

# Capítulo 32. Sistema de producción Clearfield® en arroz

Mario Paredes C., Viviana Becerra V., Gabriel Donoso Ñ., Juan Hirzel C., Jorge Nitsche M.,  
Fernando Jofré S-G., Ángela Aedo A., Nicolás Silva L.

Uno de los principales factores limitantes de la producción arrocerá en Chile, es un efectivo control de malezas. Las malezas pueden producir una fuerte disminución de la producción y calidad del producto cosechado, desde un 40 % a un 60 %, dependiendo de la intensidad y período de competencia con las malezas. Existen, principalmente, tres grupos de malezas que afectan el rendimiento del arroz en Chile (Alvarado, 2007; Pedreros et al., 1992). En primer lugar, la *Echinochloa* spp., más conocida como hualcacho, que puede llegar a reducir los rendimientos entre un 25 y un 49 %. Le siguen otras pertenecientes a la familia de las Ciperáceas (*Cyperus difformis*, cortadera y *Scripus mucronatus*, pasto cabezón), las cuales reducen el rendimiento entre un 16 % y un 48 %, y finalmente otras de la familia de las Alismatáceas (hualtatas y lengua de vaca) que disminuyen el rendimiento entre un 11 % y hasta un 68 %. A estas malezas se debe agregar el arroz rojo (*Oryza sativa*) que existe en sus dos tipos: arroz rojo *japonica* e *indica* (Alvarado y Pedreros, 1991). La presencia de esta maleza está asociada a la introducción del arroz al país y se encuentra diseminada en toda la zona arrocerá en diferentes porcentajes (Alvarado y Pedreros, 1991). La norma en Chile permite el uso de semillas comerciales con una semilla de arroz rojo en cada 500 g de semilla.

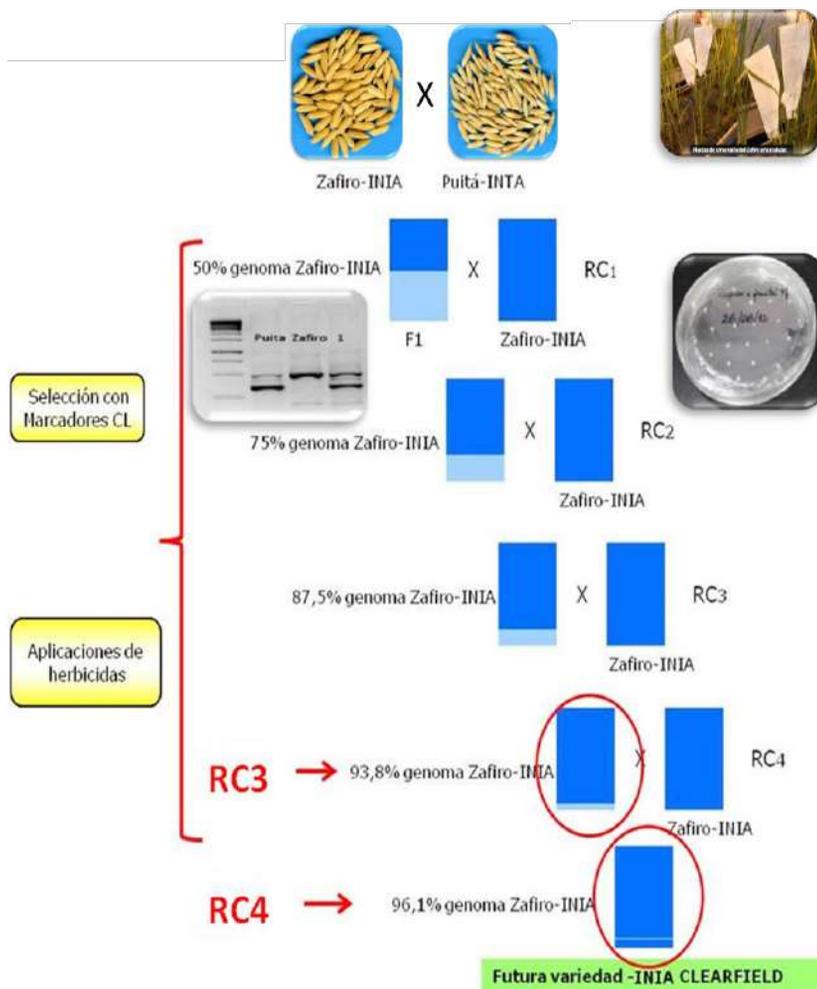
Basado en lo anterior, se presentó la necesidad de implementar en Chile el Sistema de Producción Clearfield® (CI) que conceptualmente es un sistema de producción agrícola de BASF que incluye tres componentes esenciales: A) variedad Clearfield® con el gen de resistencia a los herbicidas de la familia de las imidazolinonas (IMI); B) un herbicida específico Clearfield®: Eurolightning® y; C) Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en arroz Clearfield®.

## A) Variedad de arroz Clearfield® con el gen de resistencia a los herbicidas de la familia de las imidazolinonas (IMI)

### Generación de la variedad de arroz Clearfield

Los progenitores seleccionados para la obtención de las líneas experimentales Clearfield (CI) fueron 'Zafiro-INIA', como padre recurrente, y 'Puitá-INTA' como padre donante del gen de la resistencia al herbicida de la familia de las imidazolinonas (IMI). Los genes de resistencia presentes en la variedad 'Puitá-INTA' fueron donados a INIA por Basf S.A., para el desarrollo de esta variedad.

La transferencia del gen se realizó a través de cuatro retrocruzas (Figura 1). Se utilizó, además, el cultivo de embriones para acelerar el avance de las generaciones y acortar el tiempo de desarrollo de las líneas experimentales CI. Estas líneas experimentales Clearfield se seleccionaron, en cada etapa, mediante la aplicación del herbicida Eurolightning (BASF) y la verificación de la presencia del gen en las plantas que sobrevivieron mediante el uso de marcadores moleculares asociados al gen de resistencia IMI (Figura 1).

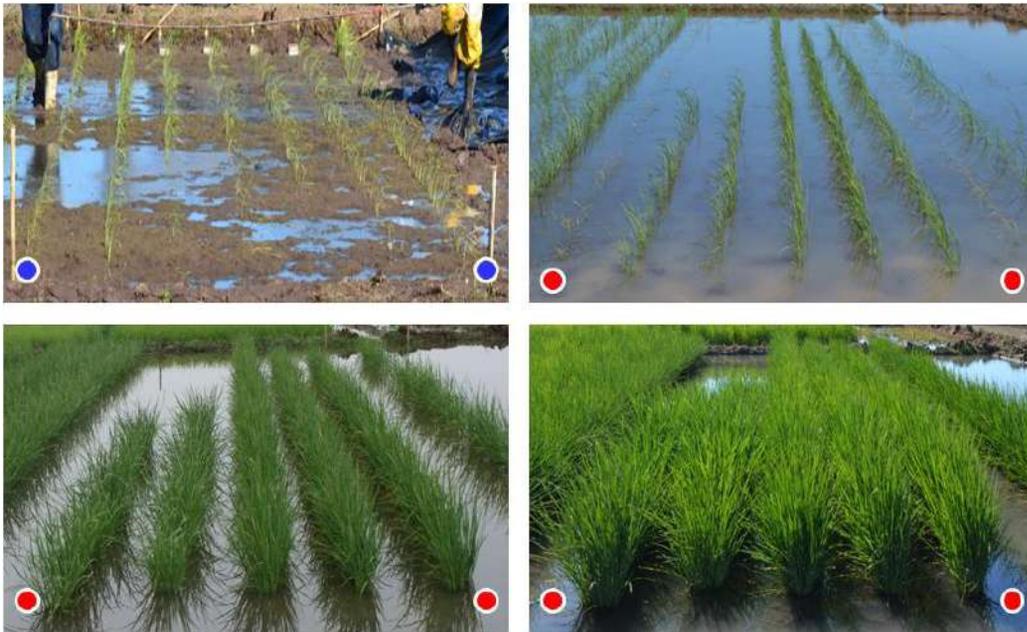


**Figura 1.** Estrategia de desarrollo de las líneas experimentales Clearfield en arroz.

### Evaluación y selección en condiciones de campo de líneas Clearfield

A partir de la temporada 2014-2015, para verificar la resistencia de las líneas experimentales RC3 CI y RC4 CI al herbicida a nivel de campo, se les aplicó el herbicida Eurolightning en dosis de 3 L ha<sup>-1</sup>, al estado de 2 a 4 hojas y sin lámina de agua. La lámina de agua se restableció a las 48 h posteriores a la aplicación.

La evaluación de la resistencia del herbicida en las líneas CI se realizó a los 7, 14 y 21 d después de la aplicación del herbicida Eurolightning (IMI). Las líneas CI no mostraron fitotoxicidad, en cambio, las plantas de 'Zafiro-INIA' presentaron los primeros síntomas de clorosis y necrosis a los siete d, lo que continuó con la necrosis y muerte total de las plantas entre los 14 y 21 d (Foto 1). Estos resultados indicaron claramente que las líneas experimentales CI poseían el gen de resistencia.



**Foto 1.** Evaluación de líneas experimentales Clearfield en San Carlos. Puntos azules indican la hilera inicial con plántulas de 'Zafiro-INIA' durante la aplicación de Eurolightning. Los puntos rojos indican las hileras sin 'Zafiro-INIA', debido a que al no tener el gen de resistencia del herbicida IMI, desaparecieron completamente a los 21 d.

## Evaluación agronómica y de calidad de grano de 'Digua CI'

Desde el 2015 al 2018 se evaluaron 24 líneas experimentales de arroz RC4 CI y RC3 CI a nivel de campo en las localidades de San Carlos, Parral y Linares, considerando 'Zafiro-INIA' como testigo. Esta información permitió seleccionar la línea experimental que fue registrada en el Servicio Agrícola Ganadero, SAG, con el nombre comercial de 'Digua CI'. Los resultados agronómicos más importantes que definieron a 'Digua CI' como variedad fueron:

### 1. Tipo de grano

La primera característica agronómica comercial que debe poseer una variedad de arroz en Chile es tener un grano largo-ancho. Actualmente, más del 95 % del arroz sembrado en el país posee este tipo de grano. Los tipos de grano de arroz que se comercializan en el país están descritos en la Norma Chilena de Comercialización del Arroz, publicada por el Instituto Nacional de Normalización (INN) NCh 1375.Of88, NCh 1359.Of2003, NCh 2033.Of2003; INN, 1999; 2003a; 2003b).

La Norma Chilena de Comercialización del Arroz dice que el tipo de arroz largo ancho debe tener una relación largo/ancho menor a 3. La variedad 'Digua CI' presentó un grano con una relación largo/ancho de 2,8 a 2,9, similar a la variedad comercial 'Zafiro-INIA', en las tres temporadas evaluadas en las localidades de Linares, Parral y San Carlos.

### 2. Rendimiento en grano ( $t\ ha^{-1}$ )

Durante las tres temporadas en las localidades evaluadas, no hubo diferencias significativas en el rendimiento en grano paddy entre 'Digua CI' ( $9,5-11,3\ t\ ha^{-1}$ ) y el testigo 'Zafiro-INIA' ( $9,8-11,7\ t\ ha^{-1}$ ) (Foto 2). Esta situación era de esperar, al ser 'Digua CI' una variedad derivada de 'Zafiro-INIA'.



**Foto 2.** Ensayos regionales de líneas experimentales Clearfield en San Carlos, Parral y Linares. Temporada 2017-2018.

### Rendimiento industrial: grano entero (%)

La calidad industrial, expresada como grano entero, es otra característica muy importante en la producción y comercialización del arroz, ya que incide en el precio del producto pagado tanto por la industria como por los consumidores. En las tres temporadas y comunas evaluadas, 'Digua CI' presentó un porcentaje de grano entero que osciló entre 64 % y 68 %, similar al de 'Zafiro-INIA' (63 % a 68 %).

### 3. Otras características agronómicas y de calidad de grano

'Digua CI' posee un grano de color marrón claro, fusiforme y translúcido después de su elaboración. La altura de planta está entre los 85 y 106 cm. Tiene un período de siembra a cosecha de 160 d, lo que la clasifica como tardía. Su panícula es de tipo intermedia, no compacta ni abierta, con un 100 % de excursión del tallo. Las panículas presentan un bajo porcentaje de esterilidad (apical y basal) y un bajo porcentaje de desgrane.

El grano pulido de 'Digua CI' posee un grado de panza blanca de 0,1 a 0,4; porcentaje panza blanca 8 a 18; blancura 38 a 40; transparencia entre 3,5 y 3,9; contenido de amilosa intermedio de 25 % a 26 %; y una baja temperatura de gelatinización entre 63 y 68 °C, valores similares a la variedad 'Zafiro-INIA'.

### 4. Enfermedades

No se observaron presencia de enfermedades ni plagas.

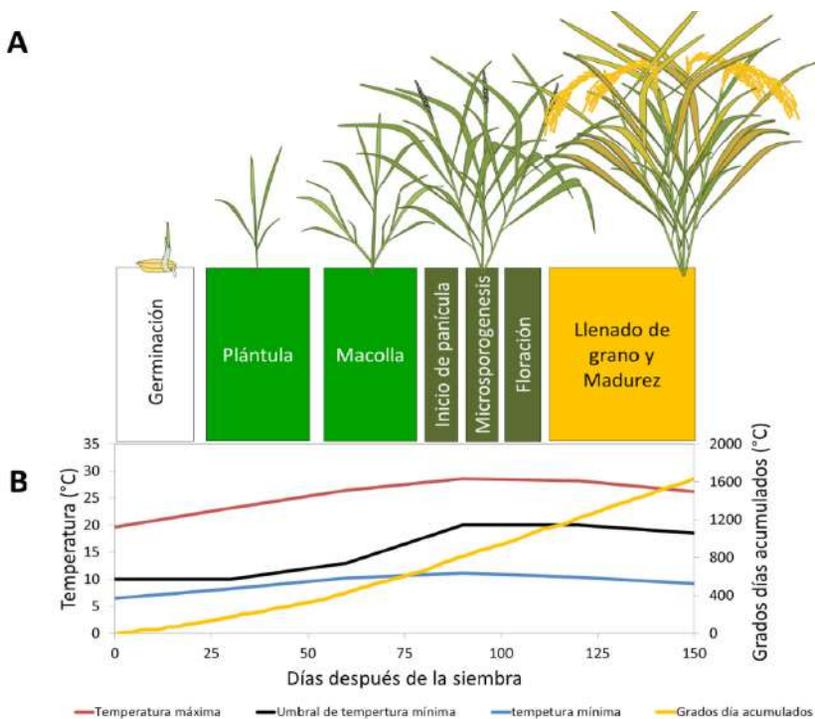
### 5. Tolerancia al frío de la variedad 'Digua CI'

El arroz es un cultivo de origen tropical que requiere temperaturas superiores a otros cultivos para su correcto desarrollo (Hatfield y Prueger, 2015). Cuando las temperaturas están bajo el óptimo necesario para el desarrollo de esta planta, el cultivo puede presentar considerables disminuciones en los rendimientos en grano.

A nivel mundial, se ha reportado reducción en los rendimientos debido a bajas temperaturas de hasta 26 % en Corea (Lee, 2001), 44 a 80 % en Japón (Shimono et al., 2007) y 60 % en Brasil. Este fenómeno puede generar pérdidas económicas de hasta 23 millones de dólares en países como Australia (Farrell et al., 2001).

Chile es el país más austral del mundo donde se cultiva arroz (Donoso et al., 2016), con gran cantidad de eventos climáticos asociados a temperaturas que están bajo el umbral necesario para el desarrollo de una planta de arroz. Internacionalmente, Chile ha sido clasificado dentro de los países en donde se cultiva el arroz con temperaturas que están bajo el óptimo para la especie (IRRI, 1983).

En la Figura 2, se muestran los promedios de temperaturas mínimas de 40 años, en el sector más austral de la zona arrocerca de Chile. Las temperaturas mínimas promedio están bajo las temperaturas críticas definidas para este cultivo, principalmente desde el inicio de macolla en adelante. Los principales efectos de las bajas temperaturas en el cultivo del arroz son: disminución del crecimiento del coleóptilo durante la germinación (Da Cruz et al., 2006; Donoso et al., 2013), crecimiento desuniforme de las plantas y clorosis foliar en la etapa de plántula (Da Cruz et al., 2006; Donoso et al., 2015), y esterilidad floral durante la etapa reproductiva (Da Cruz et al., 2013; Shimono et al., 2007), lo que incrementa el fenómeno de vanazón en el cultivo. La etapa reproductiva es la más sensible a las bajas temperaturas, donde temperaturas promedio bajo 18 °C pueden causar esterilidad floral sobre un 70 %, lo cual produce serias pérdidas económicas (Alvarado, 2007).



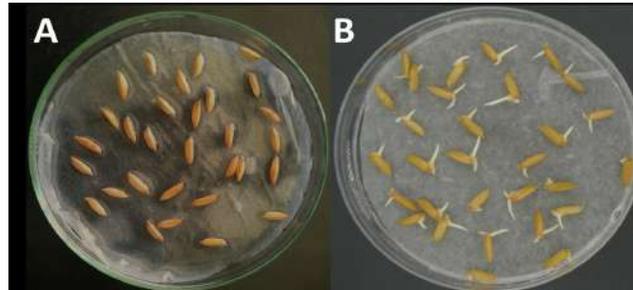
Fuente: datos obtenidos de estación meteorológica de la Universidad de Concepción, sede Chillán.

**Figura 2.** Fenología del arroz y temperaturas presentes en el sector arrocerca de Chile. (A) diferentes etapas fenológicas del cultivo del arroz en Chile. (B) temperaturas mínimas y máximas registradas durante 40 años, temperatura mínima óptima descrita en la literatura para el cultivo de la especie y tiempo térmico expresado en acumulación de grados día (base 10 °C).

Debido a que las nuevas variedades de arroz que se generan en nuestro país, deben contar con niveles de tolerancia a bajas temperaturas al estado de germinación, plántula y estado reproductivo, la nueva variedad de arroz 'Digua CI' fue evaluada en las tres etapas críticas, en condiciones de laboratorio.

## Etapa de germinación

Para evaluar la capacidad de germinación ante un evento de baja temperatura, las semillas de 'Digua Cl', 'Zafiro-INIA' (testigo tolerante a frío) y 'Oryzica 1' (testigo susceptible al frío) fueron sometidas a 12 °C constantes, durante 20 d en una incubadora. Para los resultados, se consideró como tolerantes al frío los genotipos con una germinación superior a 60 %. Las variedades 'Digua Cl' y 'Zafiro-INIA', entre otras, pueden ser consideradas como tolerantes al frío, basadas en la elongación del coleóptilo. La Foto 3A muestra que la variedad testigo susceptible 'Oryzica 1' no logró germinar en el tiempo establecido, mientras 'Digua Cl' (Foto 3B) germinó en más de un 90 %.

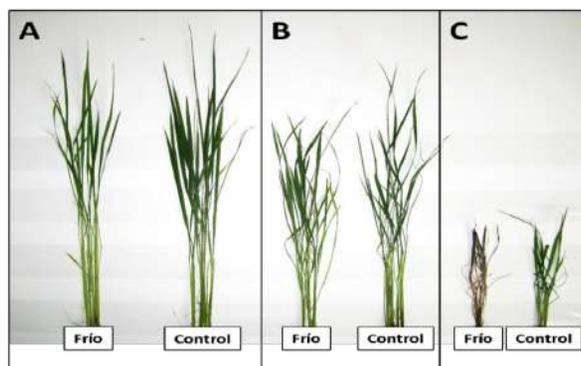


**Foto 3.** Germinación en condiciones de bajas temperaturas de la variedad de arroz 'Digua Cl', de la variedad sensible a frío 'Oryzica 1' (A) y de la nueva variedad 'Digua Cl' (B).

## Etapa de plántula

Para la evaluación de la tolerancia al frío en la etapa de plántula de la variedad 'Digua Cl', se utilizaron plantas de tres a cuatro hojas que se sometieron a 5 °C durante la noche (12 h), en una cámara bioclimática, por cuatro d seguidos. Durante el día las plantas fueron iluminadas con luces LED (Valoya B200), con 300  $\mu\text{moles}$  de fotones  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y a 25 °C. Luego del tratamiento de frío, fueron trasladadas, para su recuperación, a temperaturas de 21 °C en la noche, 25 °C durante el día y por 7 d. Posteriormente, se evaluaron los niveles de clorofila mediante clorofilómetro (AtLEAF), el cual se relaciona con el color verde de la hoja. La variedad 'Susan' fue usada como testigo tolerante y 'Oryzica 1' fue usado como testigo susceptible.

'Oryzica 1' no sobrevivió al tratamiento y presentó una importante disminución del contenido de clorofila al momento de la evaluación (Foto 4C). En cambio, la variedad 'Digua Cl' no mostró una disminución importante en sus niveles de clorofila, al ser comparada con el control sin frío (Foto 4A) y con la variedad tolerante 'Susan' (Foto 4B).



**Foto 4.** Efecto del tratamiento de frío en la etapa de plántula sobre 'Digua CL' (A), 'Zafiro-INIA' (B, testigo tolerante a frío) y 'Oryzica 1' (C, testigo susceptible al frío). Las plantas tratadas con bajas temperaturas se muestran a la izquierda dentro de cada variedad.

## Etapa reproductiva

La evaluación de la tolerancia a frío en la etapa reproductiva de la variedad 'Digua CI', se realizó utilizando 'Zafiro-INIA' (testigo comercial), PT 11 (testigo susceptible) y PT 12 (testigo tolerante), en una casa de malla con un 36 % de reducción de luz. Las plantas fueron crecidas en estas condiciones hasta el estado reproductivo (microsporangénesis). El tratamiento de frío consistió en someter las plantas de arroz en la etapa de microspora temprana, a temperaturas de 25 °C durante el día y 5 °C durante la noche, por 5 d seguidos, con un fotoperiodo de 16 h (luz LED, Valoya AP67), en una Cámara Bioclimática, con monitorización y control automatizado de la temperatura y el fotoperiodo.

La evaluación consistió en la medición de la esterilidad floral. La nueva variedad de arroz 'Digua CI', al igual que 'Zafiro-INIA', logró producir grano en estas condiciones. Sin embargo, mostró niveles de tolerancia al frío, inferiores al testigo tolerante (PT 12). Se observó que el efecto de las bajas temperaturas se relaciona con un retraso en la fenología de la planta, que se mantuvo verde en comparación con la planta control que presentó coloración más amarillenta, debido al proceso de madurez más avanzado (Foto 5). Además, se observó que las panículas de la planta control tuvieron tendencia a caer por el peso de los granos, a diferencia de las panículas de la planta tratada con frío que se mantuvieron erectas, debido a la menor presencia de granos y su menor peso.



**Foto 5.** Efecto del tratamiento de bajas temperaturas en la nueva Variedad 'Digua CI'. (A) planta completa y (B) vista en detalle de las panículas.



**Foto 6.** Esterilidad apical, fenómeno fue observado con mayor intensidad en una línea experimental ZCI-RC4-1. Primer reporte de esterilidad apical en Chile.

Es importante destacar que, por primera vez en Chile, se observó después del tratamiento la 'esterilidad apical', fenómeno que ocurre debido al aborto pre floral (Foto 6). Esto fue observado tanto en 'Zafiro-INIA' como en la variedad 'Digua CI', con un 20 % de flores afectadas por panícula, aproximadamente, en algunas temporadas. Durante los ensayos de tolerancia al frío en la etapa reproductiva, bajo condiciones controladas, se pudo observar niveles de esterilidad floral superiores a 80 %, así como un 20 % de panículas con esterilidad apical por planta, presentándose, al menos, 6 % de espiguillas estériles con morfología anormal. Por otro lado, en las evaluaciones de diferentes fechas de siembra en condiciones de campo, entre la última semana de septiembre y la última semana de noviembre, la esterilidad floral de 'Digua CI' fluctuó entre 17 % y 24 %, muy similar a lo observado en 'Zafiro-INIA'. Además, el rendimiento en grano de 'Digua CI' fue similar a 'Zafiro-INIA' en las diferentes fechas de siembra evaluadas (7,3 - 10,2 t ha<sup>-1</sup>).

Los resultados permiten indicar que 'Digua CI' posee una tolerancia al frío similar a 'Zafiro-INIA', razón por la cual se espera un buen establecimiento en condiciones de campo de la nueva variedad de arroz. Para ello, se sugiere considerar las fechas de siembra y manejo de lámina de agua de manera similar a 'Zafiro-INIA'.

## B) Un herbicida específico Clearfield®: Eurolightning®

Los herbicidas de la familia de las imidazolinonas de BASF son herbicidas de amplio espectro para uso en post-emergencia temprana y que pueden usarse exclusivamente en cultivos que tengan el gen de resistencia a estos productos. En este caso, 'Digua CI' es la primera variedad de arroz chilena de grano largo ancho, *japonica* templada, con tecnología CLEARFIELD® y selectiva a herbicidas de la familia de las imidazolinonas.

Las evaluaciones realizadas indicaron que es importante complementar la aplicación del herbicida Eurolightning® con otros herbicidas para un buen control de las malezas. Durante la temporada 2017-2018 se evaluó una solución productiva para aplicaciones del agricultor en las localidades de Linares, Parral y San Carlos. Se utilizó Eurolightning® (2 L ha<sup>-1</sup>) + Facet (1,6 L ha<sup>-1</sup>) + Dash (0,4 L ha<sup>-1</sup>) (Foto 7 a) y Eurolightning® (2,5 L ha<sup>-1</sup>) + Facet (1,6 L ha<sup>-1</sup>) + Dash (0,4 L ha<sup>-1</sup>) (Foto 7 b). No hubo diferencia entre las dosis de 2,0 y 2,5 (L ha<sup>-1</sup>) de Eurolightning®. En San Carlos no hubo necesidad de aplicar MCPA para controlar segunda generación de malezas.

Debido a que el sistema de control de malezas es una actividad dinámica y depende de la temporada, localidad e incluso del potrero, se ha continuado con la evaluación de diferentes soluciones productivas, manteniendo como eje central el herbicida Eurolightning®.



**Foto 7.** Variedad 'Digua CI' evaluada con: A) Eurolightning® (2,5 L ha<sup>-1</sup>) + Facet (1,6 L ha<sup>-1</sup>) + Dash (0,4 L ha<sup>-1</sup>) y B) testigo sin aplicación. Temporada 2017-2018.

Para ello, durante la temporada 2018-2019 y 2019-2020 se incorporaron nuevos herbicidas a la solución productiva CLEARFIELD® que comprende el uso de Eurolightning® + Facet® y el complemento con Basagran, y/o MCPA, ya sea en mezcla o en secuencia, para buscar las mejores alternativas al control de malezas. Adicionalmente, se continúan realizando evaluaciones de estos tratamientos con distintos equipos de aplicación que utilizan los productores (bomba de espalda, tractor con barra o dron), para ajustar el paquete tecnológico a utilizar.

## Recomendaciones del control de malezas en arroz en el sistema Clearfield®\*

### Momento y consideraciones de aplicación de Eurolightning® + Facet®

- Aplicar en post-emergencia temprana del arroz, desde 2 hojas o 20 d después de la siembra de arroz pregerminado.
- La dosis recomendada es: Eurolightning® de 2,0 a 2,5 L ha<sup>-1</sup> + Facet®25 SC de 1,6 a 2,0 L ha<sup>-1</sup>. Se recomienda consultar con un asistente técnico antes de la aplicación.
- El hualcacho y las otras malezas del cultivo deben tener 2 a 3 hojas de desarrollo como máximo.
- Las malezas deben estar expuestas al momento de la aplicación.
- Bajo condiciones de alta presión o emergencias tardías de pasto cabezón y/o hualtata, pudiese ser necesario Basagrán + MCPA.

\*Esta recomendación se continúa evaluando para adaptarla a las condiciones específicas de los agricultores del area arroceras.

### Manejo del agua para la aplicación del herbicida

- Bajar el agua en los cuadros 1 a 2 d antes de la aplicación de Eurolightning® + Facet, dejando las malezas expuestas. Aplicar la mezcla sobre suelo barroso.
- Después de transcurridos 2 d desde la aplicación, se debe rellenar los cuadros y mantenerlos con un nivel adecuado de agua durante el desarrollo del cultivo.
- Mantener pretilas, canales y zanjas, libre de malezas.

### Manejo del arroz Clearfield® voluntario (plantas voluntarias)

- Controle las malezas durante el cultivo de arroz.
- Evite el movimiento de semillas entre campo y campo.
- Minimice las pérdidas de semillas de arroz durante la cosecha. Ponga especial atención en la calibración correcta de la máquina cosechadora.
- Una vez cosechado el arroz Clearfield®, limpie muy bien la máquina cosechadora en el potrero Clearfield®, para evitar traslado de semillas Clearfield® a campos con sistema convencional de arroz.
- Cubra las cargas de las semillas durante el transporte para evitar dispersarlas.

### Recomendación general del herbicida

Respete los períodos mínimos de espera entre la aplicación de Eurolightning® y la siembra de los siguientes cultivos convencionales: trigo: 1 mes; achicoria: 5 meses; avena: 6 meses; lupino: 8 meses; raps y otras crucíferas de siembra directa y de trasplante: 10 meses; y 12 meses para maíz y remolacha.

## C) Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en arroz Clearfield®

### Semilla certificada

- Compre semilla certificada todos los años a las empresas autorizadas.
- Verifique que el saco de la semilla tenga la marca Clearfield® y el sufijo CL.

### Rotación de cultivos y recomendaciones después de Clearfield

- Un año arroz Clearfield® / año siguiente con arroz convencional. Se recomienda que a la temporada siguiente del arroz Clearfield®, se siembre una variedad de arroz convencional 'Zafiro-INIA' o 'Cuarzo-INIA'.
- No guarde semilla para el año siguiente. Entregue toda la producción al molino.
- En el cultivo siguiente a arroz Clearfield, no utilice herbicidas del tipo ALS.
- Controle las malezas durante la producción de arroz convencional. Ello permite rotar con herbicidas de diferente modo de acción como, por ejemplo, Molirox® y Heat®, además de disminuir la formación de resistencia que generan las malezas con el uso repetido de los herbicidas.

Recuerde que éste es un sistema de control integrado para el manejo de resistencia de malezas, por lo que se permite la rotación de diferentes ingredientes activos con los sistemas tradicionales de control de malezas en variedades no Clearfield®, lo que incide en el aumento de los rendimientos.

- Para mantener la eficacia de Eurolightning® no use el sistema Clearfield® en el mismo potrero antes de 1 temporada.

### Época de siembra

La fecha de siembra tiene gran importancia en el cultivo del arroz en Chile, debido, principalmente, a las bajas temperaturas nocturnas presentes en la zona arrocería (Donoso y Paredes, 2015). Por este motivo, todas las variedades de arroz liberadas al mercado nacional deben ser sometidas a evaluaciones de diferentes fechas de siembra, para conocer su desempeño en diversos escenarios de siembra. Por ello, durante las temporadas 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018 se realizaron ensayos en campos de la zona arrocería, con el fin de determinar la fecha óptima de siembra de la variedad 'Digua CI', utilizando como testigo la variedad comercial 'Zafiro-INIA'.

A pesar de que ambas variedades presentaron un comportamiento agronómico similar, la fecha de siembra recomendada para la variedad Clearfield es entre el 1 y 20 de octubre. Posterior a estas fechas, el agricultor puede perder, al menos, un 30 % de rendimiento de su producción.

La siembra oportuna permite que la planta de arroz complete la etapa de floración cuando se alcanzan los máximos niveles de temperatura y radiación solar. En cambio, fechas de siembras tardías (noviembre), retrasan la floración hasta febrero, mes en el que tanto las temperaturas como la radiación solar, comienzan a disminuir, lo cual afecta el rendimiento.

### Zona de siembra

Debido a la estabilidad del rendimiento de la nueva variedad de arroz 'Digua CI' en los diferentes ambientes estudiados, se concluye que esta variedad puede ser sembrada en cualquier localidad de la zona arrocería de Chile.

## Fertilización

Los resultados obtenidos indican que la variedad de arroz 'Digua CI' reaccionó al nitrógeno, fósforo y a la aplicación foliar de zinc en floración o de zinc + boro en macolla (Foto 8). Si bien no hubo reacción al potasio y al encalado, se sugiere aplicar una dosis de mantención de potasio (reposición de la extracción del grano de arroz para evitar la pérdida de fertilidad del suelo) de 25 a 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (40 a 50 kg ha<sup>-1</sup> de muriato de potasio) y la aplicación de cal en dosis de 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> cuando el pH del suelo sea inferior a 5,5, para lo cual se requiere contar con análisis de suelo realizado, al menos, cada 4 años.



**Foto 8.** Ensayo de fertilización en variedad de arroz 'Digua CI' con aplicación foliar de zinc y boro. Parral, Temporada 2016-2017.

## Recomendación general

Basado en el análisis de suelo, la recomendación de fertilización para la variedad de arroz 'Digua CI' es la siguiente:

### A la siembra

- Aplicar 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (60 a 70 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triple o fosfato diamónico).
- Aplicar 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (50 kg ha<sup>-1</sup> de muriato de potasio).
- Aplicar 50 kg ha<sup>-1</sup> de N (110 kg ha<sup>-1</sup> de urea cuando se haya usado superfosfato triple, u 80 kg ha<sup>-1</sup> de urea cuando se haya usado fosfato diamónico).

Estas dosis son equivalentes al uso de 200 kg ha<sup>-1</sup> de una mezcla N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O = 25:15:15 formulada con urea + fosfato diamónico + muriato de potasio.

### A inicio de macolla:

- Aplicar 50 a 55 kg ha<sup>-1</sup> de N (110 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de urea).

### En plena macolla:

- Aplicación foliar de zinc + boro en dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> de producto comercial de cada elemento (ejemplo; 1 L de Defender Zinc + 1 L de Defender Boro, o 1 L de Nutri Zinc + 1 L de Nutri Boro).

### Inicio de panícula:

- Aplicar 55 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de N (120 a 130 kg ha<sup>-1</sup> de urea).

### Consideraciones finales

La estrategia de trabajo utilizada permitió cumplir con el objetivo planteado: obtener una variedad de arroz clearfield (‘Digua CI’) de grano largo ancho, similar a ‘Zafiro-INIA’ (variedad adaptada y ampliamente aceptada por los consumidores, industria y agricultores) y que poseyera el gen de resistencia a los herbicidas de la familia de las imidazolinonas. Sin embargo, esta estrategia se continua evaluando y ajustando a las condiciones específicas de la zona arroceras del país.

En este sentido, se registraron los siguientes hitos:

**Hito 1.** 2011. Se inicia el desarrollo de las líneas experimentales clearfield.

**Hito 2.** 2014. Se inicia la evaluación de las líneas experimentales clearfield en el campo, por tres temporadas y en tres localidades.

**Hito 3.** 2018. Se selecciona la línea RC4 CI-15 y se registra bajo el nombre comercial ‘Digua CI’, como un reconocimiento al Embalse Digua, por su aporte al desarrollo del cultivo del arroz en el país.

Esta nueva tecnología en el cultivo de arroz se desarrolló gracias al trabajo de una alianza pública-privada, financiada, en dos etapas por FONDEF, y ejecutada y cofinanciada por el INIA, las empresas Tucapel S.A., Carozzi S.A. y BASF Chile S.A.

Esperamos que este un nuevo ‘Sistema de Producción de Arroz Clearfield’ pueda ser un aporte para mejorar la competitividad y sustentabilidad del sector arroceras nacional.

### Referencias

- Alvarado, R. 2007. Arroz, Manejo tecnológico, Chillán, Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias. Boletín INIA N° 162, 180 p.
- Alvarado, R., Pedreros, A. 1991. Presencia de arroz rojo en Chile. Agric. Téc. (Chile) 51:374-377.
- Da Cruz, R., Milach, S.C., Federizzi, L.C. 2006. Inheritance of rice cold tolerance at the germination stage. Genet. Mol. Biol. 29: 314–320.
- Da Cruz, R., Sperotto, R., Cargnelutti, D., et al. 2013. Avoiding damage and achieving cold tolerance in rice plants. Food Energy Sec. 2:96-119.
- Donoso, G., Cabas, P., Paredes, M., et al. 2015. Cold tolerance evaluation of temperate rice (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*) genotypes at the seedling stage. Gayana Bot. 72:1-13.
- Donoso, G., Paredes, M. 2015. Efecto de las bajas temperaturas en el cultivo del arroz. p. 18-21. En M. Paredes, V. Becerra (eds.). Producción de arroz: Buenas prácticas agrícolas (BPA). Boletín N° 306. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Chillán, Chile.
- Donoso, G., Paredes M., Arbiza, O., et al. 2013. Cold tolerance evaluation in Chilean rice genotypes at the germination stage. Chil. J. Agric. Res. 73:3-8.
- Donoso, G., Paredes, M., Becerra, V., et al. 2016. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials of rice produced in a temperate climate. Chil. J. Agric. Res. 72:152-157.
- Farrell, T.C., Williams, R.L., Fukai, S. 2001. The cost of low temperature to the NSW rice industry. Proc. 10th Aust. Agron. Conf. 1:1300–1430.

- Hatfield, J., Prueger, J. 2015 Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather Climate Extremes*. 10: 4-10.
- IRRI. 1983. Final report of the Seventh International Rice Cold Tolerance Nursey. P.34. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Laguna, Philippines.
- Lee, M.H. 2001. Low temperature tolerance in rice: the Korean experience. p. 109–117. In Fukai S. and Basnayake, J. (eds.) *Increased lowland rice production in the Mekong Region. Proceedings of an international workshop, Vientiane, Laos, 30 October to 2 November 2000*. Australian Center for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- INN. 1999. NCh 1375.Of88. Arroz con cáscara (arroz Paddy) – Métodos de ensayo y análisis. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago, Chile.
- INN. 2003a. NCh 1359.Of2003. Arroz pulido – terminología, clasificación y requisitos generales. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago, Chile.
- INN. 2003b. NCh 2033.Of2003. Arroz con cáscara (arroz Paddy) – Requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago, Chile.
- Pedrerros, A., Ormeño, J., Alvarado, R. 1992. Control de malezas de hoja ancha en arroz. *Inv. Prog. Agrop. Quilamapu (Chile)* 52:36-39.
- Shimono, H., Okada, M., Kanda, E., et al. 2007. Low temperature-induced sterility in rice: evidence for the effects of temperature before panicle initiation. *Field Crops Res.* 101:221–231.