



# Arroz sustentable: Sistema de Producción de Arroz Clearfield

Editores: Viviana Becerra V.  
Mario Paredes C.  
Gabriel Donoso Ñ.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Boletín INIA / N° 397



ISSN 0717-4829



FONDEF  
Fondo de Fomento al Desarrollo  
Científico y Tecnológico



## Agradecimientos

Los autores agradecen muy sinceramente el financiamiento y la colaboración de los proyectos, empresas e instituciones que permitieron obtener la información publicada en este documento.

### Participantes proyecto FONDEF D10E1183. Fase II.

#### Profesionales INIA

**Mario Paredes C.**, Ingeniero Agrónomo, Ms. Sci., Ph D. Genética/Mejoramiento de plantas.  
Director Proyecto /Asesor Proyecto.  
omparedes2018@gmail.com.

**Viviana Becerra V.**, Ingeniera Agrónoma, Ms. Sci., Mejoramiento de Plantas/Genética.  
Directora Alternativa/ Directora Proyecto.  
vbecerra@inia.cl. INIA Quilamapu.

**Gabriel Donoso Ñ.**, Bioquímico, Dr. Estrés abiótico.  
Investigador/ Director Alternativo Proyecto  
gabriel.donosos@inia.cl, INIA Quilamapu.

**Haroldo Salvo G.**, Ingeniero Agrónomo, Ph D.  
Centro de Genómica Nutricional Agroacuícola, CGNA.

**Juan Hirzel C.**, Ingeniero Agrónomo, Dr. Fertilidad de suelos.  
jhirzel@inia.cl, INIA Quilamapu.

**Hamil Uribe**, Ingeniero Agrónomo, Dr. Manejo de agua.  
huribe@inia.cl, INIA Quilamapu.

**Alvaro Vega S.**, Ingeniero Agrónomo, Insumos tecnológicos y transferencia de tecnología.  
avega@inia.cl, INIA Quilamapu

**Fernando Saavedra B.** Ayudante de investigación

#### Empresas asociadas al proyecto

##### Tucapel S.A.

Eduardo Lagos Z., Gerente General.  
Alfonso Dussailant G., Gerente Agrícola  
Felipe Valderrama Z., Subgerente Agrícola

##### Carozzi S.A.

Lorenzo Escobar A., Gerente Abastecimiento  
Mario Rainao P., Ing, Agrónomo.  
Hugo Muñoz C., Ing. Agrónomo.

##### BASF S.A.

Jorge Nitsche M., Ingeniero Agrónomo.  
Claudio Betanzo G., Ingeniero Agrónomo.  
Ángela Aedo A., Ingeniera Agrónoma.  
Fernando Jofré S-G., Ingeniero Agrónomo.  
Nicolás Silva L., Ingeniero Agrónomo.

# **Arroz sustentable: Sistema de Producción de Arroz Clearfield®**

**Editores:**

**Viviana Becerra V.**

**Mario Paredes C.**

**Gabriel Donoso Ñ.**

**Centro Regional  
de Investigación INIA Quilamapu**

### **Editores Técnicos**

Viviana Becerra V., Ingeniera Agrónoma, Ms. Sci., Mejoramiento de Plantas/ Genética.

Mario Paredes C., Ingeniero Agrónomo, Ms. Sci., Ph D. Genética/Mejoramiento de plantas.

Gabriel Donoso Ñ., Bioquímico, Dr. Estrés abiótico.

### **Editores de texto**

Luis Inostroza F., Ing Agr., Dr. Subdirector Regional de Investigación y Desarrollo de INIA Quilamapu.

Carlos Ruiz S., Ing. Agr., Diplomado. Transferencia de Tecnología de INIA Quilamapu.

Boletín INIA N° 397

### **Cita Manual correcta**

Becerra, V., Paredes, M., Donoso, G. (eds.) 2019. Sistema de Producción de Arroz Clearfield.

Boletín INIA N°397 52 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.

ISSN 0717-4829

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y editores.

### **Fotografías**

Viviana Becerra V.

Foto tapa: Digua Cl, multiplicación de semilla.

Foto contratapa: PMGA temporada 2015-2016, incluye Ensayos Regionales Clearfield, Flujo génico Clearfield, Líneas experimentales RC3 Cl y RC4 Cl, Ensayos Innova Chile, Introducción germoplasma IRR1. Financiamiento fotografía Fondef D10E1183

**Impresión y Diagramación:** Trama Impresores S.A.

**Cantidad de ejemplares:** 250.

Chillán, Chile, febrero de 2019.

# Índice

Prólogo	5
Capítulo 1 <b>Condiciones climáticas del sector arrocero</b>	7
Capítulo 2 <b>Sistema de producción de arroz CLEARFIELD®</b>	13
Capítulo 3 <b>Digua CI, primera variedad de arroz Clearfield para Chile</b>	18
Capítulo 4 <b>Época de siembra de la variedad Digua CI</b>	26
Capítulo 5 <b>Tolerancia a frío de la variedad de arroz Digua CI</b>	29
Capítulo 6 <b>Nutrición y fertilización de arroz de la variedad Digua CI en siembra directa</b>	36
Capítulo 7 <b>Interacción genotipo por ambiente</b>	45
Referencias Bibliográficas	50



  
**Digua CI**



## Prólogo

Uno de los factores limitantes de la producción arroceras en Chile, es un efectivo control de malezas. Las malezas pueden producir una fuerte disminución de la producción y calidad del producto cosechado, que puede variar entre un 40 y un 60%, dependiendo de la intensidad y período de competencia con las malezas. Es común detectar este problema cuando hay un inadecuado manejo del suelo, y en el uso y aplicación de los productos químicos que se recomiendan en arroz, lo cual ha llevado a la aparición de altos niveles de infestación de malezas en algunas localidades como también la aparición de resistencia a algunos herbicidas en las malezas. Paralelo a esta situación, la presencia del arroz rojo, que por ser de la misma especie, se cruza en forma natural con el arroz cultivado, haciendo muy difícil su control y muy fácil su diseminación.

Basado en lo anterior, en el proyecto FONDEF uno de los objetivos fue desarrollar Digua Cl, la primera variedad Chilena *japonica templada* de grano largo ancho, tolerante al frío y resistente al herbicida de la familia de la imidazolinona, además de desarrollar el Sistema de Producción de Arroz Clearfield que permita su cultivo en condiciones comerciales.

Para el desarrollo de la variedad Digua Cl, se utilizó el sistema convencional de Retrocruza, unido a la selección por marcadores moleculares asociados al gen de resistencia al herbicida y el cultivo de embriones. Ello permitió obtener la variedad en ocho (8) años, lo que marca un hito en el mejoramiento genético del arroz en Chile. Junto con el desarrollo de esta variedad, se describe en este boletín el Sistema de Producción de Arroz Clearfield, que es un conjunto de recomendaciones técnicas que el agricultor debe cumplir para un buen uso de esta variedad. Cabe señalar que, Digua Cl no es una variedad transgénica.

A nivel país, el sector arrocero participa activamente en la Comisión Nacional del Arroz y en sus Subcomisiones Nacionales de Comercialización y de Innovación, liderada por el Ministerio de Agricultura a través de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) y la Mesa Campesina, coordinada por el Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP. En estas instancias público-privadas, los diferentes actores de la cadena productiva tienen la posibilidad de plantear sus problemas y buscar las posibles soluciones. Dentro de este contexto, INIA conoce y recoge las demandas tecnológicas del sector para poder incorporarlas en sus planes y líneas de trabajo para poder buscar en conjunto una solución y por otro lado, difundir las actividades que realiza a toda la cadena productiva.

Un ejemplo concreto de esta colaboración público-privada es el desarrollo del Sistema de Producción de Arroz Clearfield, financiado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Ministerio de Agricultura (MINAGRI) y el Ministerio de Educación, a través de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) con su Programa Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF) y el cofinanciamiento de las Empresas privadas TUCAPEL, S.A.; CAROZZI, S.A. y BASF 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 arrocero nacional.

**Viviana Becerra Velásquez**  
Directora Proyecto FONDEF



## Capítulo 1

# Condiciones agroclimáticas del sector Arrocerero de Chile

**Gabriel Donoso Ñ.**

**Mario Paredes C.**

**Viviana Becerra V.**

Las condiciones climáticas, asociadas principalmente a las bajas temperaturas presentes en la zona arrocerera de Chile, afectan el crecimiento y desarrollo del arroz (Donoso *et al.*, 2015). Por ello, se describe a continuación el clima del sector arrocerero comprendido entre septiembre y el mes de marzo (cosecha) en tres temporadas (2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018) en las que la nueva variedad de arroz Digua Cl fue evaluada.

### **Septiembre**

Durante el mes de septiembre, el clima puede afectar directamente las labores de preparación de suelo tanto para la siembra directa como para la siembra inundada con semilla pre-germinada. Esto debido a que las precipitaciones durante esta fecha pueden impedir la oportunidad y adecuado trabajo de la maquinaria agrícola en el campo debido al exceso de humedad en el suelo. En caso de haber realizado las labores y la siembra en forma oportuna, las precipitaciones pueden ayudar en el proceso de germinación de la semilla del arroz. El análisis del clima de las últimas tres temporadas ha permitido observar importantes variaciones en las precipitaciones y temperaturas durante el mes de septiembre. En la mayoría de las temporadas se presentaron precipitaciones sobre los 60 mm (Figura 1.1.) lo cual influyó negativamente en las labores de siembra. La única excepción fue la temporada 2016-2017 que presentó menos precipitaciones y temperaturas más altas (Figura 1.1. y 1.2.). Por ello, frente a la posibilidad de temporadas con abundantes precipitaciones en este mes, se recomienda realizar las labores previas a la siembra, tales como nivelación, y

rastreo con anticipación para sembrar sin mayor dificultad durante el mes de octubre.

## **Octubre**

En general, el periodo ideal para la siembra del arroz está entre el 1 y 20 de octubre. Las precipitaciones durante este mes pueden también afectar la siembra del cultivo. En el caso de la siembra directa, las precipitaciones durante el mes de octubre pueden afectar este proceso, extendiendo este periodo hasta el mes de noviembre, lo que obliga en algunas situaciones a los agricultores a cambiar el sistema de siembra directa por la siembra inundada con arroz pre-germinado, para poder realizar la siembra en la época recomendada.

Las precipitaciones del mes de octubre fueron similares (66–74 mm) en las tres temporadas analizadas (Figura 1.1). Estas precipitaciones, en general, generaron algunos problemas para agricultores que tenían planificado la realización de siembra directa. Por otro lado, las bajas temperaturas durante el mes de octubre presentaron una tendencia similar en las tres temporadas (Figura 1.2.). Sin embargo, en la temporada 2016–2017, se observaron temperaturas mínimas cercanas a 0°C y temperaturas máximas sobre los 30°C, lo cual fue superior a lo observado en las otras temporadas, donde se observaron temperaturas máximas inferiores a 25°C. La presencia de bajas temperaturas (<10°C) durante este periodo puede afectar el establecimiento del cultivo, disminuyendo el porcentaje y la velocidad de la germinación. Sin embargo, gracias al nivel de tolerancia al frío presente en la variedad Digua Cl, similar a Zafiro-INIA, logra un buen establecimiento en estas condiciones climáticas.

## **Noviembre**

Durante el mes de noviembre el arroz se encuentra entre el estado de plántula y macolla. En las tres temporadas estudiadas, se observa que las temperaturas mínimas no superaron los 13°C y en el caso de la temporada 2015–2016, se presentaron temperaturas cercanas a 2°C (Figura 1.2.). Las precipitaciones fueron bajas con valores cercanos a los 11 mm durante todo el mes. Sin embargo, en la temporada 2017–2018, se observaron precipitaciones superiores a los 40 mm (Figura 1.1.). A pesar de las bajas temperaturas registradas, especialmente durante la temporada 2015–2016, la variedad Digua Cl se desarrolla adecuada-



mente gracias a que posee una tolerancia al frío similar a Zafiro-INIA.

## Diciembre

Durante diciembre la planta de arroz se encuentra en etapa de macolla y a fines de diciembre se espera el inicio de la formación del primordio floral. En este caso, las bajas temperaturas pueden generar esterilidad floral. Respecto a las precipitaciones, estas fueron inferiores a 20 mm y en caso de la temporada 2015-2016, no se registraron precipitaciones durante este mes (Figura 1.1.). En general, las temperaturas máximas fueron superiores a los 20°C, lo cual permitió un buen desarrollo de la planta de arroz durante el día. En las temporadas estudiadas, las temperaturas mínimas fueron superiores a 5°C, observándose una leve disminución de temperaturas mínimas en la temporada 2015-2016 (< 10°C) (Figura 1.2.). Por ello, se recomienda que durante este periodo, la variedad Digua CI se mantenga con una lámina de agua de al menos 5 cm lo cual protege el desarrollo de la planta en este período.

## Enero

En el mes de enero, el cultivo del arroz se encuentra en plena etapa reproductiva. Debido a que esta etapa es muy sensible a los estreses ambientales, es necesario monitorear las bajas temperaturas durante esta etapa. Bajas temperaturas pueden generar esterilidad floral y por lo tanto provocar disminuciones en el rendimiento mayores a un 50%. Temperaturas promedio menores a 20°C, afectan el desarrollo y la viabilidad del grano de polen generando esterilidad floral (Alvarado, 1999). En el periodo estudiado, las temperaturas mínimas fueron superiores a 10°C con pocas excepciones donde se observaron temperaturas inferiores a 8°C (Figura 1.2.). Las temperaturas máximas observadas no fueron mayores a 35°C con excepción de la temporada 2015-2016, donde las temperaturas llegaron hasta los 40°C. Este fenómeno puede afectar la floración del arroz y posteriores procesos de fecundación. Las precipitaciones fueron inferiores a 6 mm durante las tres temporadas estudiadas, lo cual es irrelevante debido a que corresponde a menos del 1% del requerimiento total de riego en el cultivo. (Figura 1.1.). Otro factor importante a considerar durante este mes es la radiación solar debido a que es el periodo con mayor requerimiento por parte de la planta. En general, la tendencia muestra valores similares de radiación solar diaria acumulada, en las tres temporadas con un incremento en el mes

de enero lo cual favorece el desarrollo de la planta (Figura 1.3.). Finalmente, se recomienda mantener la lámina de agua durante este periodo para evitar problemas de estrés hídrico debido a presencia de altas temperaturas.

## Febrero

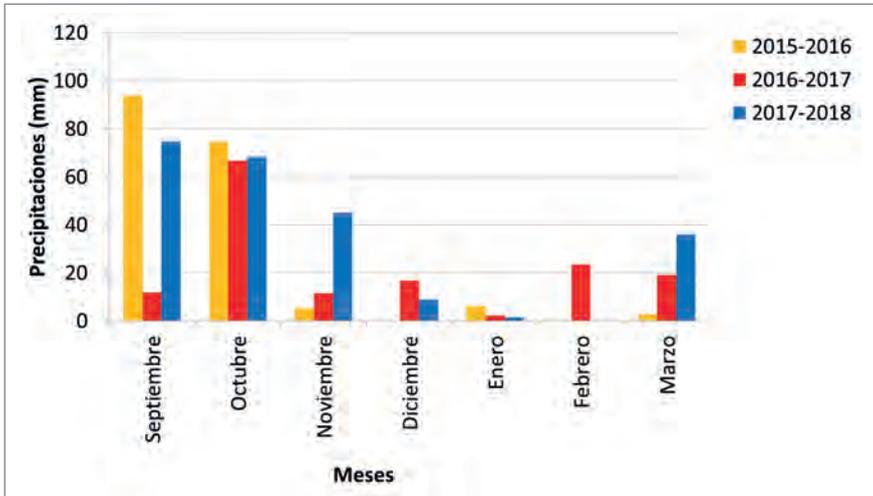
Entre fines de enero y la primera semana de febrero ocurre la floración, completándose la etapa reproductiva del arroz y comienza el llenado del grano de arroz. Esta etapa, se puede ver afectada por bajas y/o altas temperaturas impidiendo la fecundación. En general se sabe que, temperaturas menores a 10°C y mayores de 39°C afectan la germinación del polen y el alargamiento del tubo polínico, produciéndose esterilidad floral (Coast *et al.*, 2015). En las tres temporadas analizadas, se observó una disminución en las temperaturas mínimas respecto a enero, llegando hasta 6,5°C (2016-2017) (Figura 1.2.). Durante este mes se recomienda mantener el riego hasta madurez fisiológica del grano. Posteriormente, se recomienda esperar a que el agua se consuma completamente sin ingresar más agua a los cuadros.

## Marzo

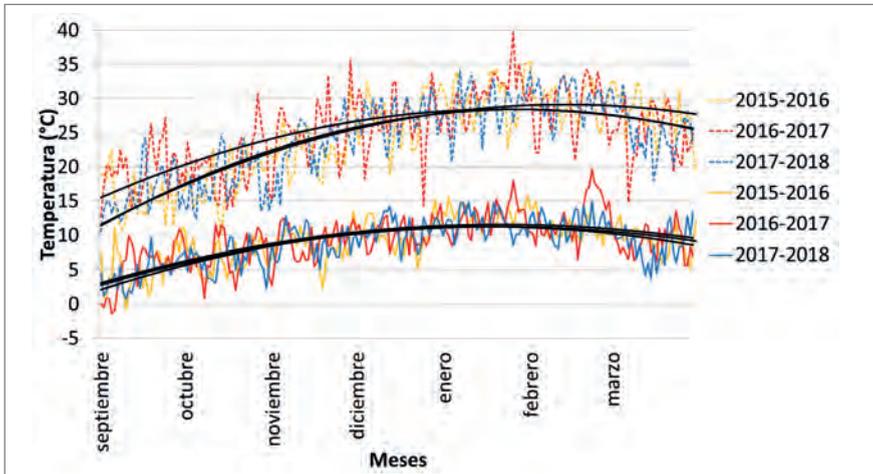
Durante el mes de marzo el grano de arroz termina de madurar y se da inicio a la cosecha del arroz. Las precipitaciones afectan negativamente el proceso de cosecha debido al impedimento de la entrada de la cosechadora automotriz e incrementan el porcentaje de humedad del grano, disminuyendo su calidad industrial. La temporada 2017-2018, fue levemente afectada por este fenómeno debido a la presencia de precipitaciones cercanas a los 40 mm (Figura 1.1.). Sin embargo, estas precipitaciones ocurrieron a principio de mes lo cual permitió cosechar a fines de mes de marzo y primera quincena de abril, sin mayores inconvenientes climáticos.

## Conclusiones

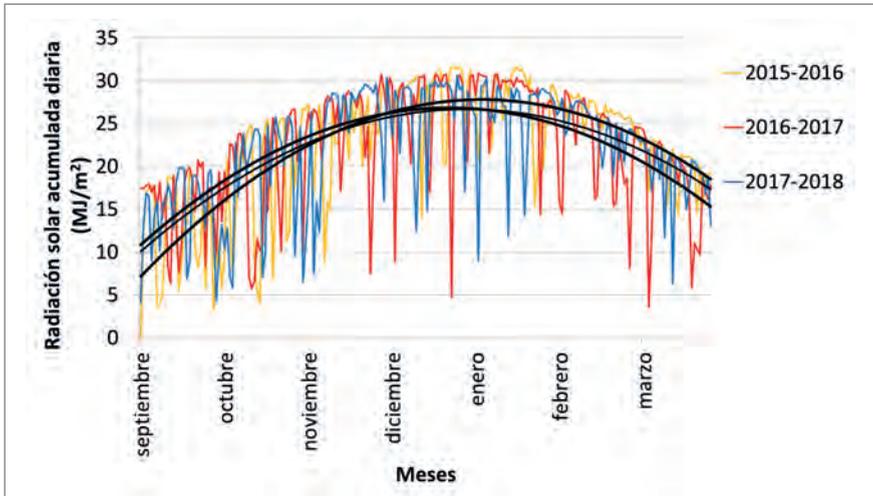
Considerando las condiciones climáticas de las temporadas estudiadas y una fecha de siembra entre el 1 y 20 de octubre, la variedad de arroz Digua Cl se logra desarrollar de manera similar a Zafiro-INIA, obteniendo rendimientos cercanos a los 100 qqm ha<sup>-1</sup>.



**Figura 1.1.** Precipitación acumulada mensual en el sector arrocero, entre 2015-2018. En color naranja, rojo y azul, se observan las temperaturas de la temporada 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018, respectivamente.



**Figura 1.2.** Temperaturas máximas y mínimas en el sector arrocero de Chile entre los años 2015 a 2018. En color naranja, rojo y azul, se observan las temperaturas de la temporada 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018, respectivamente. Líneas discontinuas corresponden a temperaturas máximas y líneas continuas corresponden a temperaturas mínimas. Las líneas de color negro corresponde a la tendencia de temperaturas mínimas o máximas según se observa en el gráfico ( $R^2$  entre 0,4-0,7).



**Figura 1.3.** Radiación solar diaria acumulada en el sector arrocero de Chile entre los años 2015 a 2018. El naranja, rojo y azul representa la radiación solar en las temporadas 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018, respectivamente. En color negro se observa la línea de tendencia ( $R^2$  entre 0,4-0,6).



## Capítulo 2

# Sistema de Producción CLEARFIELD® en Arroz

Jorge Nitsche M.  
Fernando Jofré S-G.  
Ángela Aedo A.  
Nicolás Silva L.

El Sistema de Producción **CLEARFIELD®** conceptualmente es un sistema de producción agrícola de BASF que incluye a una variedad seleccionada **CLEARFIELD®** que posee un gen de resistencia a los herbicidas de la familia de las Imidazolinonas (IMI), un herbicida específico, en este caso Eurolightning® (Figura 2.1.) y la utilización de un conjunto de prácticas agrícolas que ayudan a expresar el potencial del Sistema de Producción de Arroz **CLEARFIELD®**.



Figura 2.1. Esquema del Sistema de producción **CLEARFIELD®**.

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. Las variedades **CLEARFIELD®** poseen un gen de resistencia a los herbicidas Imidazolinonas proveniente de la misma especie, los cuales son transferidos a través de métodos convencionales de mejoramiento genético, en este caso mediante Retrocruza.

La variedad de arroz Clearfield, Digua Cl, fue desarrollada usando como progenitor, Zafiro-INIA que corresponde al tipo de arroz largo-ancho que el país, la industria, el agricultor y el consumidor requieren y la variedad Puitã-INTA de grano largo-fino, que posee el gen de resistencia al herbicida (IMI).

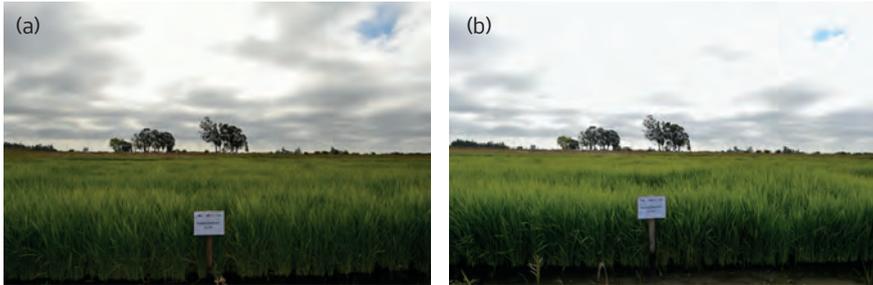
El trabajo del desarrollo de la variedad Digua Cl se inicia a partir del año 2011 con la generación de líneas experimentales de arroz Clearfield, las que después de ocho años de selección por la resistencia al herbicida, y a pruebas agronómicas de rendimiento y calidad de grano, permitió la selección de una línea experimental que se le dio el nombre comercial de Digua Cl, como un reconocimiento al aporte del Embalse Digua, 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 por FONDEF en dos etapas, y cofinanciada por el INIA, las empresas Tucapel S.A., Carozzi S.A. y BASF S.A.

La variedad Digua Cl es la primera variedad de arroz, grano largo-ancho con tecnología **CLEARFIELD®**, selectiva a herbicidas de la familia de las Imidazolinonas desarrollada en el país. Esta tecnología puede ser utilizada como una herramienta de control integrado, para el manejo de resistencia de malezas, debido a que permite la rotación de diferentes ingredientes activos, rotar con los sistemas tradicionales de control de malezas en variedades no **CLEARFIELD®** y con ello aumentar los rendimientos.

Las evaluaciones realizadas hasta ahora han indicado 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: Linares, Parral y San Carlos de Eurolightning® (2, 0 (L ha<sup>-1</sup>) + Facet (1,6 L ha<sup>-1</sup>) + Dash (0,4 L ha<sup>-1</sup>) (Foto 2.1 a) y de 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 2.1. b). No hubo diferencia entre las dosis de 2,0 y 2,5 (L ha<sup>-1</sup>) de Eurolightning®. En la localidad de 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 las temporadas, localidad, incluso del potrero, se ha continuado con la evaluación de diferentes soluciones productivas, manteniendo, como eje central el herbicida **Eurolightning®**.



**Foto 2.1.** Solución productiva Eurolightning® (2, 0 (L ha<sup>-1</sup>) +Facet (1,6 L ha<sup>-1</sup>) + Dash (0,4 L ha<sup>-1</sup>) (Foto 2.1 a) y de 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 2.1 b). Temporada 2017-2018.

Para ello, durante la temporada 2018-2019, se han incorporado nuevos herbicidas a la solución productiva **CLEARFIELD®** que comprende el uso del herbicida **Eurolightning®** más 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 están evaluando estos tratamientos con los distintos equipos de aplicación que utilizan los productores, como bomba de espalda y tractor con barra.

### **MOMENTO DE APLICACIÓN DE Eurolightning®:**

Eurolightning® se aplica en post emergencia temprana del arroz, desde 2 hojas y hasta 30 días después de la siembra.

### **DESARROLLO DE LAS MALEZAS:**

Es muy importante que las malezas estén expuestas al momento de la aplicación del herbicida. El hualcacho y las otras malezas del cultivo, deben tener 2 a 3 hojas de desarrollo como máximo.

## MANEJO DEL AGUA:

Para una adecuada acción del herbicida **Eurolightning®** los cuadros se deben vaciar de agua 1 a 2 días antes de la aplicación del herbicida, dejando las malezas expuestas y después de transcurridos 2 días desde la aplicación se deben rellenar los cuadros con agua.

## Ventajas del uso de Eurolightning®

- Amplio espectro en el control de malezas como hualcacho, cortadera, hualtata, pasto cabezón, entre otras.
- Único sistema que controla arroz rojo.
- Excelente selectividad.
- Fácil manejo.
- Seguro para el aplicador y el medio ambiente (buen perfil toxicológico y eco toxicológico)

## Los componentes y recomendaciones más importantes del SISTEMA DE PRODUCCIÓN CLEARFIELD® en arroz son las siguientes

### 1. Digua-Cl:

- Variedad largo-ancho y resistente al herbicida de la familia de las imidazolinonas.
- **Semilla certificada** para una sola cosecha comercial (No guardar semilla, para evitar contaminación con semilla no clearfield.)



### 2. Herbicida en Post-emergencia:

- **Eurolightning** de amplio espectro.
  - Tratar siempre con la solución productiva para arroz **CLEARFIELD®** diseñada por BASF y recomendada por la **Asistencia técnica** que recibirá el agricultor que use el **Sistema de Producción de arroz Clearfield**.

### 3. Buenas Prácticas Sistema Clearfield:

- Época de siembra, fertilización (ver Capítulos 4 y 6).



- Rotación con variedades convencionales
  - Un año Clearfield / convencional.
  - Se recomienda que a la temporada siguiente del arroz **CLEARFIELD®**, se siembre una variedad convencional (**no CLEARFIELD®: Zafiro-INIA, Cuarzo INIA**) de arroz.
  - Ello permite rotar con herbicidas de diferente modo de acción, como por ejemplo Molirox® y Heat®.
  - Es altamente recomendable, para mantener la eficacia de Eurolightning® no volver al sistema **CLEARFIELD®** en el mismo potrero antes de dos temporadas.

### Recomendación general

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; papas y hortalizas de verano y 12 meses para maíz y remolacha.

## Capítulo 3

# Digua Cl, primera variedad de arroz Clearfield para Chile

Mario Paredes C.  
Viviana Becerra V.  
Gabriel Donoso Ñ.  
Haroldo Salvo G.

Actualmente, uno de los principales problemas agronómicos que enfrenta el cultivo del arroz en el país es la presencia de 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, la cual puede reducir el rendimiento entre un 25% a un 49%. Un segundo grupo de malezas que afecta este cultivo, pertenece a la familia de la Ciperáceas (*Cyperus difformis*, cortadera y *Scripus mucronatus*, pasto cabezón), las cuales reducen el rendimiento entre un 16 a un 48% el rendimiento. Finalmente, un tercer grupo perteneciente a la familia de las Alismatáceas (hualtatas y lengua de vaca), que pueden disminuir el rendimiento entre un 11% hasta un 68% con una población de maleza de 100 plantas por m<sup>2</sup>.

A estas malezas se debe agregar el arroz rojo (*Oryza sativa*), que existe en sus dos tipos de arroz rojo *japónico* e *índico* (Alvarado y Pedreros, 1991). La presencia de esta maleza está asociada a la introducción del arroz en el país y se encuentra y se encuentra diseminada en toda la zona arroceras 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 presenta la necesidad de generar una variedad de arroz Clearfield que posea un grano largo ancho (NCH2033.of2003).



## Generación de la variedad de arroz Clearfield

Los progenitores seleccionados para la obtención de las líneas experimentales Clearfield fueron Zafiro-INIA, como padre recurrente y Puitá-INTA como padre donante del gen de la resistencia al herbicida de la familia de las imidazolinas (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 (4) Retrocruzadas (Figura 3.1). Se utilizó además el cultivo de embriones para acelerar el avance de las generaciones y acortar el tiempo de desarrollo de las líneas experimentales. Las líneas experimentales 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 3.1.).

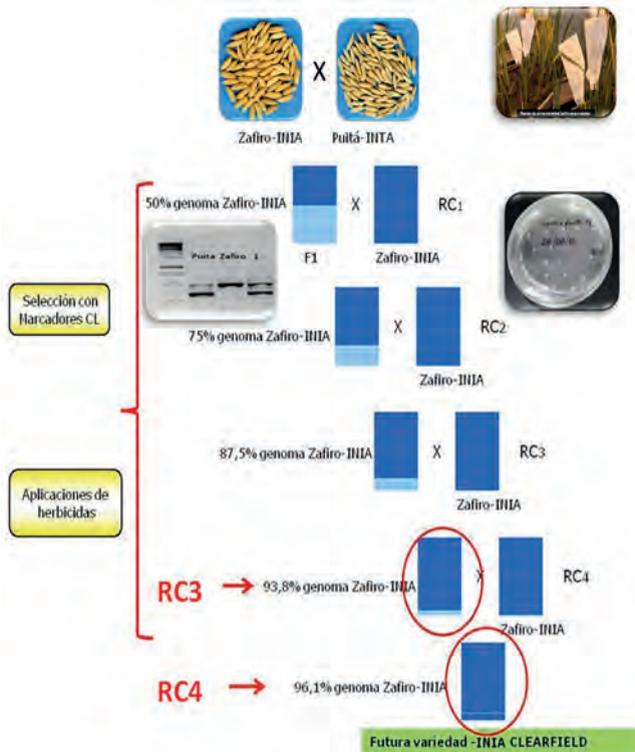
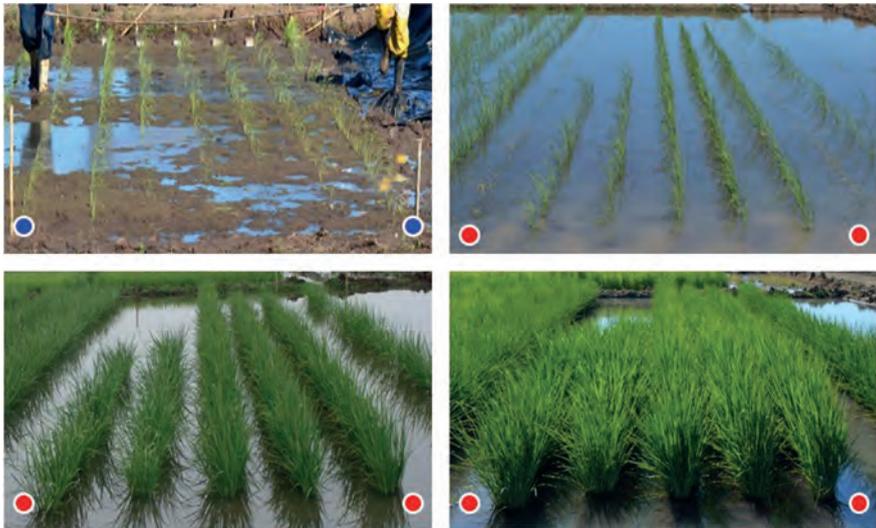


Figura 3.1. Estrategia de desarrollo de las líneas experimentales Clearfield en arroz.

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

En la temporada 2014-2015, para verificar la resistencia al herbicida a nivel de campo, en las líneas experimentales RC3 y RC4, se les aplicó el herbicida Euro-lightning en dosis de  $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ , al estado de 2 a 4 hojas y sin lámina de agua. La lámina de agua se restableció a las 48 horas, posterior a la aplicación.

La evaluación de la resistencia del herbicida en las líneas Clearfield se realizó a los siete (7), 14 y 21 días después de la aplicación del herbicida Eurolightning (IMI). Los resultados indicaron que todas las líneas evaluadas no presentaron ningún síntoma de fitotoxicidad. Sin embargo, las plantas de Zafiro-INIA presentaron los primeros síntomas de clorosis y necrosis a los siete (7) días, lo que continuó con la necrosis y muerte total de las plantas entre los 14 y 21 días (Foto 3.1.). Estos resultados indicaron claramente que las líneas experimentales Cl poseían el gen de resistencia.



**Foto 3.1.** Evaluación de líneas experimentales clearfield en San Carlos. Puntos azules indican la hilera con plántulas de Zafiro-INIA durante la aplicación de Eurolightning y los puntos rojos indican las hileras sin Zafiro-INIA, debido a que no posee el gen de resistencia del herbicida IMI.



## **Evaluación agronómica y de calidad de Digua Cl**

Durante las temporadas 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018 se evaluaron 24 líneas experimentales ZCl-RC4 y ZCl-RC3, en San Carlos, Parral y Linares, considerando Zafiro-INIA como testigo. Esta información permitió seleccionar una línea experimental que posteriormente se le dio el nombre comercial de Digua Cl.

A continuación se presenta un resumen de los resultados agronómicos más importantes obtenidos por Digua Cl en comparación a la variedad comercial Zafiro-INIA.

### **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. Las características de cada tipo de grano de arroz que se comercializa en el país está descrito en la Norma Chilena de Comercialización del Arroz, publicada por el Instituto de Normalización Nacional, INN (NCh 2033.Of2003; NCh 1359.Of2003; NCh 1375.Of88).

### **Relación largo-ancho**

La Norma Chilena de Comercialización del Arroz indica que el arroz largo-ancho debe tener una relación largo/ancho menor a 3,0. El análisis de los datos obtenidos en tres temporadas evaluadas en ensayos de campo en las tres localidades representativas de la zona arroceras del país señala que la variedad Digua Cl posee un grano largo-ancho, según la Norma Chilena de Comercialización del Arroz. El tipo de grano de Digua Cl es similar a la variedad comercial Zafiro-INIA (Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.1.** Relación largo-ancho de Digua Cl comparada con el testigo comercial Zafiro-INIA.

Genotipos	2015-2016		2016-2017			2017-2018		
	San Carlos	Parral	San Carlos	Parral	Linares	San Carlos	Parral	Linares
Digua Cl	2,9 a	2,9 a	2,9 a	2,9 a	2,9 a	2,8 a	2,8 a	2,9 a
Zafiro-INIA	2,9 a	2,9 a	2,8 a	2,8 a	2,9 a	2,8 a	2,7 a	2,8 a
CV (%)	2,6	3,6	0,8	3,4	1,7	2,9	3,1	2,9

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores dentro de una localidad por cada temporada (test LSD,  $P < 0,05$ ). CV, corresponde al coeficiente de variación por localidad.

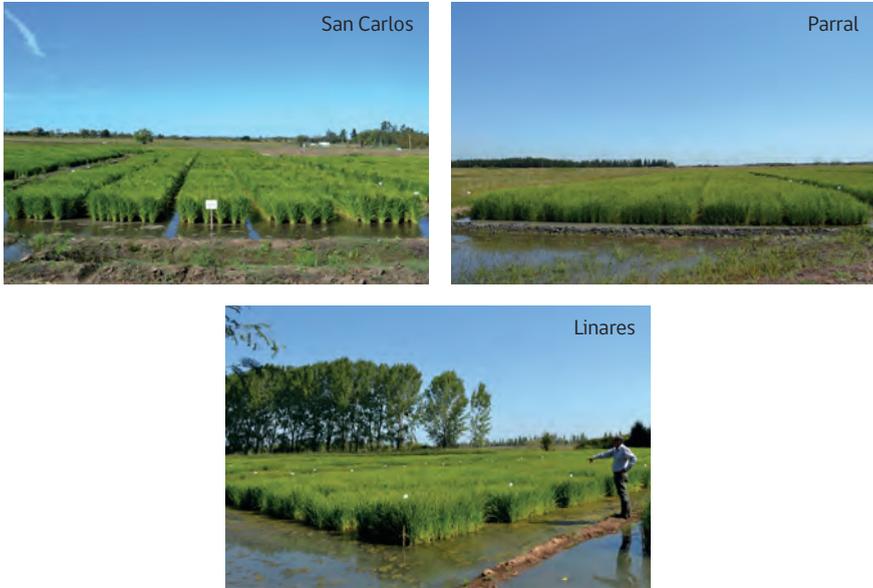
## 2. Rendimiento en grano ( $\text{qqm ha}^{-1}$ )

Durante las tres temporadas y localidades evaluadas no hubo diferencias significativas en el rendimiento en grano paddy entre Digua Cl y el testigo Zafiro-INIA (Cuadro 3.2., Foto 3.2.).

**Cuadro 3.2.** Rendimiento en grano ( $\text{qqm ha}^{-1}$ ) de Digua Cl comparada con el testigo comercial Zafiro-INIA.

Genotipos	2015-2016		2016-2017			2017-2018		
	San Carlos	Parral	San Carlos	Parral	Linares	San Carlos	Parral	Linares
Digua Cl	124,7 a	162,2 a	107,5 a	95,4 a	113,8 a	102,4 a	112,9 a	110,7 a
Zafiro-INIA	136,3 a	149,0 a	117,0 a	100,2 a	122,1 a	98,9 a	109,5 a	115,0 a
CV (%)	12,9	6,4	11,7	17,7	12,8	9,8	12,7	6,8

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores dentro de una localidad por cada temporada (test LSD,  $P < 0,05$ ). CV, corresponde al coeficiente de variación por localidad.



**Foto 3.2.** Evaluación de líneas experimentales ZCL-BC4 en San Carlos, Parral y Linares. 2017-2018.

### **Rendimiento Industrial: Grano entero (%)**

La calidad industrial es una característica muy importante en la producción y comercialización del arroz ya que es considerada en el precio del producto pagado por la industria y también por los consumidores.

En las tres temporadas y localidades evaluadas Digua Cl y Zafiro-INIA tampoco presentaron diferencias significativas en el porcentaje de grano entero (Cuadro 3.3).

**Cuadro 3.3.** Grano entero (%) de Digua Cl comparada con el testigo comercial Zafiro-INIA.

Genotipos	2015-2016		2016-2017			2017-2018		
	San Carlos	Parral	San Carlos	Parral	Linares	San Carlos	Parral	Linares
Digua Cl	67,6 a	62,1 a	68,5 a	68,0 a	64,4 a	64,4 a	64,5 a	63,5 a
Zafiro-INIA	67,2 a	61,1 a	66,9 a	68,2 a	63,3 a	63,7 a	63,8 a	63,4 a
CV (%)	3,5	4	2,3	1,8	7,3	0,76	1,4	3,4

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores dentro de una localidad por cada temporada (test LSD,  $P < 0,05$ ). CV, corresponde al coeficiente de variación por localidad.

La estrategia de trabajo utilizada permitió cumplir con el objetivo planteado: Obtener una nueva variedad de arroz 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 la Imidazolinonas.

Los resultados obtenidos permiten indicar que la variedad Digua Cl posee un rendimiento y calidad industrial (porcentaje de grano entero) similar a Zafiro-INIA en las tres localidades y tres años valuados. La gran ventaja de Digua Cl es que tiene resistencia a los herbicidas de la familia de las Imidazolinonas.

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

Digua Cl posee un grano de color marrón claro, fusiforme y traslúcido después de su elaboración. La altura de planta es de 85-106 cm. Tiene un período de siembra a cosecha de 160 días, 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.

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



**4. Presencia de enfermedades:** No se observaron presencia de enfermedades ni plagas.

## Conclusión

Digua Cl, es la primera variedad de arroz *japonica templado*, de grano largo-ancho resistente al herbicida de las imidazolinonas desarrollada en el país.

Digua Cl tiene un alto potencial de rendimiento de grano, una alta calidad industrial, es resistente a la tendadura y tiene una tolerancia al frío similar a la variedad Zafiro-INIA en la etapa de germinación y plántula. En relación a la tolerancia al frío en la etapa reproductiva, se puede esperar niveles de esterilidad floral (polen) y apical (óvulo), dependiendo de las condiciones climáticas imperantes en la zona.

Respecto a la tolerancia al frío en la etapa reproductiva en condiciones controladas (25°C día/ 5°C noche por cinco días seguidos), se pudo observar niveles de esterilidad floral superiores a 80% y 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 Cl fluctuó entre 17 a 24% y fue similar a lo observado en Zafiro-INIA. Además, el rendimiento en grano de Digua Cl fue similar a Zafiro-INIA en las diferentes fechas de siembra evaluadas (73 -102 qqm ha<sup>-1</sup>).

## Recomendaciones

1. **Semilla certificada:** Siembre cada vez semilla certificada. No se recomienda guardar de una temporada a otra.
2. **Zona de siembra:** Se recomienda su siembra en toda la zona arrocera desde Linares a San Carlos.
3. **Época de siembra:** la época de siembra recomendada es entre el 1 al 20 de octubre.

## Capítulo 4

# Época de siembra de la variedad Digua Cl

**Gabriel Donoso Ñ.**

**Mario Paredes C.**

**Viviana Becerra V.**

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 arrocerá (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 diferentes escenarios de siembra. Por ello, durante las temporadas 2016–2017 y 2017–2018, se realizaron ensayos en los campos de San Carlos y Parral, con el fin de determinar la fecha óptima de siembra de la variedad Digua Cl, utilizando como testigo la variedad comercial Zafiro–INIA. Los resultados de las evaluaciones son descritos a continuación.

### **San Carlos, temporada 2016–2017**

Los ensayos se realizaron en cinco fechas de siembra diferentes: 24 de septiembre, 10 de octubre, 23 de octubre, 6 de noviembre y 20 de noviembre. En todas las evaluaciones dentro de esta localidad no se observaron diferencias significativas de los rendimientos en grano entre las variedades evaluadas. En el caso de la variedad Digua Cl, se observó una disminución en los rendimientos, en siembras realizadas a fines de septiembre y fines de noviembre (Figura 4.1.A). Por otro lado, siembras realizadas en octubre mostraron rendimientos sobre los 80 qqm ha<sup>-1</sup>. Tanto la variedad comercial Zafiro–INIA como la nueva variedad Digua Cl mostraron rendimientos inferiores a 75 qqm ha<sup>-1</sup> cuando la siembra fue realizada a fines de noviembre. Respecto a la esterilidad floral, no se encontró diferencias significativas para la evaluación de la esterilidad floral



entre fechas de siembra o variedades, con niveles promedio entre 20 a 39%.

### **Parral, temporada 2016–2017**

En Parral, la variedad Digua Cl tuvo rendimientos máximos entre 90 a 115 qqm ha<sup>-1</sup> cuando se sembró entre fines de septiembre y fines de octubre (Figura 4.1.B.). Una situación similar fue observada en el caso de la variedad comercial Zafiro INIA con rendimientos entre 90 y 120 qqm ha<sup>-1</sup>. Cuando las siembras se realizaron en noviembre, los rendimientos en grano disminuyeron considerablemente bajo los 80 qqm ha<sup>-1</sup> para ambas variedades. Respecto a la esterilidad floral, no se observaron diferencias significativas entre las diferentes fechas de siembra y entre las variedades evaluadas, y los niveles estuvieron entre 17 y 24%.

### **San Carlos, temporada 2017–2018**

En la localidad de San Carlos, los rendimientos en grano de Zafiro-INIA y Digua Cl, fueron similares las primeras cuatro fechas de siembra (80–110 qqm ha<sup>-1</sup>) (Figura 4.1.C.). Solamente se observó una disminución de los rendimientos en la última fecha de siembra con cerca de 50 qqm ha<sup>-1</sup>. Respecto a la esterilidad floral, en general fue menor a 20%, y se observó un incremento de rendimiento en la variedad Digua Cl, durante la última fecha de siembra (30%), el cual no fue estadísticamente significativo. Esto no influyó en los rendimientos respecto a la variedad Zafiro-INIA sembrada en la misma fecha.

### **Parral, temporada 2017–2018**

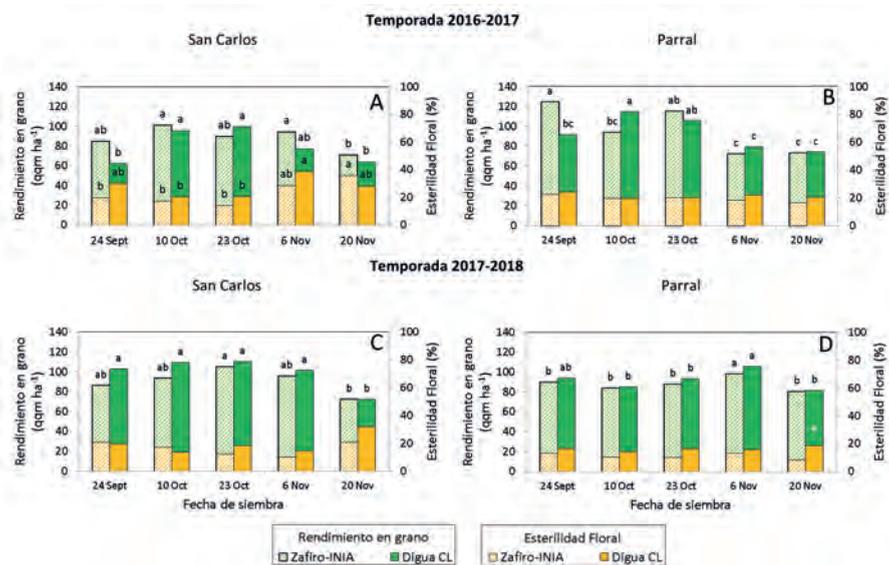
En la localidad de Parral, se observó un aumento en los rendimientos en grano en siembras realizadas la primera semana de noviembre la cual fue un 15% superior respecto a los rendimientos observados en el resto de las fechas de siembra (Figura 4.1.D.). El rendimiento observado en las cuatro fechas de siembra restantes fueron similares, cuyo valor fue cercano a los 87 qqm ha<sup>-1</sup>. Finalmente, respecto a la esterilidad floral, se observó un leve incremento en la variedad Digua Cl, en la última fecha de siembra. Este incremento no disminuyó el rendimiento, comparado con la variedad testigo Zafiro-INIA sembrada en la misma fecha.

## Conclusiones

Los rendimientos en grano en el cultivo del arroz en Chile son dependientes de la fecha de siembra. A su vez, la fecha de siembra es altamente dependiente de la localidad y de la temporada.

Debido a que la variedad Digua Cl tiene un comportamiento agronómico similar a la variedad comercial Zafiro INIA, se recomiendan las mismas fechas de siembra en San Carlos y Parral, es decir, entre el 1 y 20 de octubre. Posterior a estas fechas, el agricultor puede perder al menos un 30% de rendimiento en grano de su producción.

El uso de una fecha de siembra adecuada, favorece que la planta de arroz complete la etapa de floración en fechas donde, normalmente, se encuentran los máximos niveles de temperatura y radiación solar. En cambio, fechas de siembras tardías (noviembre), favorecen el retraso de la floración hasta febrero, donde tanto las temperaturas como la radiación solar, comienzan a disminuir, lo cual afecta el rendimiento.



**Figura 4.1.** Rendimiento en grano y esterilidad floral de la variedad Digua Cl. Letras diferentes sobre la barra, indican diferencias de rendimientos en grano o esterilidad, entre las fechas de siembra estudiadas (LSD Fisher;  $P < 0.05$ ). El asterisco (\*) corresponde a diferencias entre las variedades (LSD Fisher;  $P < 0.05$ ).



## Capítulo 5

# Tolerancia a frío de la variedad de arroz Digua Cl

**Gabriel Donoso Ñ.**

**Mario Paredes C.**

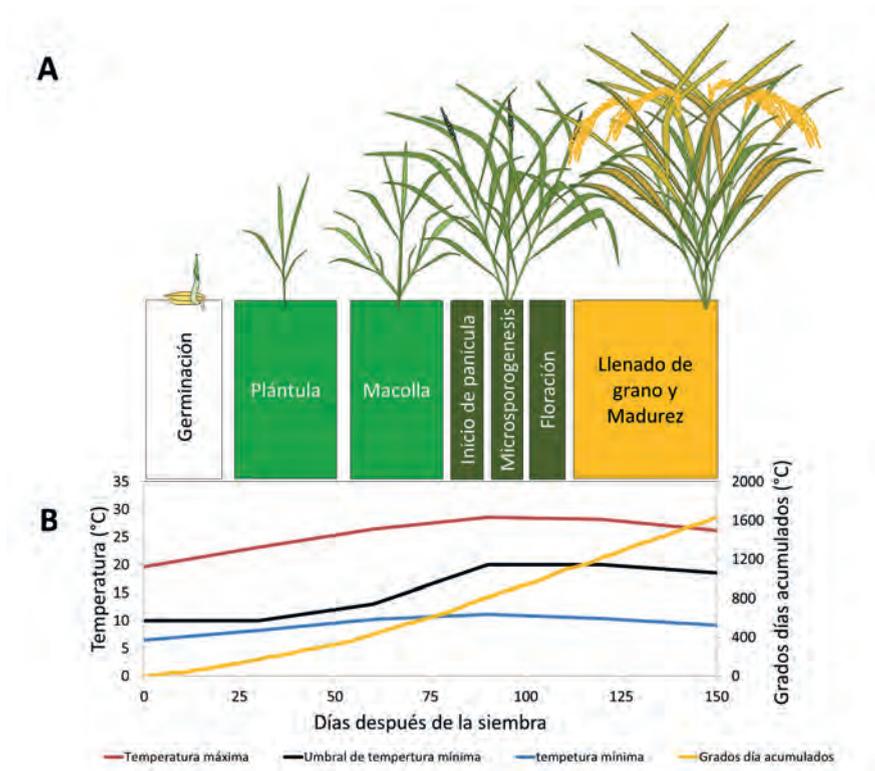
**Viviana Becerra V.**

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 US\$23 millones en países como Australia (Farrell *et al.*, 2001). En nuestro caso, 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 5.1., se muestran los promedios de temperaturas mínimas de 40 años, en el sector más austral de la zona arrocería 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 coleoptilo durante la germinación (Da Cruz *et al.*, 2006; Donoso *et al.*, 2013), crecimiento poco uniforme 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 pérdidas económicas (Alvarado, 2007). Estas pérdidas económicas están asociadas a los costos de producción y pueden ascender a los 1.2 millones de pesos por hectárea (ODEPA, 2015).



**Figura 5.1.** Fenología del arroz y temperaturas presentes en el sector arrocero de Chile. (A) diferentes etapas fenológicas del cultivo del arroz en Chile y (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 como en acumulación de grados-día (base 10°C) (datos obtenidos de estación meteorológica de la Universidad de Concepción, sede Chillán).

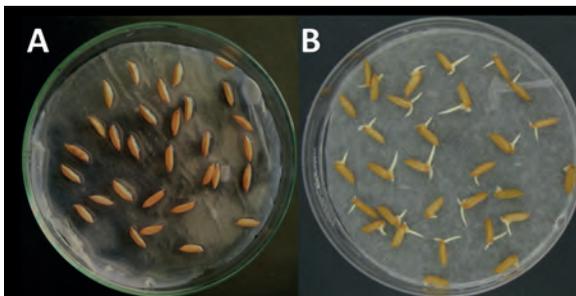


## Tolerancia al frío de la variedad Digua Cl

Debido a que las nuevas variedades de arroz que se generan para nuestro país deben contar con niveles de tolerancia a bajas temperatura, al estado de germinación, plántula y estado reproductivo. La nueva variedad de arroz Digua Cl fue evaluada respecto a su tolerancia al frío en las tres etapas críticas, en condiciones de laboratorio.

### Etapas de Germinación

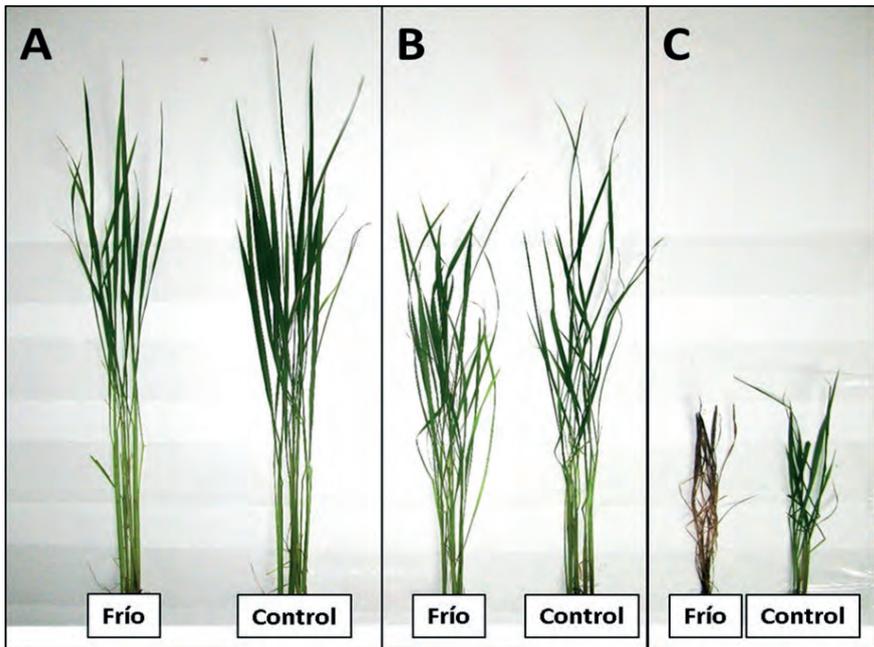
Se evaluó la capacidad de germinar la semilla a 12°C constante durante 20 días en una incubadora. Para ello, se utilizó como testigo la variedad Zafiro-INIA, la línea experimental tolerante al frío, Quila 66304 y la variedad susceptible al frío, Oryzica 1. Se consideró como tolerantes al frío los genotipos con una germinación superior a 60%. Los resultados mostraron que, tanto la variedad Zafiro-INIA como la nueva variedad Digua Cl, pueden ser consideradas como tolerantes al frío, basado en la elongación del coleoptilo (Foto 5.1. y Cuadro 5.1.). Esto se ve reflejado en que el genotipo tolerante al frío, Quila 66304 y las variedades estudiadas, tuvieron un porcentaje de germinación superior al 90%, a diferencia de la variedad susceptible Oryzica 1 que no logró germinar en el tiempo establecido.



**Foto 5.1.** Germinación en condiciones de bajas temperaturas de la variedad de arroz Digua Cl. (A) variedad sensible a frío Oryzica 1 y (B) nueva variedad Digua Cl. Tratamiento de 12°C por 20 días.

## Etapa de Plántula

Para la evaluación de la tolerancia al frío en la etapa de plántula de la variedad Digua Cl se utilizaron plántulas de tres a cuatro hojas, las que se sometieron a 5° C durante la noche (12 h), en una cámara bioclimática, por cuatro días seguidos. Durante el día las plantas fueron iluminadas con iluminación LED (Valoya B200), con 300 mmoles de fotones · m<sup>-2</sup> · seg<sup>-1</sup> y a 25° C. La recuperación de las plantas se realizó a 21 °C noche / 25 °C día por 7 días y posteriormente se evaluaron los niveles de clorofila mediante clorofilómetro (AtLEAF), el cual se relaciona con el color verde de la hoja. El testigo tolerante fue la variedad Zafiro INIA y el testigo sensible al frío fue la variedad Oryzica 1. Los resultados obtenidos mostraron que la variedad susceptible no sobrevivió el tratamiento y presentó una importante disminución del contenido de clorofila al momento de la evaluación (Foto 5.2. y Cuadro 5.1.). En cambio, la variedad Digua Cl no mostró una disminución importante en sus niveles de clorofila al ser comparado con el control sin frío y con la variedad Zafiro INIA.

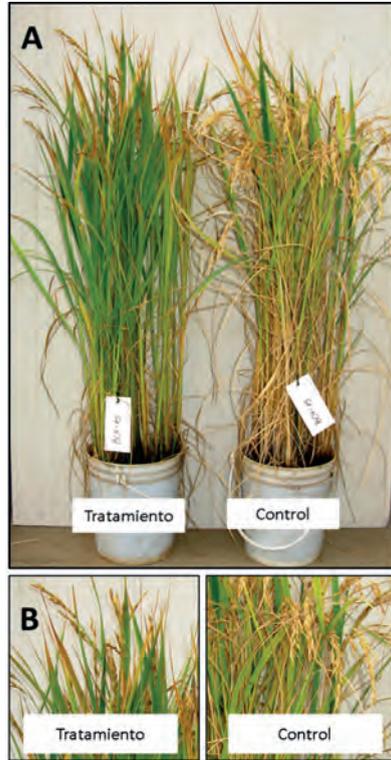


**Foto 5.2. Efecto del tratamiento de frío en el desarrollo de las plántulas de arroz.** (A) Digua Cl, (B) Zafiro-INIA (testigo comercial) y (C) Oryzica 1 (susceptible al frío). Las plantas tratadas con bajas temperaturas están a la izquierda dentro de cada variedad.



## Reproductiva

La evaluación de la tolerancia en la etapa reproductiva de la variedad Digua Cl, se realizó utilizando Zafiro-INIA (testigo comercial), PT 11 (testigo susceptible) y PT 12 (testigo tolerante) en maceteros plásticos de 10 L con suelo arrocero (Vertisol), en casa de malla con un 36 % de reducción de luz. Las plantas fueron crecidas en estas condiciones hasta el estado reproductivo (microsporangénesis). El tratamiento consistió en someter plantas de arroz en la etapa de microspora temprana, a temperaturas de 25°C día/ 5°C noche, por cinco días seguidos, con un fotoperiodo de 16 horas (luz LED, Valoya AP67). Esto fue realizado 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 Cl al igual que Zafiro-INIA, lograron producir grano en estas condiciones. Sin embargo, mostraron niveles de tolerancia al frío inferior al testigo tolerante, PT 12 (Cuadro 5.1). En la fotografía se muestra el efecto del tratamiento de bajas temperaturas que se relaciona con un retardo en la fenología lo cual se observa como una planta más verde en el tratamiento respecto al control la cual tiene una coloración más amarillenta, debido al proceso de madurez más avanzado (Foto 5. 3.). Además, se observa que las panículas de la planta control tienden a caer por el peso de los granos a diferencia de las panículas del tratamiento, que debido a la menor presencia de granos posee panículas más erectas. Otro fenómeno observado después del tratamiento fue la aparición de esterilidad apical producto de aborto pre-floral (Foto 5.4.). Esto fue observado tanto en Zafiro-INIA como en la variedad Digua Cl, con un 20% de flores afectadas por panícula aproximadamente.



**Foto 5.3.** Efecto del tratamiento de bajas temperaturas en la nueva Variedad Digua Cl. (A) planta completa y (B) vista en detalle de las panículas.



**Foto 5.4.** Esterilidad apical, fenómeno observado con mayor intensidad en la línea experimental ZCL-RC4-1.



A continuación se presentan un resumen con los principales resultados obtenidos en las evaluaciones de tolerancia a frío, en condiciones controladas de la variedad Digua Cl en comparación con testigos tolerantes y susceptibles en los diferentes estados de desarrollo de la planta (Cuadro 5.1.).

**Cuadro 5.1.** Principales resultados de la evaluación de la tolerancia al frío de la variedad Digua Cl.

Genotipos		Etapa de desarrollo		
		Germinación	Plántula	Reproductiva
		Germinación (%)	Clorofila (%)*	Esterilidad Floral (%)
Digua Cl		98 a	98 a	80 b
Zafiro-INIA	Testigo Comercial	97 a	98 a	90 b
Quila 66304	Tolerante	95 a	-	-
Susan	Tolerante	-	100 a	-
PT 12	Tolerante	-	-	72 a
Oryzica 1	Susceptible	0 b	48 b	-
PT 11	Susceptible	-	-	98 c

Letras diferentes corresponden a diferencias significativas por etapa de desarrollo (LSD Fisher;  $P < 0.05$ ). (\*) En el caso de la medición de clorofila foliar, se refiere respecto al control sin tratamiento.

## Conclusiones

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

## Capítulo 6

# Nutrición y fertilización de arroz de la variedad Digua Cl en siembra directa

Juan Hirzel C.

Mario Paredes C.

Viviana Becerra V.

Gabriel Donoso Ñ.

El manejo de nutrientes en el cultivo de arroz está entre los cinco factores de mayor importancia, dado que permite generar potencial de rendimiento, afecta el ciclo vegetativo y reproductivo del cultivo, e interactúa con otros factores de manejo como el control de malezas. Por ejemplo, errores en el manejo del nitrógeno podrían reducir el potencial de rendimiento cuando la dosis es menor a la necesidad del cultivo en determinados ambientes, o extender el periodo vegetativo con menor producción de grano y problemas de esterilidad, cuando la dosis usada es excesiva. Además, la adecuada parcialización de la fertilización nitrogenada permite optimizar el uso de este nutriente logrando una mayor eficiencia agronómica de uso (kg de grano producido por kg de nitrógeno aplicado), permite también reducir el riesgo de contaminación ambiental, y mejorar la rentabilidad del cultivo.

Respecto a otros nutrientes como fósforo, potasio, y microelementos, diversos trabajos realizados en sistemas de siembra tradicional (cultivo inundado desde la siembra) han demostrado una baja respuesta a la fertilización con fósforo y potasio o al encalado, y en ocasiones respuesta a la aplicación foliar de boro y zinc.

La mayor parte de los agricultores siembra el arroz bajo el sistema inundado con semilla pre-germinada. Actualmente, casi un 15% de agricultores están realizando la siembra directa, con humedad suficiente para la germinación y luego mediante riegos se mantiene la planta con humedad, hasta el estado de 3-4 hojas donde se comienza con la lámina de agua. La dosis de la semilla debe fluctuar entre 100 a 120 Kg ha<sup>-1</sup>.



Para un sistema de cultivo de siembra directa se presentan diferencias en la dinámica de algunos nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, básicamente asociado a reacciones de óxido-reducción de la materia orgánica del suelo y de elementos oxido-reducibles. Por ejemplo, en sistemas de siembra tradicional ocurren reacciones químicas que liberan fósforo nativo desde el suelo y que se hace disponible al cultivo, lo cual reduce la respuesta al fósforo. Del mismo modo, la mineralización de la materia orgánica en un ambiente inundado es mayor que en ambientes aeróbicos, aumentando la entrega natural de nitrógeno desde las reservas del suelo, con menor respuesta a la fertilización nitrogenada. Es decir, en sistemas de siembra convencional de arroz es menor la necesidad de nitrógeno y fósforo para potenciar el rendimiento, en tanto que en sistemas de siembra en seco los aportes naturales de nitrógeno y fósforo desde las reservas del suelo son menores, por tanto se puede requerir de una mayor necesidad de fertilizantes nitrogenados y fosforados para potenciar el rendimiento del cultivo.

En consecuencia, para un sistema de siembra de arroz en siembra directa se debe realizar evaluaciones de respuesta a la fertilización, dado que los antecedentes que existen para sistemas de siembra convencional podrían no ser replicables a este nuevo sistema de siembra del cultivo. Para ello, durante 2 temporadas consecutivas y en 2 localidades de cultivo representativas de las condiciones de producción de arroz en Chile, se efectuaron experimentos de fertilización con dosis crecientes de fósforo (Figura 6.1.), potasio (Figura 6.2.), nitrógeno (Figura 6.3.), enclado (Figura 6.4.), y de aplicaciones de boro y zinc en los estados de plena macolla o floración (Figura 6.5.).

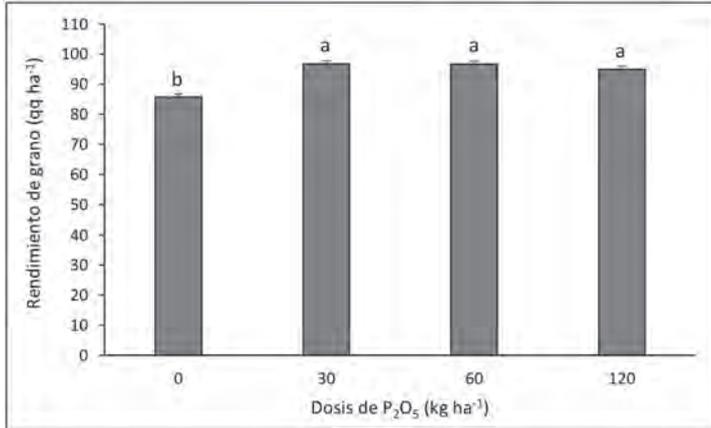
En todos los casos la modalidad de cultivo fue siembra directa, con aplicación de todos los fertilizantes al momento de la siembra, excepto el nitrógeno, el cual fue parcializado en 3 momentos del cultivo: 33% al momento de siembra, 33% al inicio de macolla (30 a 35 días después de realizada la siembra y 34% al inicio de panícula (55 a 60 días después de haber realizado la siembra). Para el experimento de enclado, el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) fue aplicado 15 días antes de la siembra del cultivo. Para los experimentos de aplicación foliar de Zinc y Boro, los productos fueron aplicados en forma individual o combinando ambos productos en los momentos de plena macolla o inicio de floración. Las dosis empleadas para las aplicaciones foliares de Boro y Zinc fueron de  $1 \text{ L ha}^{-1}$ , empleando los productos Defender Zinc y Defender Boro.

Los experimentos de fertilización fueron cinco en ambas localidades y temporadas, los cuales se detallan a continuación;

1. Respuesta al Fósforo: Se evaluaron 4 dosis de  $P_2O_5$ ; 0 - 30 - 60 - 120  $kg\ ha^{-1}$ . Con dosis constante de N (120  $kg\ ha^{-1}$ ) y  $K_2O$  (60  $kg\ ha^{-1}$ ). Cada tratamiento contó con 3 repeticiones.
2. Respuesta al Potasio: Se evaluaron 4 dosis de  $K_2O$ ; 0 - 30 - 60 - 120  $kg\ ha^{-1}$ . Con dosis constante de N (120  $kg\ ha^{-1}$ ) y  $P_2O_5$  (60  $kg\ ha^{-1}$ ). Cada tratamiento contó con 3 repeticiones.
3. Respuesta al Nitrógeno: Se evaluaron 5 dosis de N; 0 - 40 - 80 - 120 - 160  $kg\ ha^{-1}$ . Con dosis constante de  $P_2O_5$  (60  $kg\ ha^{-1}$ ) y  $K_2O$  (60  $kg\ ha^{-1}$ ). Cada tratamiento contó con 3 repeticiones.
4. Respuesta al encalado: Se evaluaron 3 dosis de  $CaCO_3$ ; 0 - 2.000 - 4.000  $kg\ ha^{-1}$ . Con dosis constante de N (120  $kg\ ha^{-1}$ ),  $P_2O_5$  (60  $kg\ ha^{-1}$ ) y  $K_2O$  (60  $kg\ ha^{-1}$ ). Cada tratamiento contó con 3 repeticiones.
5. Respuesta a la aplicación foliar de Zinc y Boro: Se evaluó la aplicación de Zinc o Boro al estado de Macolla y al estado de Floración, como también la aplicación combinada de ambos elementos al estado Macolla y al estado de Floración. Con dosis constante de N (120  $kg\ ha^{-1}$ ),  $P_2O_5$  (60  $kg\ ha^{-1}$ ) y  $K_2O$  (60  $kg\ ha^{-1}$ ). Cada tratamiento contó con 3 repeticiones.

Para facilitar el análisis de la información generada y considerando que los experimentos de fertilización fueron realizados durante 2 temporadas consecutivas y en 2 localidades, los resultados obtenidos fueron analizados de forma combinada incluyendo temporadas y localidades, con el objetivo de tener una visión global del efecto de la aplicación de cada nutriente en diferentes dosis, y generar una recomendación de fertilización de utilidad para los agricultores.

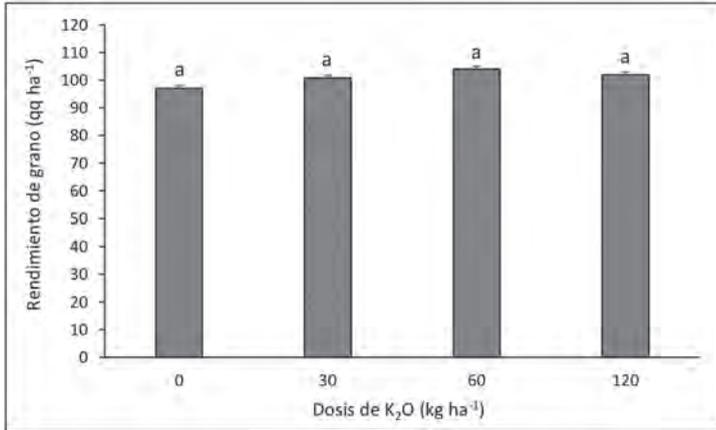
Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras 6.1., 6.2., 6.3., 6.4. y 6.5.; y Fotos 6.1., 6.2., 6.3. y 6.4. para los experimentos de fertilización fosforada, potásica, nitrogenada, encalado y fertilización foliar con Zinc y Boro, respectivamente.



**Figura 6.1.** Respuesta de la variedad de arroz Digua Cl a la fertilización fosforada. Promedio de 2 temporadas (2016-17 y 2017-18) y 2 localidades (Parral y San Carlos). n = 48. Letras distintas sobre las columnas indican diferencia significativa según test de Tukey ( $p < 0.05$ ). Las barras sobre las columnas indican el error estándar de la media.



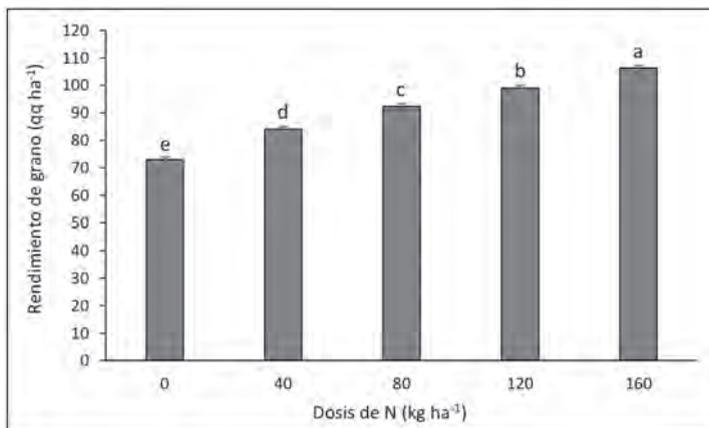
**Foto 6.1.** Ensayo de fertilización fosforada en la variedad de arroz Digua Cl. Parral, Temporada 2016-2017.



**Figura 6.2.** Respuesta de la variedad de arroz Digua Cl a la fertilización potásica como promedio de 2 temporadas (2016-17 y 2017-18) y 2 localidades (Parral y San Carlos). n = 48. Letras distintas sobre las columnas indican diferencia significativa según test de Tukey ( $p < 0.05$ ). Las barras sobre las columnas indican el error estándar de la media.



**Foto 6.2.** Ensayo de fertilización potásica en la variedad de arroz Digua Cl. Parral, Temporada 2016-2017.

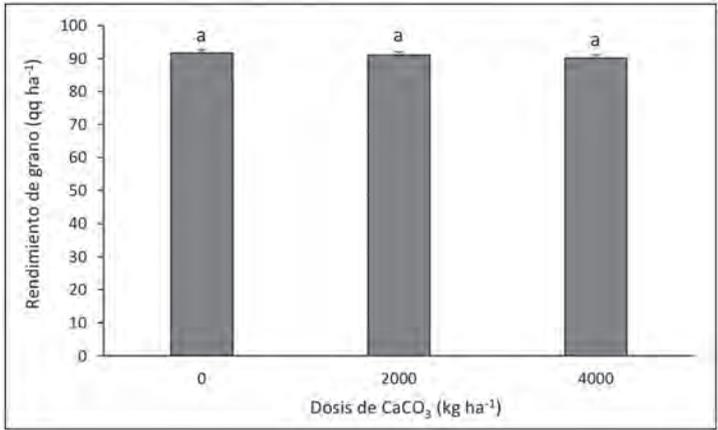


**Figura 6.3.** Respuesta de la variedad de arroz Digua Cl a la fertilización nitrogenada como promedio de 2 temporadas (2016-17 y 2017-18) y 2 localidades (Parral y San Carlos). n = 180.

Letras distintas sobre las columnas indican diferencia significativa según test de Tukey ( $p < 0.05$ ). Las barras sobre las columnas indican el error estándar de la media.

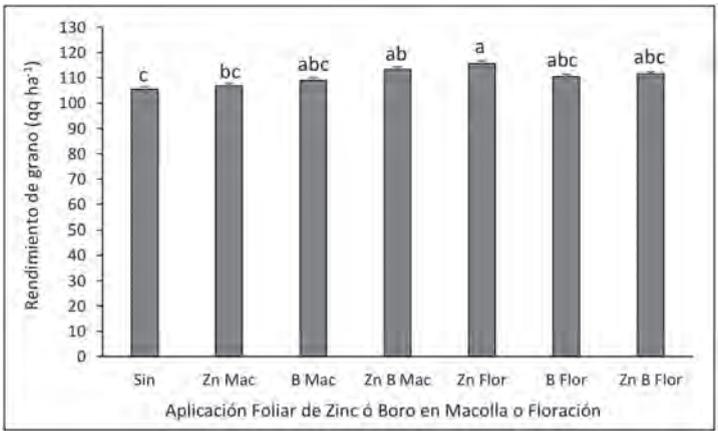


**Foto 6.3.** Ensayos de fertilización nitrogenada y encalado en la variedad de arroz Digua Cl. Parral, Temporada 2017-2018.



**Figura 6.4.** Respuesta de la variedad de arroz Digua Cl a la aplicación de Carbonato de Calcio como promedio de 2 temporadas (2016-17 y 2017-18) y 2 localidades (Parral y San Carlos). n = 180.

Letras distintas sobre las columnas indican diferencia significativa según test de Tukey (p<0.05). Las barras sobre las columnas indican el error estándar de la media.



**Figura 6.5.** Respuesta de la variedad de arroz Digua Cl a la aplicación foliar de Zinc y Boro, como elemento individual o combinados, en los estados de Macolla (Mac) o Floración (Flor) como promedio de 2 temporadas (2016-17 y 2017-18) y 2 localidades (Parral y San Carlos). n = 84.

Letras distintas sobre las columnas indican diferencia significativa según test de Tukey (p<0.05). Las barras sobre las columnas indican el error estándar de la media.



**Foto 6.4.** Ensayo de fertilización en variedad de arroz Digua Cl con aplicación foliar de Zinc y Boro. Parral, Temporada 2016-2017.

## Conclusión

Los resultados obtenidos indican que la variedad de arroz Digua Cl presentó respuesta al Nitrógeno, Fósforo y aplicación foliar de Zinc en floración o de Zinc + Boro en Macolla. Si bien no hubo respuesta al Potasio y al encalado, se sugiere la aplicación de una dosis de mantenimiento de potasio (reposición de la extracción del grano de arroz para evitar la pérdida de fertilidad del suelo) de 25 a 30  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (40 a 50  $\text{kg ha}^{-1}$  de Muriato de Potasio) y la aplicación de encalado en dosis de 2.000  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  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.

## Recomendación general

La recomendación de fertilización para la variedad de arroz Digua Cl que se genera con los resultados obtenidos en estos experimentos es la siguiente:

### **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 como fertilizante, ó 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.

### **Inicio de Macolla:**

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

### **Plena Macolla:**

- ✓ Aplicación foliar de Zinc + Boro en dosis de 1 Lt ha<sup>-1</sup> de producto comercial de cada elemento (ejemplo; 1 Lt de Defender Zinc + 1 Lt de Defender Boro, ó 1 Lt de Nutri Zinc + 1 Lt 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).



## Capítulo 7

# Interacción Genotipo por Ambiente

Gabriel Donoso Ñ.

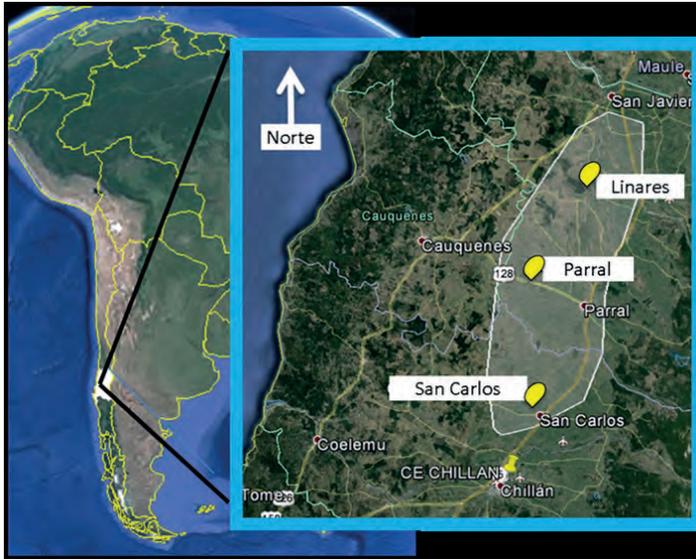
Mario Paredes C.

Viviana Becerra V.

La capacidad de adaptación de una línea experimental de arroz a diferentes zonas geográficas y temporadas agrícolas, es fundamental para una buena selección de una nueva variedad. Por ello, el desarrollo de estudios de interacción de genotipo por ambiente o estudios de comportamiento multi-ambientales de las variedades juega un rol crítico en la sustentabilidad del cultivo del arroz en Chile. Este tipo de evaluaciones, permite encontrar las variedades de arroz estables que tienen un desempeño aceptable dentro de los estándares establecidos para las variedades de arroz en Chile y lo que permite asegurar niveles de rendimiento en grano, independiente del ambiente en el que se desarrolle. Debido a que existen pocos estudios que describen este fenómeno en la zona arroceras de Chile (Donoso *et al.*, 2016), y a que no existía información sobre este aspecto de la nueva variedad de arroz Digua Cl, se estudió la interacción genotipo por ambiente en tres localidades y dos temporadas.

### Estudio de la Interacción genotipo por ambiente

El estudio incluyó a 23 líneas experimentales de arroz más la variedad Zafiro-INIA como testigo comercial y la nueva variedad de arroz Digua Cl, las cuales fueron evaluadas en tres localidades representativas de la zona arroceras (Linares, Parral y San Carlos) (Figura 7.1. ), durante las temporadas 2016-2017 y 2017-2018. El sistema de siembra utilizado fue la siembra directa y la fecha de siembra fue el 11 de octubre. La fertilización se realizó de acuerdo al análisis de suelo. A la siembra se fertilizó con nitrógeno como urea ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ), potasio como muriato de potasio ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y fósforo como superfosfato triple ( $130 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Posteriormente se aplicó una segunda dosis de nitrógeno a estado de macolla ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y una tercera dosis a inicio de formación de panícula ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Finalmente, la cosecha se realizó durante el mes de marzo.

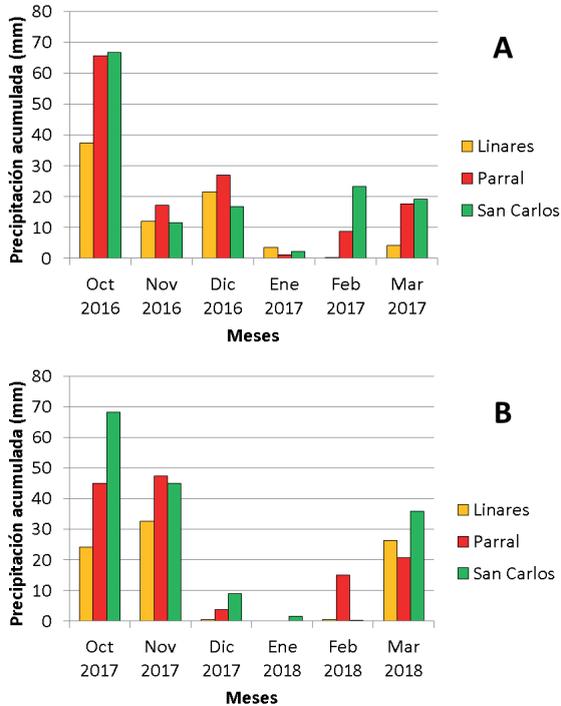


**Figura 7.1.** Ubicación geográfica de los ensayos realizados para la determinación de la interacción genotipo por ambiente. El ensayo se realizó utilizando 25 genotipos de arroz durante las temporadas 2016-2017 y 2017-2018 en las localidades de San Carlos (36°19' S; 71°59' O), Parral (36°2' S; 72°08' O) y Longaví (35°54' S; 71°41' O).

## Estudio climático

### Precipitaciones

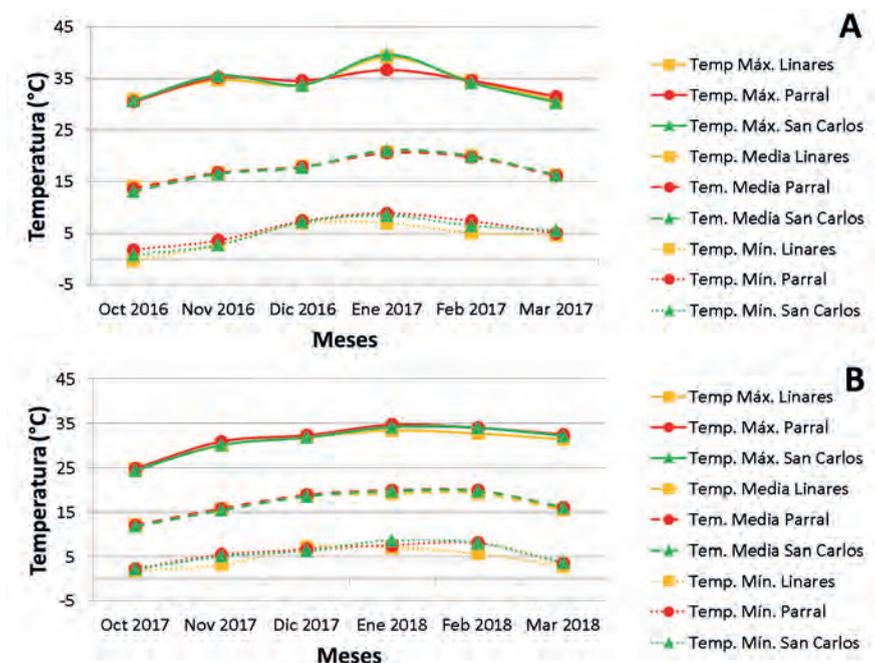
Las condiciones climáticas presentes en las localidades estudiadas durante las temporadas 2016-2017 y 2017-2018 fueron estudiadas. Respecto a las precipitaciones se observó que la mayor parte de ellas ocurre en el mes de Octubre con un máximo cercano a los 70 mm y la menor cantidad de precipitaciones acontece en enero con valores inferiores a los 5 mm (Figura 7.2). En la localidad de Linares se observó una menor cantidad de precipitaciones durante todo el periodo en ambas temporadas y un registro similar de precipitaciones en las localidades de Parral y San Carlos en la temporada 2016-2017. En tanto que en la localidad de Parral se observó un leve incremento en las precipitaciones respecto a la localidad de San Carlos en la temporada 2017-2018, principalmente en los meses de octubre y marzo.



**Figura 7.2.** Precipitaciones registradas en las temporadas arroceras 2016–2107 y 2017–2018, en las localidades de San Carlos, Parral y Linares.

## Temperaturas

Respecto a las temperaturas, se observó que los registros fueron muy similares en las tres localidades. En general, las temperaturas mínimas absolutas en todas las localidades no fueron superiores a los 10°C con mínimas de hasta 0°C (Figura 7.3.). Por otro lado, las temperaturas medias mostraron similitud entre las temporadas con registros que van desde 13 °C a 20°C. Sin embargo, al comparar ambas temporadas, se observó diferencias importantes en las temperaturas máximas en donde el año 2016–2017, se registró incrementos en las temperaturas entre 2°C a 5°C en la mayoría de los meses, respecto a la temporada 2017–2018. En el caso de las temperaturas medias no se observaron mayores diferencias entre las temporadas ni entre las localidades.



**Figura 7.3.** Temperatura mínima absoluta (.....), temperatura media (----) y temperatura máxima absoluta (—). San Carlos (▲); Parral (●), Linares (■). Los datos se obtuvieron de las estaciones meteorológicas automáticas de INIA Chile: “CE Arroz” de San Carlos, “Monte Flor-Tucapel” de Parral y “Santa Amada” de Linares (<http://www.agromet.inia.cl>).

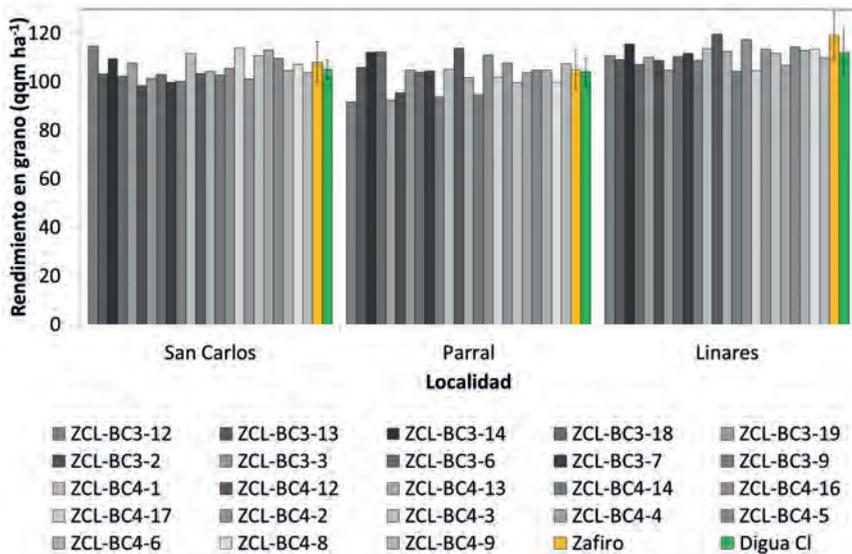
El análisis del rendimiento de todos los genotipos analizados durante las dos temporadas y tres localidades, indicó que todos los genotipos presentaron rendimientos superiores a los 90 qqm ha<sup>-1</sup> (Figura 7.4.). En el caso de la nueva variedad de arroz Digua Cl presentó niveles de rendimiento promedio sobre los 100 qqm ha<sup>-1</sup>, en los tres ambientes analizados. El rendimiento en grano paddy de la variedad Digua Cl, fue estadísticamente similar al obtenido con la variedad testigo Zafiro-INIA.

### Análisis de la interacción genotipo por ambiente

La interacción genotipo por ambiente fue estadísticamente significativa, pero tuvo una baja influencia en los rendimientos en grano (7%). Por otro lado, el ambiente y el genotipo tuvieron una influencia importante en los rendimientos en grano con un 70% y 23 %, respectivamente. Debido a la similitud climática



de ambas zonas, se cree que la influencia del ambiente se debe principalmente a las diferencias en el tipo de suelo. Esto considerando que la localidad de San Carlos tiene principalmente suelos de serie Quella (Vertisol), la localidad de Parral suelos de la serie Parral (Alfisol) y Quella (Vertisol) y la localidad de Linares tiene principalmente suelos de la serie Vaquería (Inceptisol) y Palmilla (Inceptisol). En el caso de la serie Quella posee una estructura granular media y fina con una textura arcillosa. En el caso de la serie Parral posee una estructura granular fina débil con una textura franco arcillosa. En el caso de la serie Vaquería posee una estructura granular fina con una textura franco arenosa. Finalmente, la serie Palmilla posee una estructura granular fina débil con una textura franco limosa.



**Figura 7.4.** Rendimiento en grano (qqm ha<sup>-1</sup>) promedio de genotipos de arroz en dos temporadas (2016-2017 y 2017-2018) y diferentes localidades. Se utilizó Zafiro-INIA (■) como testigo y se evaluó el desempeño de la nueva variedad de arroz Digua Cl (■).

## Conclusiones

Debido a la baja presencia de interacción genotipo por ambiente y a la buena estabilidad del rendimiento de la nueva variedad de arroz Digua Cl en los diferentes ambientes estudiados, se concluye que esta variedad puede ser sembrada en cualquier punto de la zona arrocerá de Chile.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Condiciones agroclimáticas del sector arrocero

- Alvarado, R. 1999. Influence of air temperature on rice population, length of period from sowing to flowering and spikelet sterility. In: J.E. Hill and B. Hardy (Ed). Proceedings of the Second Temperate Rice Conference. Sacramento, California, 63-68.
- Coast, O., Murdoch, A. J., Ellis, R. H., Hay, F. R., Jagadish, K. S. V. 2015. Resilience of rice (*Oryza spp.*) pollen germination and tube growth to temperature stress. *Plant Cell Environ.* 39 26-37.
- Donoso, G., Cabas, P., Paredes, M., Becerra, V., Balzarini, M. 2015. Cold tolerance evaluation of temperate rice (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*) genotypes at the seedling stage. *Gayana Botánica.* 72:1-13.

### Digua CI, primera variedad Clearfield para Chile

- 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.
- NCh 1375.Of88. 1999. Norma Chilena del Instituto Nacional de Normalización. Arroz con cáscara (arroz Paddy) - Métodos de ensayo y análisis.
- NCh 1359.Of2003. 2003. Norma Chilena del Instituto Nacional de Normalización. Arroz pulido - terminología, clasificación y requisitos generales.
- NCh 2033.Of2003. 2003. Norma Chilena del Instituto Nacional de Normalización. Arroz con cáscara (arroz Paddy) - Requisitos.
- Pedreros, A., Ormeño, J., Alvarado, R. 1992. Control de malezas de hoja ancha en arroz. *Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu.* 52:36-39.

### Época de siembra de la variedad Digua CI

- Donoso, G., Paredes, M. 2015. Efecto de las bajas temperaturas en el cultivo del arroz. (18-21p). En: M. Paredes, M., V. Becerra, (eds). *Manual de Producción de Arroz: Buenas Prácticas Agrícolas.* Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 306. 100 p.

### Tolerancia a frío de la variedad de arroz Digua CI

- Alvarado, R., Hernaíz, S. 2007. Variedades, siembra, semilla certificada, dosis de semilla y época de siembra. p. 21-38. En R. Alvarado (ed.) *Arroz Manejo Tecnológico.* Boletín INIA N°162. 180 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación, Chillán, Chile.
- Da Cruz, R., Milach, S.C., Federizzi, L.C. 2006. Inheritance of rice cold tolerance at the germination stage. *Genetics and Molecular Biology* 29: 314-320.
- Da Cruz, R., Sperotto, R., Cargnelutti, D., Adamski, J., de Freitas, T., Fett, J. 2013. Avoiding damage and achieving cold tolerance in rice plants. *Food and Energy Security.* 2:96-119.
- Donoso, G., Paredes M., Arbiza, O., Becerra, V. 2013. Cold tolerance evaluation in Chilean rice genotypes at the germination stage. *Chilean Journal of Agricultural Research.* 73:3-8.



- Donoso, G., M. Paredes, V. Becerra, C. Arrepol, M. Balzarini. 2016. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials of rice produced in a temperate climate. Chilean Journal of Agricultural Research. 72:152-157.
- Donoso, G., Cabas, P., Paredes, M., Becerra, V., Balzarini, M. 2015. Cold tolerance evaluation of temperate rice (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*) genotypes at the seedling stage. Gayana Botánica. 72:1-13.
- 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 and 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. Pp. 109-117 in S. Fukai and J. Basnayake, 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.
- Odepa 2015. <http://www.odepa.gob.cl/costo-de-produccion-de-arroz-region-del-maule>.
- Shimono, H., Okada, M., Kanda, E., Arakawa, I. 2007. Low temperature-induced sterility in rice: evidence for the effects of temperature before panicle initiation. Field Crops Res. 101:221-231.

### **Interacción genotipo por ambiente**

- Donoso, G., Paredes, M., Becerra, V., Arrepol, C., Balzarini, M. 2016. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials of rice produced in a temperate climate. Chilean Journal of Agricultural Research. 72:152-157.

### **Financiamiento de proyectos relacionados**

1. Programa de Arroz-INIA. Mario Paredes, (Investigador Coordinador). Financiamiento: Subsecretaría de Agricultura. Ministerio de Agricultura, (MINAGRI). Gobierno de Chile. 2010-2016.
2. Nuevas estrategias en la generación de variedades de arroz tolerantes a frío y resistentes a herbicidas. Fase I. XVIII Concurso de Proyectos. Mario Paredes (Director), Viviana Becerra (Directora Alterna), Gabriel Donoso, Haroldo Salvo Alvaro Vega, Javier Chilian, Fernando Garrido. Colaboración INIA, CIAT, IRRI. Financiamiento: Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDEF D10I1183, CONICYT, Ministerio de Educación, INIA. Empresas asociadas: Tucapel S.A., Carozzi S.A., BASF-Chile. 2011-2014.
3. Nuevas estrategias en la generación de variedades de arroz tolerantes a frío y resistentes a herbicidas. Fase II. XVIII Concurso de Proyectos. Mario Paredes (Director/Asesor), Viviana Becerra (Directora Alterna/Directora), Gabriel Donoso (Investigador/Director Alterno), Juan Hirzel, Hamil Uribe, Alvaro Vega, Fernando Garrido. Colaboración INIA, CIAT, IRRI. Financiamiento: Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDEF D10E1183, CONICYT, Ministerio de Educación, INIA. Empresas asociadas: Tucapel S.A., Carozzi S.A., BASF-Chile. 2015-2018.

4. Characterization of tolerant and susceptible rice genotypes to low temperatures at the vegetative and reproductive stage: an essential and complementary step for marker assisted selection (MAS) in a rice breeding program. Viviana Becerra (Investigadora Responsable), Mario Paredes, Gabriel Donoso. INIA, CIAT, EMBRAPA, Universidad de Córdoba. Financiamiento: Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDECYT REGULAR N° 1110405, Conicyt, Ministerio de Educación. INIA. 2011-2013.
5. Convenio Apoyo a la competitividad del sector arrocero. Mario Paredes (Inv. Responsable). Financiamiento: Subsecretaría de Agricultura. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. 2012.
6. Convenio MINAGRI-FLAR-FEDEARROZ-FENARROZ. INIA participó como la contraparte técnica del MINAGRI. Mario Paredes, (Investigador Responsable). Financiamiento: Subsecretaría de Agricultura-INIA, Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. 2011-2014.
7. Apoyo a la formación de Redes Internacionales entre Centros de Investigación. Mario Paredes (Investigador Responsable), Viviana Becerra, y otros. Financiamiento: Cooperación Internacional, CONICYT. 2012-2013.
8. Programa de inversiones en el programa de arroz. Mario Paredes (Investigador Responsable). Reforzamiento de programas de investigación. Financiamiento INIA. 2012.
9. Desarrollo de un sistema de riego eficiente y sustentable para el cultivo del arroz en Chile, una estrategia para disminuir la vulnerabilidad de este cultivo frente al cambio climático global". Gabriel Donoso (Investigador Responsable), Mario Paredes, Viviana Becerra, Hamil Uribe, Lorenzo León, Jorge González. FIA, PYT-20178-0190. 2017- 2020.

### **Colaboración Internacional**

- Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego, FLAR, Cali Colombia.
- Programa de Arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali Colombia.
- The International Network for Genetic Evaluation of Rice or INGER. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas.
- Programa de mejoramiento de Arroz: EMBRAPA Frejol y Arroz, Goiania; EMBRAPA Clima Templado y Centro de Recursos Genéticos y Biotecnología (CENARGEN). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, EMBRAPA.
- Temperate Rice Research Consortium (TRRC). Rural Development Administration (RDA) Corea- IRRI. Suwon, Corea. (18 países e instituciones internacionales miembros).



Digua CI

Platino INIA



Publicaciones



Boletín INIA / N° 397  
[www.inia.cl](http://www.inia.cl)



PMGA Temporada 2015-2016