoa Regalona Baer. Tranapunte, comuna de Carahue, diciembre de 2015.
Fuente: Ricardo Campillo R. (Asesor externo)

Paralelamente, la quínoa Regalona Baer y el genotipo CQU 162 tuvieron como pre cultivo una rotación intensiva de cereales. Este hecho contribuyó a que las producciones de grano mostraran una gran estabilidad en el tiempo. En cambio, con niveles iniciales de K disponible menores a $0,4 \text{ cmol+ kg}^{-1}$, es posible recomendar DOE de K_2O en un rango de 130 a 140 kg ha^{-1} .

Por otro lado, en Tranapunte el suelo andisol presentó niveles altos de K de intercambio en los ciclos 2015-2016 y 2017-2018 ($0,7 \text{ cmol+ kg}^{-1}$), y niveles medio a bajo en el ciclo 2016-2017. Este hecho significó que las DOE de K_2O (Cuadro 16), fueran bajas en el primero y último ciclo productivo, mientras que en el ciclo 2016-2017 la DOE de K_2O estimada fue superior.

En relación a los niveles productivos de quínoa en Tranapunte y a lo largo de tres ciclos productivos (Cuadro 16), tanto la quínoa Regalona Baer como el genotipo CQU 162 tuvieron distintos pre cultivos que, en conjunto con los niveles iniciales de K disponible, condicionaron fuertemente sus índices productivos. Así, en el ciclo 2015-2016, el pre cultivo fue un rastrojo de papa, que demandó una DOE de K_2O muy baja y con una producción altísima de grano que superó los 57 qqm ha^{-1} .

En el siguiente ciclo productivo (2016-2017), tuvo como pre cultivo un rastrojo de poroto para grano, lo cual contribuyó a incrementar la DOE de K_2O estimada, y una significativa disminución del rendimiento de grano.

Este fenómeno se profundizó durante el tercer ciclo productivo (2017-2018), donde el pre cultivo correspondió a una pradera naturalizada de tres años. En esta oportunidad, la DOE de K_2O se mantuvo alta, mientras el rendimiento siguió disminuyendo.

En relación a la EUK de quínoa, el cultivar Regalona Baer producido en Tranapunte (Cuadro 16), requirió menos $\text{kg de K}_2\text{O qqm}^{-1}$ de grano producido que el mismo

cultivar producido en INIA Carillanca, a excepción del ciclo productivo 2016-2017. Una situación parecida se constató con el genotipo CQU 162. Este fenómeno se explica fundamentalmente por la disponibilidad inicial de K, el pre cultivo utilizado y el potencial productivo existente en la zona de Tranapunte. Cuando el pre cultivo fue rastrojo de papa los rendimientos alcanzados por el cultivo de quínoa se elevaron considerablemente, en contraste con el pre cultivo de rastrojo de poroto para grano y de pradera naturalizada. Esta gran diversidad de situaciones que se manifestaron en Tranapunte, impide generalizar recomendaciones técnicas de DOE estimadas de K_2O . En este caso se recomienda utilizar la información explicitada en el cuadro 16.

En los ambientes productivos de INIA Carillanca y Tranapunte, las DOE estimadas de K_2O ($kg\ ha^{-1}$), dependieron del contenido inicial de K disponible en el suelo del pre cultivo existente. En general, suelos con valores superiores a $0,4\ cmol+ kg^{-1}$ (160 ppm de K disponible) tendrán una respuesta significativa baja a la fertilización potásica del cultivo de quínoa, cuya dimensión productiva dependerá también del pre cultivo.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, M. y S. von Rütte. 1990. Fertilización. En: Ch. Wahli (ed.) Quínoa hacia un cultivo comercial. Latireco S.A. Quito, Ecuador, p: 107- 116.
- Ávila, P. y J. Etchevers. 1988. Efecto de la profundidad de siembra y la fertilización N P K sobre la emergencia y producción de materia seca y composición química de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Agrociencia* 4(1):5-10.
- Baer, I. 1995. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y otras características agronómicas en Quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la zona sur de Chile. Tesis Ingeniero Agrónomo, Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile. 95p.
- Berti, M., R. Wilckens, F. Hevias, H. Serri, I. Vidal y C. Méndez. 2000. Fertilización nitrogenada en quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ciencia e Investigación Agraria*, 27:81-90.
- Campillo, R. 2013. Fertilización del Cultivo de Trigo en el Borde Costero de La Araucanía, con énfasis en la Fertilización Nitrogenada. pp.:25-41. En Campillo, R. (ed). Producción de Trigo Harinero para el Borde Costero de La Araucanía. Boletín INIA N° 281, Diciembre 2013.
- Choquehuanca, A. 1988. Absorción de nutrientes por el cultivo de quínoa. VI Congreso Internacional sobre cultivos andinos. Quito, Ecuador, p: 37-41.
- Galwey, N. W. 1993. The potential of quinoa as a multipurpose crop for agricultural diversification; a review. *Industrial Crops and Products* 1:101-106.
- Jacobsen, S. E., I. Jorgensen and O. Stolen. 1994. Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under temperate climatic conditions in Denmark. *J. Agric. Sci.* 122:47-52.
- Koziol, M. 1993. Quinoa: A potential New Oil Crop. En: J. Janick and J. E. Simon (eds). *New Crops*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA. pp: 328-336.
- Matus I., K. Ruf, y M. Pinto. 2015. Avances en el manejo agronómico del cultivo de quínoa en Chile. *Revista Tierra Adentro*, INIA, Chile, 108:48-51.
- Ranhotra, G. S., J. A. Gelroth, B. K. Glaser, K. J. Lorenz and D. J. Johnson. 1993. Composition and protein nutritional quality of quinoa. *Cereal Chem.* 70(3): 303-305.
- Rebolledo, H. 1999. Estimación de modelos de regresión a experimentos de fertilización y obtención de dosis óptimas económicas de insumos agrícolas. 55 p. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Chapingo, México.
- Rodríguez, J. 1993. Manual de fertilización. 362 p. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Sadzawka, A., M.A. Carrasco, R. Grez, M.L. Mora, H. Flores, y A. Reaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Serie Actas INIA N°34. 164 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile.
- Tapia, E.M. 1990. Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 205p.
- Volke, H.V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. 61 p. Colegio de Postgraduados, México D.F., México.
- Wahli, C. 1990. Quínoa: hacia su cultivo comercial. Latireco S.A. Quito, Ecuador.