



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**SELECCIÓN DE VARIEDADES DE RADICCHIO (*Cichorium intybus* L.)  
PARA LA ZONA CENTRAL DE CHILE**

Tesis para optar al Grado de  
Magister en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción de Cultivos

**RODRIGO BRAVO VERGÊS**

Directores de Tesis  
RICARDO PERTUZÉ CONCHA  
PAOLA SILVA CANDIA

Profesores consejeros  
CARLOS MUÑOZ SCHICK  
HÉCTOR URIBE MUÑOZ

SANTIAGO DE CHILE

NOVIEMBRE, 2013

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

SELECCIÓN DE VARIEDADES DE RADICCHIO (*Cichorium intybus* L.) PARA LA  
ZONA CENTRAL DE CHILE

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Grado de Magíster en  
Ciencias Agropecuarias, Mención Producción de Cultivos.

**RODRIGO BRAVO VERGÊS**

Calificación

~~(Tesis de grado)~~

DIRECTORES DE TESIS

| Ricardo Pertuzé C., \_\_\_\_\_ Aprobado  
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

| Paola Silva C., \_\_\_\_\_ Aprobado  
Ingeniero Agrónomo, M.S., Dra.

PROFESORES CONSEJEROS

| Carlos Muñoz S., \_\_\_\_\_ Aprobado  
Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph. D.

Héctor Uribe M.,  
| Médico Veterinario, M.S., Ph. D. \_\_\_\_\_ Aprobado

Santiago, Chile  
2013

# ÍNDICE

## Índice de contenido

### Capítulo I

I.		Revisión
bibliográfica.....	.....	1
1.	Radicchio.....	1
	1.1. Características fisiológicas.....	1
	1.2. Características varietales.....	2
	1.3. Enfermedades.....	2
	2. Interacción genotipo x ambiente.....	3

### Capítulo II

II. Selección de variedades de Radicchio ( <i>Cichorium intybus</i> L.) para la zona central de Chile.....	11	
1. Resumen.....	11	
2. Abstract.....	12	
3. Introducción.....	13	
4. Hipótesis.....	16	
5. Objetivos.....	16	
	5.1. Objetivo General.....	16
	5.2. Objetivos Específicos.....	16
6. Materiales y métodos.....	17	

	6.1. Genotipos.....	17
	6.2. Ambientes.....	18
	6.3. Manejo agronómico del experimento.....	18
	6.4. Mediciones.....	19
	6.4.1. Número de hojas al momento de cierre de cabezas.....	19
	6.4.2. Porcentaje de plantas enfermas.....	19
	6.4.3. Porcentaje de plantas fuera de tipo.....	19
	6.4.4. Porcentaje de plantas con emisión prematura de tallo floral.....	19
	6.4.5. Porcentaje de plantas cosechadas.....	19
	6.4.6. Masa fresca de la cabeza.....	19
	6.4.7. Rendimiento.....	19
	6.4.8. Color exportable.....	19
	6.4.9. Rendimiento exportable.....	20
	6.5.0. Variables climáticas.....	20
	6.6. Análisis estadístico.....	20
	7. Resultados.....	23
	7.1. Rendimiento exportable.....	23
	7.2. Evaluación de la interacción del rendimiento exportable.....	24
	7.9. Rendimiento exportable y su asociación con las otras variables estudiadas.....	29
	8. Discusión.....	34
	9. Conclusiones.....	37

10. Revisión bibliográfica.....	38
---------------------------------	----

### Índice de cuadros

Cuadro 1. Variedades de radicchio utilizadas.....	17
Cuadro 2. Descripción de las 4 localidades estudiadas en la zona central de Chile.....	18
Cuadro 3. Escala de color compuesta de cuatro categorías.....	20
Cuadro 4. Promedio del rendimiento exportable de las 11 variedades de radicchio evaluadas (considerando desempeño en los 12 ambientes).....	23
Cuadro 5. Rendimiento exportable promedio en cada uno de los 12 ambientes (considerando el promedio de las 11 variedades de radicchio evaluadas).....	24
Cuadro 6. Valores de coeficiente de regresión, intercepto y $R^2$ obtenidos del análisis de estabilidad de las 11 variedades en estudio.....	25
Cuadro 7. Valores promedio de las variables evaluadas para cada una de las 11 variedades.....	30
Cuadro 8. Valores promedio de las variables evaluadas en los 12 ambientes.....	31

## Índice de figuras

Figura 1. Análisis de estabilidad del rendimiento exportable de las variedades de radicchio Leonardo, Tullio, CH121 y Ciro, en 12 ambientes.....	25
Figura 2. Biplot de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) realizado para el rendimiento exportable de las 11 variedades de radicchio en 12 ambientes.....	26
Figura 3. Biplot del modelo de regresión por sitio (SREG) para el rendimiento exportable de 11 variedades de radicchio en 12 ambientes.....	27
Figura 4. Regresión con mínimos cuadrados parciales (PLS) del rendimiento exportable, incluyendo variedades, ambientes y covariables ambientales.....	28
Figura 5. Componentes Principales del comportamiento de las variedades (puntos grises) respecto del conjunto de variables medidas (vectores).....	32
Figura 6. Componentes Principales del efecto de los 12 ambientes (puntos grises) en la respuesta de las variables analizadas (vectores).....	33

## Apéndices

<u>I. Fechas de siembra y trasplante de las 4 localidades en estudio.....</u>	<u>43</u>
<u>II. Días grados acumulados en tres periodos del desarrollo del cultivo (trasplante hasta el momento de cierre de cabeza, trasplante a cosecha y cierre de cabeza a cosecha).....</u>	<u>43</u>
<u>III. Valores promedio de temperatura y humedad relativa en los 12 ambientes.....</u>	<u>44</u>
<u>IV. Suma de cuadrados de las variables en estudio.....</u>	<u>44</u>
<u>V. Matriz de correlación y coeficientes del análisis de componentes principales (ACP) de las variedades.....</u>	<u>45</u>
<u>VI. Matriz de correlación y probabilidades del análisis de componentes principales de las variedades.....</u>	<u>45</u>

VII. Autovalores del ACP de las variedades.....	46
VIII. Autovectores del ACP de las variedades.....	46
IX. Correlaciones con las variables originales del ACP de las variedades.....	47
X. Matriz de correlación y coeficientes del ACP de los ambientes.....	47
XI. Matriz de correlación y probabilidades del ACP de los ambientes.....	48
XII. Autovalores del ACP de los ambientes.....	48
XIII. Autovectores del ACP de los ambientes.....	49
XIV. Correlaciones con las variables originales del ACP de los ambientes.....	49

### **Apéndices**

1. Fechas de siembra y trasplante de las 4 localidades en estudio.....	43
2. Días grados acumulados en tres periodos del desarrollo del cultivo (trasplante hasta el momento de cierre de cabeza, trasplante a cosecha y cierre de cabeza a cosecha).....	43
3. Valores promedio de temperatura y humedad relativa en los 12 ambientes.....	44
4. Suma de cuadrados de las variables en estudio.....	44
5. Matriz de correlación y coeficientes del análisis de componentes	

principales (ACP) de las variedades.....	45
6. Matriz de correlación y probabilidades del análisis de componentes principales de las variedades.....	45
7. Autovalores del ACP de las variedades.....	46
8. Autovectores del ACP de las variedades.....	46
9. Correlaciones con las variables originales del ACP de las variedades.....	47
10. Matriz de correlación y coeficientes del ACP de los ambientes.....	47
11. Matriz de correlación y probabilidades del ACP de los ambientes.....	48
12. Autovalores del ACP de los ambientes.....	48
13. Autovectores del ACP de los ambientes.....	49
14. Correlaciones con las variables originales del ACP de los ambientes.....	49

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 1. Radicchio (*Cichorium intybus* L.)

El radicchio es una hortaliza bienal perteneciente a la familia *Asteraceae*, originaria de oriente. Su órgano de consumo o producto comercial corresponde al núcleo central de las hojas de la roseta las cuales constituyen una cabeza o repollo que, dependiendo del cultivar, pueden ser más o menos suelto y firme (Mencarelli, 2004). En el mercado internacional es apetecido por sus características organolépticas (color y amargo sabor), su calidad nutricional y potencial farmacéutico (Harsh y Ravishankar, 2001; Wang y Cui, 2011), siendo utilizada principalmente para consumo fresco.

Según el color de sus hojas, los radicchios se pueden dividir en dos grupos (rojos y variegados). Los radicchios rojos presentan una lámina foliar roja y nervadura central blanca, en este grupo se incluyen los tipos “Rosso di Treviso”, “Rosso di Verona” y “Rosso di Chioggia”. Por otro lado los radicchios variegados tienen una lámina foliar de color amarillo-verdoso, sobre la cual se distribuyen líneas o puntos verdes, rojos y blanquecinos, de variadas dimensiones, a este grupo pertenecen los tipos “Variegato di Castelfranco” y “Variegato di Chioggia” (Casté, 1993).

Los radicchios más difundidos corresponden al tipo “Rosso de Chioggia”, que posee hojas de color rojo, más o menos intenso, cabeza de forma redondeada, con nervaduras centrales blancas que se ramifican en la lámina foliar (Carvajal, 1996). En segundo lugar están los tipos “Rosso de Treviso”, que a diferencia del tipo “Rosso de Chioggia” se caracteriza por presentar una cabeza cuya forma es compacta y alargada (Casté, 1993).

#### 1.1 Características fisiológicas

El radicchio es una planta de día largo, que presenta diferencias entre variedades en relación a las temperaturas necesarias para florecer (Paulet, 1985; Grevsen, 1992). Requiere de un clima templado en la época de siembra o trasplante y de calor y alta luminosidad durante el periodo de crecimiento (Fundación Chile, 1990). La temperatura base mínima de crecimiento del radicchio está en torno a los 8°C (Xodo, 1988) y las temperaturas medias óptimas de crecimiento fluctúan entre los 15 y 20 °C (Fundación Chile, 1990). El peso y el diámetro de la cabeza (componentes del rendimiento), se ven reducidos con temperaturas bajas durante el desarrollo de las cabezas (Znidarcic *et al.*, 2004). Uno de los principales problemas que disminuyen el rendimiento del radicchio es la emisión temprana del tallo floral o “bolting” que depende en gran medida de la vernalización y del fotoperiodo

(Gianquinto, 1997). Los factores ambientales asociados a la emisión temprana del tallo floral, son los días largos (sobre 13 h) y las bajas temperaturas (bajo 8°C) entre siembra y germinación (Gianquinto y Pimpini, 1989).

## 1.2 Características varietales

El radicchio es una especie con un alto porcentaje de polinización cruzada, debido a que posee autoincompatibilidad esporofítica (Eenink, 1981) y a que presenta una fuerte competencia entre el polen de la misma planta (autopolinización) y el polen foráneo (Barcaccia *et al.*, 2003), lo que reduce el porcentaje de autofecundación (Varotto *et al.*, 1995; Kiers *et al.*, 1999). Los altos porcentajes de polinización cruzada originan una elevada variabilidad genética que es difícil de controlar, por esto las variedades de polinización abierta que existen en el mercado presentan mucha segregación y por ello individuos de características muy diferentes (Gianquinto y Pimpini, 1989). No obstante lo anterior, las variedades de polinización abierta son más fáciles de desarrollar y mantener. Su producción de semillas es relativamente simple y más económica y, por lo tanto, el costo de la semilla es menor que el de la semilla de los híbridos. Por otro lado, la adopción y el intercambio entre agricultores de las variedades de polinización abierta son más simples y puede dar lugar a una mayor cobertura del área de siembra. Lo anterior explica porque las variedades de polinización abierta siguen siendo utilizadas en muchas zonas, a pesar del mayor potencial de rendimiento que ofrecen los híbridos.

Debido a los avances obtenidos en hibridación, a partir de los años ochenta comenzaron a introducirse las primeras variedades híbridas que presentan una alta homogeneidad en el cultivo y aumentan los rendimientos. Esto ha hecho que se extiendan por todo el mundo pese a su alto precio.

## 1.3 Enfermedades

El radicchio puede ser atacado por un número bastante elevado de enfermedades durante el cultivo (Pimpini *et al.*, 2001), las enfermedades más importantes desde el punto de vista económico (por el daño provocado) son:

Pudrición gris (*Botrytis cinerea* Pers.). Este hongo genera podredumbre en la base de las hojas y corona, la cual se va extendiendo por toda la planta como un moho gris (Latorre, 1990).

Rizoctoniosis (*Rhizoctonia solani* Kühn). Los síntomas del hongo son necrosis de la raíz, del cuello y también de la base del pecíolo foliar. El hongo permanece latente en el terreno por varios años (Foletto, 1993).

Podredumbre de la base del tallo (*Sclerotinia sclerotium* Lib. de Bary). Este hongo provoca una rápida marchitez y colapso de las hojas basales, seguida de podredumbre de la corona.

Durante la formación del repollo central, en las hojas internas produce una podredumbre acuosa. Los signos del patógeno son un moho blanco algodonoso y la presencia de esclerosios negros en el tejido parasitado (Latorre, 1990, Di Lenna y Mascarello, 1995).

Mildiú (*Bremia lactucae* Regee). Este hongo se caracteriza por producir manchas foliares cloróticas y angulosas en la cara superior de la hoja y un tenue moho blanco en el envés. Los síntomas aparecen en las hojas mas viejas (Latorre, 1990).

Oidio (*Erysiphe cichoriacearum* Dc.). El hongo se manifiesta antes de la cosecha. Se caracteriza por la presencia de manchas foliares relativamente esféricas cubiertas por un micelio blanco, que se expande y adquiere una coloración más oscura (Foletto, 1993).

Pudrición blanda (*Erwinia carotovora*). Esta bacteria produce como síntoma marchitez y al sacar una planta, ésta se corta a nivel del cuello, pero a la vez se lleva consigo el cilindro central de la raíz, el cual se separa de la parte cortical (Foletto, 1993).

Estas enfermedades, se ven favorecidas por condiciones ambientales de alta humedad y temperaturas que varían de altas a bajas, en todos los casos la presencia de agua libre en la planta es un factor de riesgo para estas infecciones.

## **2. Interacción genotipo x ambiente**

El rendimiento de un genotipo puede ser diferente dependiendo de las condiciones ambientales a las que esté expuesto, ya sean factores de suelo, clima e incluso de manejo en diferentes localidades y años. Esta diferencia en la respuesta fenotípica a la variabilidad ambiental se conoce como interacción genotipo x ambiente (GxA) (Fischer, 1996). La interacción GxA es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos desde un ambiente a otro (Kang, 2002; Chenu *et al.*, 2011). Esto dificulta la identificación de un genotipo de características superiores debido a que puede ser inestable en su comportamiento al ser evaluado en distintos ambientes.

En los procesos de selección, las interacciones entre el genotipo y el ambiente normalmente complican la identificación de genotipos superiores (Cooper y Fox 1996; Basford y Cooper, 1998; Epinat-le *et al.*, 2001). Es importante identificar y entender el patrón de las interacciones para poder utilizarlas en la manipulación genética (Zobel, 1988). Debido a lo anterior, en los programas de fitomejoramiento las etapas finales incluyen experimentos de evaluación durante una serie de años que son conducidos en diferentes localidades (Cooper y Fox, 1996; Chenu *et al.*, 2011).

Existen diferentes aproximaciones para tratar con interacciones; estas van desde considerarlas como una fuente de error que influye negativamente sobre la heredabilidad de un carácter, hasta considerarla como una fuente de variación parcialmente heredable (De la Vega y De la Fuente, 2003). La magnitud de la interacción GxA puede incluso determinar

la necesidad de caracterizar y dividir una misma área geográfica en diferentes sub áreas (Chenu *et al.*, 2011). Para determinar esta interacción, se requiere de un análisis de las diferentes características fenotípicas de los genotipos, en las que se pueda determinar en qué medida el ambiente actúa sobre su comportamiento (De la Vega, 2000). El comportamiento de los genotipos en ensayos multiambiente se evalúa a través de modelos estadísticos que permiten describir e interpretar la interacción GxA (Van Eeuwijk *et al.*, 2005). En términos estadísticos, las interacciones GxA se expresan como diferencias significativas en los patrones de respuesta entre genotipos a lo largo de los ambientes (Basford y Cooper, 1998). Se pueden distinguir interacciones que no resultan en cambios de orden entre genotipos evaluados en distintos ambientes (interacción “noncrossover”) e interacciones que sí determinan cambios de orden o “crossover” (De la Vega y De la Fuente 2003). Cooper y Fox. (1996), mencionan que aunque los dos tipos de interacción se encuentran presentes en ensayos multiambientales, las interacciones con cambio de orden o crossover son de particular relevancia porque constituyen el componente de la interacción GxA que tiene el potencial de influir en las decisiones de elección de un genotipo.

Varios procedimientos estadísticos han sido usados para el análisis de la interacción GxA, incluyendo métodos univariados y multivariados (Kang, 2002; Van Eeuwijk *et al.*, 2005; Crossa *et al.*, 2010). La interacción GxA ofrece posibilidades, especialmente en la selección y adopción de genotipos que muestren interacción positiva con una localidad y sus condiciones ambientales prevalecientes (exploración de adaptación específica) o de genotipos con baja frecuencia de rendimientos pobres o fracaso del cultivo (exploración de estabilidad de rendimiento) (Kang, 1997). Al realizar ensayos en distintos ambientes se aumenta el espacio de inferencia y la potencia para explorar la interacción de los genotipos con el ambiente. Para la evaluación de la interacción GxA, los métodos estadísticos utilizados pueden clasificarse como técnicas predictivas o técnicas reductivas analíticas. Entre las técnicas predictivas, se pueden mencionar los análisis de regresión lineal y el análisis de varianza. Las técnicas reductivas, incluyen análisis de componentes principales, modelos de "Efectos principales aditivos e interacción multiplicativa" (AMMI), modelos de "Análisis de regresión por sitio" (SREG) y modelos de los "Mínimos cuadrados parciales" (PLS).

El análisis de varianza es un método estadístico tradicionalmente usado en ensayos multi ambientales que se basa en la partición de la variabilidad total de la variable respuesta (Y) en una componente de la variabilidad debida a la influencia de factores de clasificación conocidos, más otro componente aleatorio asociado a la variabilidad residual o experimental. El análisis de varianza detecta la interacción GxA y permite evaluar la magnitud de dichos efectos en un conjunto de ensayos comparativos de rendimiento, pero no explica la naturaleza de las interacciones presentes (Kayode *et al.*, 2009). Otro método frecuente es el de la regresión lineal, donde la variabilidad de Y se expresa como la suma de la variabilidad debida a una relación lineal entre Y y una o más covariables o variables regresoras más la variabilidad residual. Si se detecta interacción, lo más simple es realizar un análisis de regresión lineal entre el rendimiento individual de cada genotipo y el rendimiento promedio de todos los genotipos evaluados en cada ambiente (Índice

Ambiente), en donde la pendiente de la recta obtenida es la estabilidad de los genotipos a lo largo de los ambientes analizados, el mejor cultivar es aquel que tiene un mayor rendimiento medio (promedio de ese cultivar en todos los ambientes explorados) y alta estabilidad (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966). El coeficiente de regresión o pendiente de la línea de regresión ( $b$ ) predice la sensibilidad de un genotipo en ambientes contrastantes y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) representa la proporción de varianza de  $Y$  explicada por las variables implicadas en el modelo de regresión ajustado a los datos. De esta manera, el mejor cultivar es aquel que presenta mayor rendimiento medio (promedio de ese cultivar en todos los ambientes explorados) y alta estabilidad (coeficiente de regresión,  $b = 1$ ). Un coeficiente de regresión  $b > 1$  indicaría adaptabilidad a ambientes buenos, debido a su respuesta positiva a mejoras en el ambiente, y un coeficiente de regresión  $b < 1$ , adaptabilidad a ambientes malos debido a su alta respuesta frente a condiciones adversas (Finlay y Wilkinson, 1963).

Las técnicas multivariadas han sido usadas para estudiar los efectos de la interacción GxA, mediante análisis de clasificación y ordenamiento. Permiten agrupar genotipos en función de sus patrones de respuesta frente a un conjunto de ambientes, agrupar ambientes en función del modo en el que influyen sobre el comportamiento relativo de un conjunto de genotipos, entender las interrelaciones entre genotipos y ambientes y explorar la posibilidad de explotar oportunidades de selección indirecta (Crossa *et al.*, 2010). Los modelos lineales-bilineales corresponden a un análisis multivariado con interacción multiplicativa de componentes principales y son utilizados principalmente para explorar la interacción GxA en más de una dimensión (Yan *et al.*, 2006; Yan *et al.*, 2007). Estos modelos involucran a los efectos aditivos principales del genotipo y del ambiente (como componente lineal) y uno o más términos multiplicativos para explicar patrones de interacción (como componente bilineal) (Casanoves, 2004; Yan *et al.*, 2007; Yan *et al.*, 2007).

El método AMMI es una técnica multivariada propuesta por Zobel *et al.* (1988). Este método ha sido utilizado en muchos cultivos como cereales, oleaginosas, forrajeras, entre otros (Kayode *et al.*, 2009; Berti *et al.*, 2010) y consiste en combinar las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (ACP) en un solo modelo, donde el análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de los genotipos y ambientes y el ACP de la interacción GxA, que es tratada de forma multivariada para su interpretación. La forma de representación gráfica del modelo AMMI es el “biplot”, herramienta útil para la interpretación de patrones de respuesta de los genotipos, ambientes y de la interacción GxA (Yan *et al.*, 2000). En estos gráficos la componente principal uno (CP1) es una medida del mayor o menor aporte del genotipo o del ambiente a la interacción GxA, dependiendo de la cercanía al cero. AMMI permite estimar estabilidad de genotipos (aquellos menos sensibles a la influencia ambiental y que se encuentran más cercanos al origen del biplot), evaluar localidades y como consecuencia clasificar los ambientes (Crossa *et al.*, 2010; Berti *et al.*, 2010; Chenu *et al.*, 2011) en términos de su aporte en la interacción.

El SREG (*Sites Regression Model*) es otro modelo multivariado lineal-bilineal, se utiliza cuando los sitios constituyen la mayor fuente de variación en relación a la contribución de los genotipos sobre la variabilidad total. Este modelo remueve el efecto del sitio y expresa la respuesta en función de G y GxA (Balzarini *et al.*, 2005). Para la interpretación del modelo SREG, Yan *et al.* (2000), propusieron los gráficos GGE biplots (*Genotype main effect plus genotype by environment interaction effect*), construido con la primera y segunda componentes principales, que permiten la identificación de mega ambientes y la selección de genotipos superiores para cada uno de ellos (Yan *et al.*, 2000; Casanoves, 2004; Balzarini *et al.*, 2005). Se traza una poligonal uniendo los puntos que representan los genotipos más extremos en cuanto a su comportamiento, luego se dibuja la perpendicular desde el origen a cada lado de la poligonal, estos trazos definen mega ambientes, conformados por todos los ambientes incluidos en cada una de las áreas definidas. Las variedades que definen el vértice de cada sector del polígono son las que poseen el mayor rendimiento para los ambientes que quedan encerrados en el sector.

El método de estimación PLS (*Partial Least Squares*) es otra metodología de análisis que combina el análisis de componentes principales y el análisis de regresión lineal y que permite la incorporación de covariables de ambiente y/o de genotipo que son representadas en un gráfico denominado “Triplot” para explicar las asociaciones (Casanoves, 2004; Balzarini *et al.*, 2005) y los patrones de interacción observados en función de covariables ambientales. Permite analizar el efecto o la asociación de las variables predictivas y del ambiente sobre la interacción GxA. Este método relaciona los efectos de la interacción GxA como variables dependientes, con las variables ambientales externas o del cultivar como variable predictivas, mediante un procedimiento denominado de estimación singular.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balzarini, M.; C. Bruno y A. Arroyo. 2005. Análisis de Ensayos Agrícolas Multiambientales. Ejemplos en Info - Gen. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. 141p.
- Barcaccia, G.; M. Lucchin; R. Lazzarin and P. Parrini. 2003. Relationships among radicchio (*Cichorium intybus* L.) types grown in Veneto and diversity between local varieties and selected lines as assessed by molecular markers. *Eucarpia Leafy Vegetables*. 2003: 105-110. Disponible en: [http://www.leafyvegetables.nl/download/18\\_105-110\\_Parrini.pdf](http://www.leafyvegetables.nl/download/18_105-110_Parrini.pdf)
- Basford, K. and M. Cooper. 1998. Genotype environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49(2): 153-174.
- Berti, M.; S. Fischer; R. Wilckens; F. Hevia and B. Johnson. 2010. Adaptation and genotype x environment interaction of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes in south central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(3): 345-356.
- Carvajal, X. 1996. Efecto de la fecha de trasplante en la producción y calidad de radicchio (*Cichorium intybus* L.). Memoria de Ingeniero Agrónomo. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 80p.
- Casté, A. 1993. El Radicchio: Situación Actual y Perspectivas. *Agroeconómico*, 15: 19-23.
- Casanoves, F. 2004. Análisis de ensayos comparativos de rendimiento en mejoramiento vegetal en el marco de los modelos lineales mixtos. Tesis Doctoral, Córdoba, Argentina: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Córdoba. 127p.
- Chenu, K.; M. Cooper; M. Hammer; G. Mathews; K. Dreccer and S. Chapman. 2011. Environment characterization as an aid to wheat improvement: interpreting genotype-environment interactions by modeling water-deficit patterns in North-Eastern Australia. *Journal of Experimental Botany*, 62(6): 1743-1755.
- Cooper, M. and P. Fox. 1996. Environmental characterization based on probe and reference genotypes. (pp. 529-547). In: Cooper, M. and G. Hammer. (ed.). Plant Adaptation and Crop Improvement. UK: CAB International. 608p.
- Crossa, J.; M. Vargas and A. Kumar. 2010. Linear, bilinear, and linear-bilinear fixed and mixed models for analyzing genotype x environment interaction in plant breeding and agronomy. *Canadian Journal of Plant Science*, 90(5): 561-574.

De la Vega, A. 2000. Interacción genotipo x ambiente y mejoramiento de girasol para las regiones central y norte de Argentina. Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires, Escuela para Graduados Facultad de Agronomía. 291p.

De la Vega, A. y E. De la Fuente. 2003. Elección de genotipos. (pp. 319–349). En: Satorre, E.; R. Benech; G. Slafer; E. De la Fuente; D. Miralles; M. Otequi. *et al.* 2003. Producción de granos: Bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. 783p.

Di Lenna, P. y N. Mascarello. 1995. Indagine eziologica sul “marciume del colletto” del radicchio rosso in una tipica zona di coltivazione del Veneto. *Informatore Fitopatologico*, 7 (8): 51-54.

Eberhart, S. and A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1): 36-40.

Epinat-Le Signor, C.; S. Dousse; J. Lorgeou; B. Denis; R. Bonhomme; P. Carolo. *et al.* 2001. Interpretation of genotype × environment interactions for early maize hybrids over 12 years. *Crop Science*, 41(3): 663-669.

Eenink, A. 1981. Compatibility and incompatibility in witloof-chicory (*Cichorium intybus* L.). 2. The incompatibility system. *Euphytica*, 30(1): 77-85.

Fischer, K. 1996. Research approaches for variable rainfed systems – Thinking globally, acting locally. (pp. 25-35). In: Cooper, M. and G. Hammer. (ed.). Plant Adaptation and Crop Improvement. UK: CAB International. 608p.

Finlay, K. and G. Wilkinson. 1963. The Analysis of adaptation in plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14(6): 742-754.

Foletto, B. 1993. Situazione fitopatologica produzione integrata e disciplinare di produzione de la coitura del radicchio. (pp. 29-38). In: Atti convegno “Il radicchi Veneti: 20 anni di esperienze produttive e commerciali”. Verona, Italia.

Fundación Chile. 1990. Radicchio: una hortaliza que registra exportaciones crecientes. *Inf. Agroeconómico*, 7(6): 13-17.

Gianquinto, G. 1997. Morphological and physiological aspects of phase transition in radicchio (*Cichorium intybus* L. var. *silvestre* Bisch.): influence of day length and its interaction with low temperature. *Scientia Horticulturae*, 71(1): 13-26.

Gianquinto, G. and F. Pimpini. 1989. The influence of temperature on growth, bolting and yield of chicory cv. Rosso di Chioggia (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Horticultural Science*, 64(6): 687-695.

Grevsen, K. 1992. Experiments with the cultivation of red leafed chicory - “radicchio rosso”- under north european conditions. *Acta Horticulturae*, 318(1): 125-133.

Harsh, P. and G. Ravishankar. 2001. *Cichorium intybus* L – cultivation, processing, utility, value addition and biotechnology, with an emphasis on current status and future prospects. *Journal of the Science of food and Agriculture*, 81(5): 467-484.

Kang, M. 1997. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advance in Agronomy*, 62(9): 199-252.

Kang, M. 2002. Genotype-environment interaction: Progress and prospects. (pp. 221-245). In: Quantitative genetics, Genomics and plant breeding. New York, USA: CAB International. 432p.

Kayode, A.; O. Ariyo; D. Ojo; G. Gregorio; E. Somado; I. Sanchez. *et al.* 2009. Additive main effects and multiplicative interactions analysis of grain yield performances in rice genotypes across environments. *Asian Journal of Plant Sciences*, 8(1): 48-53.

Kiers, A.; T. Mes; R. Van der Meijden and K. Bachmann. 1999. Morphologically defined *Cichorium* (*Asteraceae*) species reflect lineages based on chloroplast and nuclear (ITS) DNA data. *Systematic Botany*, 24(4): 645-659.

Latorre, A. 1990. Plagas de las hortalizas. Santiago, Chile: Oficina regional de la FAO, para América Latina y el Caribe. 520p.

Mencarelli, F. 2004. Radichio. The comercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stokes. Agriculture handbook number 66 (HB-66). Disponible en: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/118radicchio.pdf>.

Pimpini, F.; R. Lazzarin y G. Chillemi. 2001. Tecnica culturale. (pp. 21-45). In: Pimpini, F.; G. Chillemi; R. Lazzarin; P. Bertolini; C. Marchetti. Il Radicchio Rosso di Chioggia, Aspetti tecnici ed economici di produzione e conservazione. Padova, Italia: Veneto Agricoltura. 85p.

Paulet, P. 1985. *Cichorium intybus* and *Cichorium endivia*. (pp. 265-271). In: Halevy, A. (ed.). Handbook of flowering. Florida, USA: CRC Press Boca Raton.

Van Eeuwijk, F.; M. Malosetti; X. Yin; P. Struik and P. Stam. 2005. Statistical models for genotype environment data: from conventional ANOVA models to eco-physiological QTL models. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(9): 883-894.

- Varotto, S.; L. Pizzoli; M. Lucchin and P. Parrini. 1995. The incompatibility system in Italian red chicory (*Cichorium intybus* L.). *Plant Breeding*, 114(6): 535-538.
- Wang, Q. and J. Cui. 2011. Perspectives and utilization technologies of chicory (*Cichorium intybus* L.): A review. *African Journal of Biotechnology*. 10(11): 1966-1977.
- Xodo, E. 1998. Il radicchi rosso del Veneto. Serie Orticoltura. Italia: Centro científico didattico ente di sviluppo agricolo. 12p.
- Yan, W.; L. Hunt; Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega - environment investigation based on GGE Biplot. *Crop Science*, 40(3): 597-605.
- Yan, W. and N. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3): 623-645.
- Yan, W.; M. Kang; B. Ma; S. Woods and P. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by- environment data. *Crop Science*, 47(2): 641-653.
- Žnidarčič, D.; J. Osval and S. Trdan. 2004. Plant characteristics for distinction of red chicory (*Cichorium intybus* L. var. *silvestre* Bish.) cultivars grown in central Slovenia. *Acta Agriculturae Slovenica*, 83(2): 251-260.
- Zobel, W.; M. Wright and H. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80(3): 388-393.

## CAPÍTULO II

### SELECCIÓN DE VARIEDADES DE RADICCHIO (*Cichorium intybus* L.) PARA LA ZONA CENTRAL DE CHILE

#### Resumen

Existen en el mercado nacional variedades híbridas de radicchio (*Cichorium intybus* L.), de alto rendimiento y homogeneidad, su limitante es el alto costo de la semilla. La más importante es 'Leonardo', de semillas Bejo, que representa 90% del mercado, sin embargo, se cree que existen variedades de polinización abierta que podrían utilizarse como alternativa a los híbridos a un menor costo. Este estudio, buscó seleccionar variedades de polinización abierta con igual o mejor rendimiento exportable que 'Leonardo', con el fin de establecer bases de recomendación de cultivares en la zona central de Chile. Se evaluaron 11 variedades de radicchio, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones. El ensayo se realizó en 4 localidades de la zona central de Chile, durante la temporada 2007-2008. En cada localidad se evaluaron 3 fechas de siembra, la combinación localidad x fecha de siembra generó 12 ambientes. Se evaluó el rendimiento exportable, peso de la cabeza, porcentaje de plantas enfermas, emisión prematura de tallo floral y color exportable, se realizaron análisis combinado de varianzas, de estabilidad, AMMI, SREG, PLS y componentes principales. El rendimiento exportable de las variedades fluctuó entre 23,34 t ha<sup>-1</sup> ('Leonardo') y 6,84 t ha<sup>-1</sup> ('CH121'), y de los ambientes entre 25,89 y 8,18 t ha<sup>-1</sup>. El análisis combinado de varianzas del rendimiento exportable, mostró efecto significativo para GxA. El tipo de radicchio (Treviso o Chioggia) resultó ser la principal causa de interacción para rendimiento exportable. En términos de rendimiento exportable, 'Ciro' (Chioggia) podría considerarse como una buena alternativa económica a 'Leonardo' en el mega ambiente formado por las tres fechas de siembra de Polpaico, Santo Domingo y Lampa, mientras que 'Tullio' (Treviso) podría ser alternativa en las tres fechas de siembra de Padre Hurtado. 'Ciro' destacó no sólo porque rindió 18,7% menos que 'Leonardo' (P<0,05) sino porque también es más estable que 'Leonardo'. 'Tullio' rindió 24% más que 'Leonardo' en las tres fechas de siembra de Padre Hurtado (P<0,05). La reducción del rendimiento exportable se debió principalmente a enfermedades.

#### Palabras clave

Interacción genotipo x ambiente – Mega ambientes – Componentes de rendimiento – Rendimiento exportable.

## SELECTION OF RADICCHIO (*Cichorium intybus* L.) VARIETIES FOR THE CENTRAL ZONE OF CHILE

### Abstract

In the Chilean national market there are hybrid varieties of radicchio (*Cichorium intybus* L.) with high yield and homogeneity, its limitation is the high cost of the seed. The most important is 'Leonardo', Bejo seed, which represents 90% of the market, however, it is believed that there are open-pollinated varieties that could be used as an alternative to hybrids at lower cost. This study sought to select open-pollinated varieties with equal or better exportable performance than 'Leonardo', in order to establish bases on the recommendation of cultivars for the central zone of Chile. Eleven varieties of radicchio were evaluated in a randomized complete block design with five replications. The trial was conducted in four localities of central Chile, during the 2007-2008 seasons. At each site, 3 planting dates were evaluated. The combination of locality x transplant date generated 12 environments. Exportable yield, head mass, percentage of diseased plants, early flowering bolting and exportable color were evaluated. Combined analyzes of variance, stability, AMMI, SREG, PLS and principal components were made. The exportable yield of the varieties ranged from 23,34 t ha<sup>-1</sup> ('Leonardo') to 6,84 t ha<sup>-1</sup> ('CH121'), and the environments ranged between 25,89 and 8,18 t ha<sup>-1</sup>. The analysis of the exportable yield variance showed significant GxE effect. The type of radicchio (Treviso or Chioggia) was the main cause of interaction for exportable yield. In terms of exportable yield, 'Ciro' (Chioggia) could be considered as a good alternative to 'Leonardo' in the mega environment formed by the three planting dates of Polpaico, Santo Domingo and Lampa, while 'Tullio' (Treviso) could be an alternative in the three planting dates of Padre Hurtado. 'Ciro' yield 18,7% less than 'Leonardo' (P <0,05) but showed better stability than 'Leonardo' and 'Tullio' yield 24% more than 'Leonardo' in the three planting dates of Padre Hurtado (P <0,05). Exportable yield reduction is mainly due to diseases.

### Key words

Genotype x environment interaction – Mega environment – Yield components – Exportable yield.

## INTRODUCCIÓN

El radicchio (*Cichorium intybus* L.) es una planta alógama con un alto porcentaje de polinización cruzada (polinización abierta) (Kiers *et al.*, 1999). Su alto grado de heterocigosis ha originado una gran variabilidad genética lo que ha dificultado la selección de variedades (Varotto *et al.*, 1995). Además, mecanismos de autoincompatibilidad y la grave depresión por endogamia detectada en la mayoría de las líneas han sido un inconveniente en la producción de líneas puras parentales, obstaculizando el mejoramiento genético de esta especie (Eenink, 1981). A pesar de ello y gracias a la macho esterilidad de polen, se han desarrollado algunas variedades híbridas, caracterizadas por presentar una alta homogeneidad y alto rendimiento, sin embargo, tienen como limitante el alto costo de la semilla.

Normalmente los productores de radicchio han seleccionado variedades en sus propias poblaciones, considerando las características morfológicas de su interés. La selección de variedades la realizan mediante selección pesol de las plantas que desean producir y cuyas características agronómicas o comerciales pretenden mantener o mejorar (Barcaccia *et al.*, 2003). Lo anterior ha generado como resultado poblaciones de plantas desuniformes, con requerimientos climáticos distintos, generando a su vez bajos rendimientos (Gianquinto, 1997).

En Chile el radicchio fue introducido a mediados de los años ochenta, como un producto de potencial interés con fines de exportación como producto fresco. Se ha cultivado entre la región de Coquimbo y la región del Maule, concentrando la mayor proporción en las regiones metropolitana y de Valparaíso. La producción nacional se orienta principalmente a la exportación a Estados Unidos y Europa.

El rendimiento exportable del radicchio se mide en términos de la peso total del número de cabezas producidas y el porcentaje de plantas que producen cabezas comercializables (Hill, 1988). Los índices de calidad para el radicchio se centran en la obtención de hojas turgentes o cabezas firmes y compactas, con una apariencia reluciente típica de la variedad, colores uniformes en la madurez, venas blancas sin grietas ni partiduras, ausencia de necrosis y pudriciones en las hojas (Mencarelli, 2004 ).

La calidad y el rendimiento exportable en radicchio son influenciados por numerosos factores, como las condiciones climáticas, humedad del suelo, fertilización, fecha de siembra, fecha de cosecha, tipo de radicchio y variedad (Berlien, 2004; Znidarcic *et al.*, 2004; Monti *et al.*, 2005; Biesiada y Kolota, 2008; Francke y Majkowska-Gadomska, 2008; Devacht *et al.*, 2009; Lucarini *et al.*, 2012).

Se sabe que los cultivares se adaptan en forma diferenciada a cada localidad de acuerdo a las características agroclimáticas. Según lo anterior en Chile se han observado grandes

deficiencias en términos de producción, debidas principalmente a que no existen cultivares bien definidos para cada zona productora del país, ni tampoco se conocen bien los manejos agro culturales necesarios para lograr la expresión del mayor potencial productivo del cultivo en cada zona. Diversos autores han reportado bajos porcentajes de rendimiento exportable debido a la gran desuniformidad que presentan las distintas variedades (Carvajal y Krarup 1997; Carrasco *et al.* 1998; Lazzarin *et al.* 2000; Rangarajan e Ingall 2001; Berlien, 2004).

La variedad ‘Leonardo’, de semillas Bejo, es una de las más utilizadas en el país, este híbrido llegó a cubrir aproximadamente el 90% de la producción nacional en 2009. En el mercado nacional existen algunas variedades de polinización abierta de menor costo que podrían utilizarse como alternativa a las variedades híbridas. Sin embargo, tampoco existe información detallada acerca de sus características en términos de estabilidad de rendimiento o adaptación específica.

Se sabe que el éxito de un programa de mejoramiento depende de la claridad de sus objetivos, de la complejidad del sistema GxA con el que trabaja, de la utilidad del germoplasma de que dispone y del poder de las estrategias de mejoramiento adoptadas para generar y detectar los genotipos que permitan alcanzar los objetivos establecidos (Cooper, 1999).

La poca información disponible sobre el cultivo y sus patrones de adaptación especialmente bajo las condiciones de la zona central de Chile hacen necesario el estudio de variedades híbridas y de polinización abierta con el fin de generar bases de datos suficientes que permitan detectar variedades con potencial de rendimiento y adaptación a las condiciones locales de cultivo, separar la región productora en subregiones (mega-ambientes) sobre la base de los atributos ambientales actuantes sobre el cultivo y determinar las estrategias de selección más adecuadas para tratar con las interacciones GxA presentes.

La utilización de grandes bases históricas de ensayos permite analizar una muestra amplia de genotipos y ambientes y acomodar los efectos de las interacciones GxA del sistema (DeLacy *et al.*, 1996), aunque requiere de herramientas estadísticas complejas, que permitan ordenar el desbalance que surge por el hecho de que los genotipos en evaluación cambian a lo largo de los años (Kempton, 1984; DeLacy *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 2001).

La interacción GxA dificulta la selección de variedades de mejores características ya que se producen inconsistencias en su comportamiento de un ambiente a otro, es decir, el mejor genotipo en un ambiente no necesariamente es el mejor en todos los ambientes evaluados. Debido a lo anterior en las etapas finales de los programas de mejoramiento se incluyen ensayos en distintos ambientes con el fin de cuantificar el efecto de la interacción y considerarlo en la selección final de variedades. Los ensayos comparativos de rendimiento se caracterizan por involucrar múltiples ambientes en los que se evalúan varios genotipos. Estos ensayos multiambientales, son necesarios en mejoramiento vegetal debido a la existencia de la interacción GxA (Cossa *et al.*, 1990; Cruz, 1992; Kang y Magari, 1996). A

partir de la interacción genotipo×ambiente se puede analizar la adaptación específica, la estabilidad y los mega-ambientes (Yan y Hunt, 2001). Para el estudio de la interacción y los análisis que de ella se derivan, los modelos de interacción multiplicativa (AMMI) (Gauch, 1988) han sido ampliamente difundidos entre los mejoradores. Los gráficos GGE biplot (Yan y Hunt, 2001) son una metodología para la identificación de mega-ambientes, la selección de cultivares dentro de cada ambiente y la selección de ambientes adecuados para los ensayos. Estos gráficos pueden obtenerse a partir de modelos que incorporan variables externas (covariables), tanto de los genotipos como de los ambientes (Vargas *et al.*, 1998, 1999, 2001).

## **HIPÓTESIS DE TRABAJO**

- Existen variedades de polinización abierta con igual o mejor rendimiento exportable que la variedad híbrida ‘Leonardo’ para la zona central de Chile.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Determinar las variedades de radicchio con mejor rendimiento exportable en la zona central de Chile.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar genotipos que presenten adaptabilidad amplia y específica, entre y dentro de las distintas localidades.
- Evaluar la interacción GxA para rendimiento y su relación con los componentes de rendimiento en radicchio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Genotipos

Se evaluaron 11 variedades de radicchio de dos tipos, Chioggia y Treviso, 10 variedades de polinización abierta y la variedad 'Leonardo' que es un híbrido (Cuadro 1). Ambos tipos presentan como característica común láminas foliares de color rojo intenso con una nervadura central de color blanco. Se diferencian en la forma de su cabeza, redondeada para Chioggia y alargada para Treviso (Gianquinto y Pimpini, 1989).

Cuadro 1. Variedades de radicchio utilizadas.

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Característica</b>
Tullio	Treviso	Incao	Precoz, PA*
OT782	Treviso	Salmáso	Precoz, PA
TV01	Treviso	Sotomarina	Precoz, PA
Corrado	Chioggia	Incao	Semitardío, PA
Ciro	Chioggia	Incao	Precoz, PA
CH121	Chioggia	Sais	Precoz, PA
OT789	Chioggia	Salmáso	Precoz, PA
OT790	Chioggia	Salmáso	Tardío, PA
CH01	Chioggia	Sotomarina	Precoz, PA
CH02	Chioggia	Sotomarina	Precoz, PA
Leonardo	Chioggia	Bejo Zaden	Precoz, Híbrido

\* PA= variedad de polinización abierta

## Ambientes

Los genotipos se evaluaron en 4 localidades de la zona central de Chile. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de las 4 localidades estudiadas en la zona central de Chile.

Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	T° media (°C)	HR (%)	Clase textural
Polpaico	33° 07' 12" S	70° 52' 00" O	544	23,7	52,3	Franco
Lampa	33° 16' 08" S	70° 52' 52" O	499	22,9	50,1	Franco arenoso fino
Padre Hurtado	33° 34' 00" S	70° 53' 00" O	392	19,6	70,2	Franco arenoso
Santo Domingo	33° 54' 48" S	71° 50' 6" O	10	15,2	75,5	Franco arcillo arenoso

En cada localidad se evaluaron a su vez 3 fechas de siembra (Fecha 1: 12 de Noviembre, Fecha 2: 27 de Noviembre y Fecha 3: 12 Diciembre) (Apéndice I), por lo tanto la combinación localidad x fecha de siembra generó un total de 12 ambientes. (Apéndice III).

En cada ambiente se estableció un ensayo con un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental correspondió a tres camellones de 3,5 m de largo distanciados a 0,75 m entre hileras (7,875 m<sup>2</sup>). Como unidad muestral se utilizaron los radicchios del surco interior de la unidad experimental (10 plantas).

## Manejo agronómico del experimento

Dada la cantidad de plantas a utilizar y la escasa disponibilidad de semilla, los plantines fueron producidos en viveros locales para asegurar calidad inicial del material y lograr plantas homogéneas al momento de trasplante. Los plantines fueron trasplantados en forma manual con un estado fenológico de entre 4 y 5 hojas, lo que ocurrió aproximadamente 38 días después de siembra. La densidad de plantación de los ensayos fue de 79.000 plantas ha<sup>-1</sup>. El riego fue mediante surcos y la fertilización varió dependiendo de cada localidad. En Lampa se utilizaron 200 kg de Mezcla Horticals (17-21-18) y 200 kg de Urea (46-0-0) granulada en dosis parcializadas. Para el resto de las localidades la fertilización fue de 100-120 kg N ha<sup>-1</sup> aplicado en 3 parcializaciones, 150-200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> y 100-150 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> a la siembra. Para el control de malezas, se realizaron labores de limpieza manual y con cultivadora cada 20 días a partir de la fecha de trasplante. Se realizaron dos aplicaciones de insecticidas (Imidacloprid en dosis de 20 cc/100 L agua y Tiametoxam 200 g ha<sup>-1</sup>). La primera aplicación se efectuó a los 30 días después del trasplante para el control de pulgones, langostinos y trips principalmente y la aplicación posterior se realizó entre 15 a 20 días antes de la cosecha.

## Mediciones

**Número de hojas al momento de cierre de cabezas (N°H-Ci):** Se contó el número de hojas por planta al momento de cierre de la cabeza en el surco de plantación central de la unidad experimental (10 plantas).

**Porcentaje de plantas enfermas (PI-En):** se contabilizó a todas aquellas plantas que presentaban un nivel de pudrición que impedía el crecimiento, cosecha y/o comercialización de la cabeza. El valor se expresó en términos porcentuales, donde el 100% correspondió al número de plantas totales establecidas en el surco de plantación central de la unidad experimental.

**Porcentaje de plantas fuera de tipo (PI-Ft):** correspondió a las plantas que diferían morfológicamente de lo observado en cada variedad al término del desarrollo del cultivo. El valor se expresó en términos porcentuales, donde el 100% correspondió al número de plantas totales establecidas en el surco de plantación central de la unidad experimental.

**Porcentaje de plantas con emisión prematura de tallo floral (PI-Su):** se contabilizaron todas aquellas plantas que generaron tallo floral. El valor se expresó en términos porcentuales, donde el 100% correspondió al número de plantas totales establecidas en el surco de plantación central de la unidad experimental.

**Porcentaje de plantas cosechadas (PI-Co):** A partir del número de plantas totales establecidas en el surco de plantación central de la unidad experimental (unidad muestral, considerado como el 100%). Se contabilizaron las plantas que llegaron a cosecha con cabezas desarrolladas y compactas, descontando las plantas fuera de tipo, enfermas o con emisión prematura del tallo floral. Si las plantas presentaban mal color, pero buena compactación se consideraban cosechables. La cosecha se realizó cuando la unidad muestral de cada variedad alcanzó una cabeza compacta con la coloración típica de la variedad.

**Peso fresco de la cabeza (Ma-Ca):** medida con una balanza de precisión en gramos a todas las plantas cosechadas por parcela.

**Rendimiento (Rend):** A partir de los parámetros peso fresco de la cabeza y porcentaje de plantas cosechadas se estimó el rendimiento esperado de cada variedad expresado en  $t\ ha^{-1}$  a partir de una población inicial aproximada de  $79.000\ plantas\ ha^{-1}$ . La expresión utilizada fue:

$$\text{Rendimiento (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{79.000 * \text{Peso Fresco (g)} * \text{Plantas cosechadas (\%)}}{1.000.000}$$

**Color exportable (C-ex):** evaluado en base a una escala de color elaborada especialmente para estos ensayos (Bravo, 2009; Gómez, 2009; Viveros, 2009) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Escala de color compuesta de cuatro categorías.

Categoría	Color de cabeza
1	Color verde, variegada o roja con venas de color verde
2	Tintes rosáceos no muy uniformes.
3	Color rojo uniforme.
4	Colores rojo oscuro, rojo-violáceo a purpura.

La suma de las categorías 3 y 4 señalan los radicchios que cumplen con las exigencias para comercialización y exportación. La valoración se transformó a términos porcentuales y se consideró como un porcentaje sobre el total de plantas cosechadas.

**Rendimiento exportable (R-Ex):** La proporción del rendimiento que finalmente posee potencial de exportación (rendimiento exportable) corresponde al producto entre el rendimiento y el porcentaje de cabezas con color de exportación, de esta forma se tiene:

$$\text{Rendimiento exportable (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Rendimiento (t ha}^{-1}\text{)} * \text{Color exportable (\%)}}{100}$$

**Variables climáticas:** Se obtuvieron registros diarios de temperatura máxima y mínima, así como de humedad relativa de toda la temporada de crecimiento a través de un termohigrógrafo (marca Keytag, modelo KTL-508) instalado en el lugar de los ensayos.

### Análisis estadísticos

**Análisis combinado de varianza (ANDEVA):** Fue realizado para cada una de las variables evaluadas. El ajuste se realizó para un modelo factorial con repeticiones anidadas en ambientes, considerando los factores variedad, ambiente y su interacción. Se consideró un set de datos que incluye 11 variedades evaluadas en 12 ambientes. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de comparaciones múltiples DGC al 5% ( $\alpha=0,05$ ). La prueba DGC constituye un método particionante (sin solapamiento de letras entre las medias) recomendable para comparar 5 o más medias (Di Rienzo *et al.*, 2001).

Las variables porcentuales fueron transformadas a través de la siguiente expresión:

$$\text{ARCOSENO} \sqrt{\frac{x}{100}}$$

Donde  $x$  corresponde al valor que se desea transformar. De esta manera las variables pueden ser tratadas como paramétricas. Todas las variables fueron sometidas a pruebas de homogeneidad de varianzas y normalidad de los datos, previo a la aplicación del ANDEVA.

**Análisis de estabilidad de genotipos:** Se realizó un análisis de regresión lineal entre el rendimiento individual de cada genotipo y el rendimiento promedio de todos los genotipos evaluados en cada ambiente (Índice ambiental), en donde la pendiente de la recta obtenida fue la estabilidad de los genotipos a lo largo de los ambientes analizados, el mejor cultivar se determinó como aquel que tuvo un mayor rendimiento medio (promedio de ese cultivar en todos los ambientes explorados) y alta estabilidad (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966).

**Análisis de componentes principales (ACP):** Con el fin de explicar la variabilidad de los genotipos y de los ambientes en relación a todas las variables en estudio, se realizó un análisis de componentes principales, que consistió en construir variables no observables (componentes) a partir de variables observables (las variables a analizar). Las nuevas variables (componentes principales) fueron obtenidas como combinaciones lineales de las variables originales y fueron representadas en un Biplot (Balzarini *et al.*, 2005). Se realizaron dos análisis de ACP: el primero considerando las 11 variedades de radicchio y 9 variables (rendimiento, rendimiento exportable, peso de la cabeza, porcentaje de plantas cosechadas, porcentaje de plantas con color exportable, porcentaje de plantas enfermas, porcentaje de plantas florecidas, porcentaje de plantas fuera de tipo y número de hojas al momento de cierre de cabeza) y el segundo considerando los 12 ambientes y las 9 variables consideradas en el análisis anterior.

**Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI):** La ecuación correspondiente a este modelo lineal-bilineal para la respuesta de un genotipo en un ambiente dado puede expresarse de la siguiente manera (Crossa *et al.*, 1995; Crossa y Cornelius, 1997):

$$y = \mu + G_i + A_j + \sum_{n=1}^r \lambda_n \xi_{ni} \eta_{nj} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde  $G_i$  es el efecto del genotipo  $i$ ,  $A_j$  es el efecto del ambiente  $j$ ,  $\sum_{n=1}^r \lambda_n \xi_{ni} \eta_{nj}$  es la sumatoria de términos multiplicativos que modela la interacción GxA, compuesta por el parámetro de la interacción del  $j$ -ésimo ambiente, denotado por  $\eta_{nj}$ , del  $i$ -ésimo genotipo para la misma componente o eje, denotado por  $\xi_{ni}$  y el autovalor (medida de variación asociado al eje y denotado por  $\lambda_n$ ). El parámetro  $\rho_{ij}$  representa la porción del  $ij$ -ésimo término de interacción GxA no explicado por el modelo multiplicativo y  $\varepsilon_{ij}$  es el término

del error aleatorio. El término  $\xi_{ni}$  puede ser interpretado como sensibilidad genotípica a los factores ambientales latentes, los cuales son representados por  $\eta_{nj}$  en el  $j$ -ésimo ambiente.

**Modelo de regresión por sitio (*Sites Regression Model* o **SREG**):** El modelo para construir un biplot GGE con las dos primeras componentes principales (Yan y Hunt, 2001), es:

$$y_{ij} - \bar{y}_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

donde  $y_{ij}$  es el rendimiento medio del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$ ,  $\bar{y}_j$  es la media de los genotipos en el ambiente  $j$ ,  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  son los autovalores para la CP1 y CP2 respectivamente,  $\xi_{i1}$  y  $\xi_{i2}$  son los valores del genotipo  $i$  en la CP1 y CP2 respectivamente,  $\eta_{j1}$  y  $\eta_{j2}$  son los valores del ambiente  $j$  en la CP1 y CP2 respectivamente y  $\varepsilon_{ij}$  es el término residual asociado a la observación promedio del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$  centrado por el efecto del ambiente  $j$ . El modelo es estandarizado para asegurar que la CP1 y la CP2 tengan las mismas unidades.

**Regresión con mínimos cuadrados parciales (*Partial Least Squares* o **PLS**):** El método PLS relaciona los efectos de la interacción genotipo x ambiente como variables dependientes (Y) a variables ambientales como variables explicatorias (X). Se realizó un gráfico triplot para explicar la interacción genotipo x ambiente para la variable rendimiento exportable en función de las covariables ambientales temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima, oscilación térmica, altitud (m.s.n.m) y humedad relativa media. Se consideraron las 11 variedades de radicchio y 12 ambientes.

Para los análisis estadísticos se utilizó el software InfoGen versión 2011 (Balzarini *et al.*, 2011).

## RESULTADOS

### Rendimiento Exportable

El rendimiento exportable de las 11 variedades mostró un amplio grado de variación fluctuando entre 6,84 t ha<sup>-1</sup> ('CH121') y 23,34 t ha<sup>-1</sup> ('Leonardo') (Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedio del rendimiento exportable de las 11 variedades de radicchio evaluadas (considerando el desempeño en los 12 ambientes).

Tipo	Variedades	Rendimiento exportable (t ha <sup>-1</sup> )
Treviso	Tullio	18,66 b
	OT782	13,62 d
	TV01	12,63 d
Chioggia	Corrado	11,18 e
	Ciro	18,97 b
	CH121	6,84 f
	OT 789	16,58 c
	OT 790	10,26 e
	CH01	16,45 c
	CH02	15,66 c
	Leonardo	23,34 a
Media		14,93 ± 4,64
Media Treviso		14,97
Media Chioggia		14,91

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas. Prueba de comparación múltiple DGC ( $p < 0,05$ ).

También se observó un amplio grado de variación entre ambientes fluctuando entre 8,18 t ha<sup>-1</sup> y 25,89 t ha<sup>-1</sup>, los mayores rendimientos exportables se lograron en la localidad de Padre Hurtado, independiente de la fecha de siembra, y los menores rendimientos se alcanzaron en la localidad de Lampa y Santo Domingo, en la primera fecha de siembra (Cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimiento exportable promedio en cada uno de los 12 ambientes (considerando el promedio de las 11 variedades de radicchio evaluadas).

<b>Ambiente</b>	<b>Rendimiento exportable (t ha<sup>-1</sup>)</b>
Polpaico_1	12,82 d
Polpaico_2	13,98 d
Polpaico_3	17,63 c
Lampa_1	10,58 d
Lampa_2	16,10 c
Lampa_3	13,49 d
Padre Hurtado_1	16,72 c
Padre Hurtado_2	21,39 b
Padre Hurtado_3	25,89 a
Santo Domingo_1	8,18 e
Santo Domingo_2	12,51 d
Santo Domingo_3	11,84 d
Media ± Desviación Estándar	15,09 ± 4,87

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas. Prueba de comparación múltiple DGC ( $p < 0,05$ ).

### **Evaluación de la interacción del rendimiento exportable**

El análisis combinado de varianza (ANDEVA) del rendimiento exportable de las 11 variedades de radicchio (*Cichorium intybus* L.) en 12 ambientes, mostró un efecto altamente significativo para la interacción GxA ( $p < 0,001$ ). Además, un 24,4% de la suma total de cuadrados se debió a la interacción. (Apéndice IV).

En el Cuadro 6 se muestran los valores de parámetros obtenidos a partir de la regresión individual de todas las variedades, para rendimiento exportable, sobre el promedio de las variedades en cada ambiente. En general, se observa que las variedades de tipo Treviso alcanzan altos rendimientos en ambientes de alto rendimiento y muy bajos en ambientes de bajo índice ambiental, los valores de coeficiente de regresión ( $b$ ) son mayores a 1, por lo que se concluye que tienen adaptación específica a condiciones de alto rendimiento y son muy inestables. En cambio, las variedades de tipo Chioggia como ‘Leonardo’ y ‘Ciro’ tienen alto rendimiento promedio (Cuadro 4) y coeficientes de regresión bajos, por lo que su comportamiento es bastante estable, adaptándose ampliamente a todos los ambientes (Figura 1).

Sin embargo, el análisis de estabilidad tuvo como limitante bajos valores de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) en algunos genotipos (‘OT789’, ‘CH02’, ‘Leonardo’), por lo que la regresión estaría explicando menos de 50% de la variación observada en dichos genotipos.

Cuadro 6. Valores de coeficiente de regresión, intercepto y  $R^2$  obtenidos del análisis de estabilidad de las 11 variedades en estudio.

Tipo	Variedad	Coefficiente de regresión ( <i>b</i> )	Intercepto	$R^2$
Treviso				
	Tullio	1,95	-1,24	82,1
	OT782	1,18	-7,10	52,1
	TV01	1,25	-7,97	78,4
Chioggia				
	Corrado	0,80	-2,25	56,2
	Ciro	0,82	6,20	65,4
	CH121	0,75	-5,56	76,0
	OT789	0,71	4,19	26,3
	OT790	0,90	-4,69	57,8
	CH01	0,94	1,74	59,7
	CH02	0,83	0,04	28,4
	Leonardo	0,65	13,14	33,1
Media		<b>0,98</b>	<b>- 0,32</b>	<b>56,0</b>
Media Treviso		<b>1,46</b>	<b>-9,18</b>	<b>70,9</b>
Media Chioggia		<b>0,80</b>	<b>1,60</b>	<b>50,4</b>

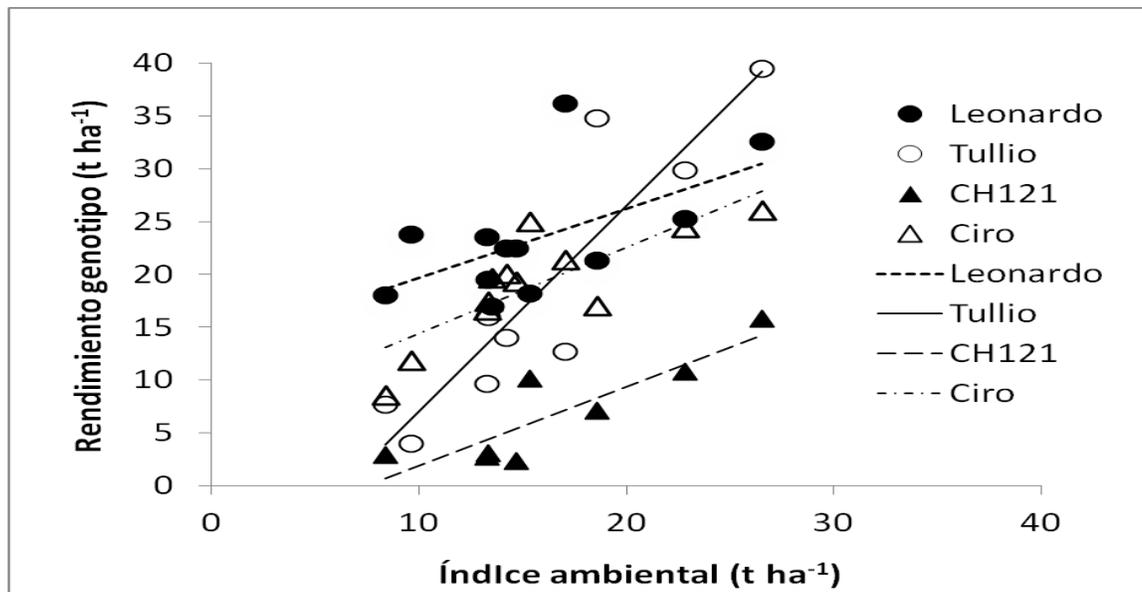


Figura 1. Análisis de estabilidad del rendimiento exportable de las variedades de radicchio 'Leonardo', 'Tullio', 'CH121' y 'Ciro', en 12 ambientes.

En el análisis AMMI para el rendimiento exportable (Figura 2) las dos primeras componentes principales explican el 68% de la variabilidad (CP1 48,2% y CP2 19,5%), suficiente como para explicar los patrones debidos a la interacción GxA (Balzarini *et al.*, 2005).

La CP1 indica que el aspecto más importante de la interacción GxA es explicado por el tipo de radicchio. Todas las variedades de tipo Treviso ('Tullio', 'OT782', 'TV01') tienen valores positivos en la CP1, mientras que las variedades pertenecientes al tipo Chioggia tienen valores negativos. Las variedades tipo Treviso tienen interacción positiva con los ambientes de Padre Hurtado.

Los ambientes Padre Hurtado\_1 y Polpaico\_3 son extremos en el rango de variación de la CP1 y por tanto se concluye que ellos contribuyen más en explicar los patrones de interacción GxA, es decir los cambios más importantes en las diferencias de rendimiento exportable entre variedades son observados en estos ambientes.

'Leonardo' y 'Tullio' son las variedades más extremas en la CP1 y por lo tanto las que más aportan a la interacción.

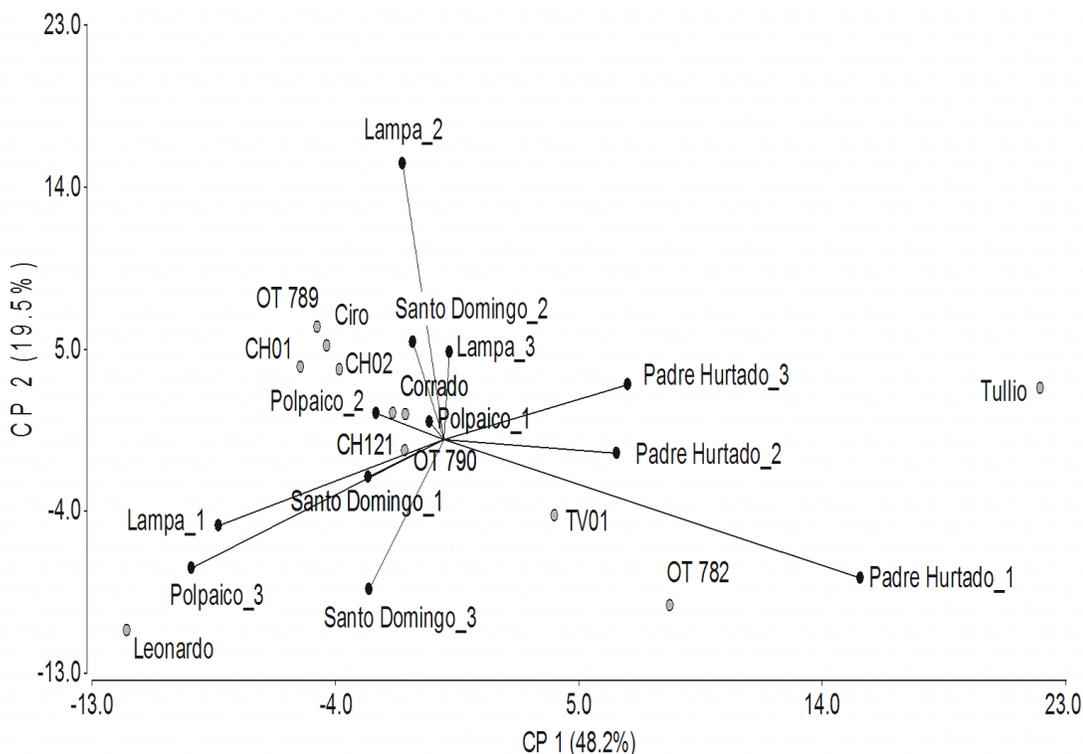


Figura 2. Biplot de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) realizado para el rendimiento exportable de las 11 variedades de radicchio en 12 ambientes.

Los ambientes estudiados se agrupan en 2 mega ambientes (Figura 3). El primero está compuesto por las 3 fechas de siembra de Padre Hurtado, donde la variedad ‘Tullio’ es la de mayor rendimiento exportable, seguido por ‘OT782’. El segundo mega ambiente agrupa todas las fechas de siembra de Polpaico, Santo Domingo y Lampa en donde destaca ‘Leonardo’ seguido por ‘Ciro’, ambas variedades son las de mayor rendimiento exportable.

En la figura 3 también se aprecia que ‘Tullio’ es muy inestable en los ambientes de Padre Hurtado, en cambio ‘OT782’ mostró mayor estabilidad. En el otro mega ambiente la variedad ‘Ciro’ resultó tener mayor estabilidad que ‘Leonardo’.

La variedad ‘CH121’ presentó el menor rendimiento en los 2 mega ambientes.

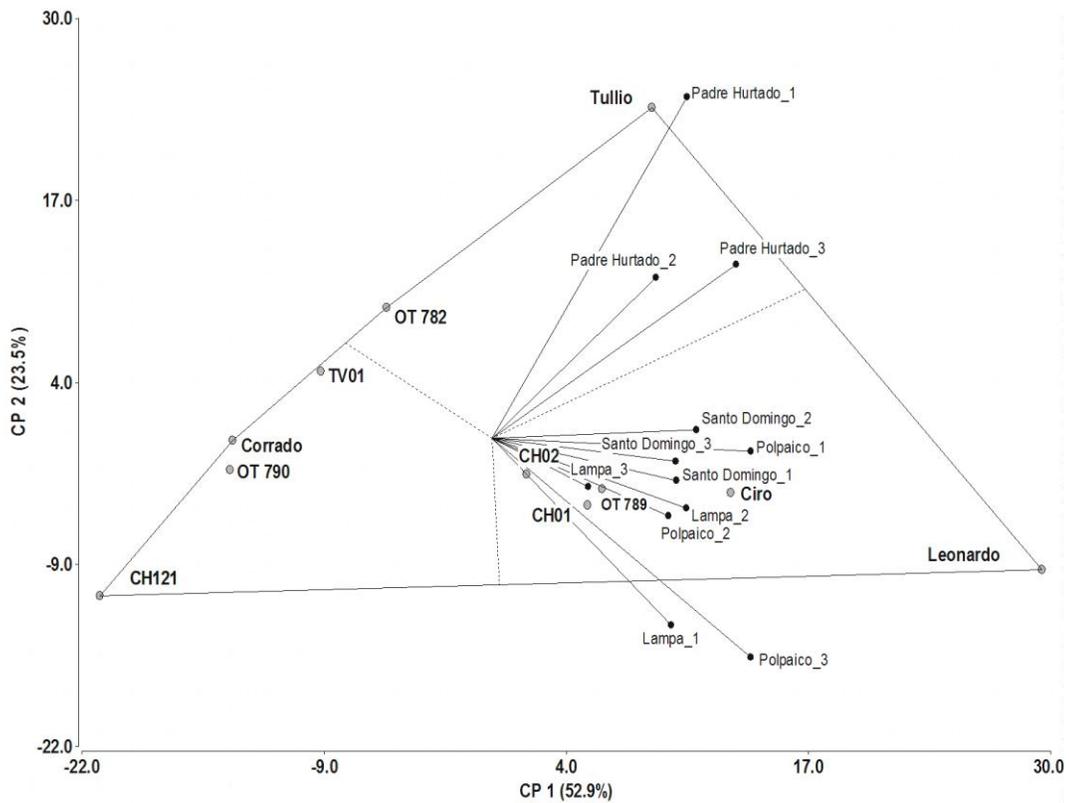


Figura 3. Biplot del modelo de regresión por sitio (SREG) para el rendimiento exportable de 11 variedades de radicchio en 12 ambientes.

En la Figura 4 se muestra el análisis PLS del rendimiento exportable. Las interacciones detectadas entre variedades y ambientes son atribuidas principalmente a las variables ambientales temperatura media y humedad relativa media.

Altos valores de temperatura media y menores humedades relativas medias se presentaron en las tres fechas de siembra de las localidades de Polpaico y Lampa, esto explica la interacción positiva entre las variedades de tipo Chioggia ('Ciro', 'OT789' y 'Leonardo') y estos ambientes, las cuales se separaron del resto de las variedades tipo Chioggia de menor rendimiento. Los ambientes de Padre Hurtado tienen altos valores de humedad relativa y los más bajos valores de temperatura mínima, condiciones que se asociaron con el mejor desarrollo de los radicchios de tipo Treviso. La localidad de Santo Domingo es la que tuvo el mayor porcentaje de humedad relativa y el menor valor de temperatura media.

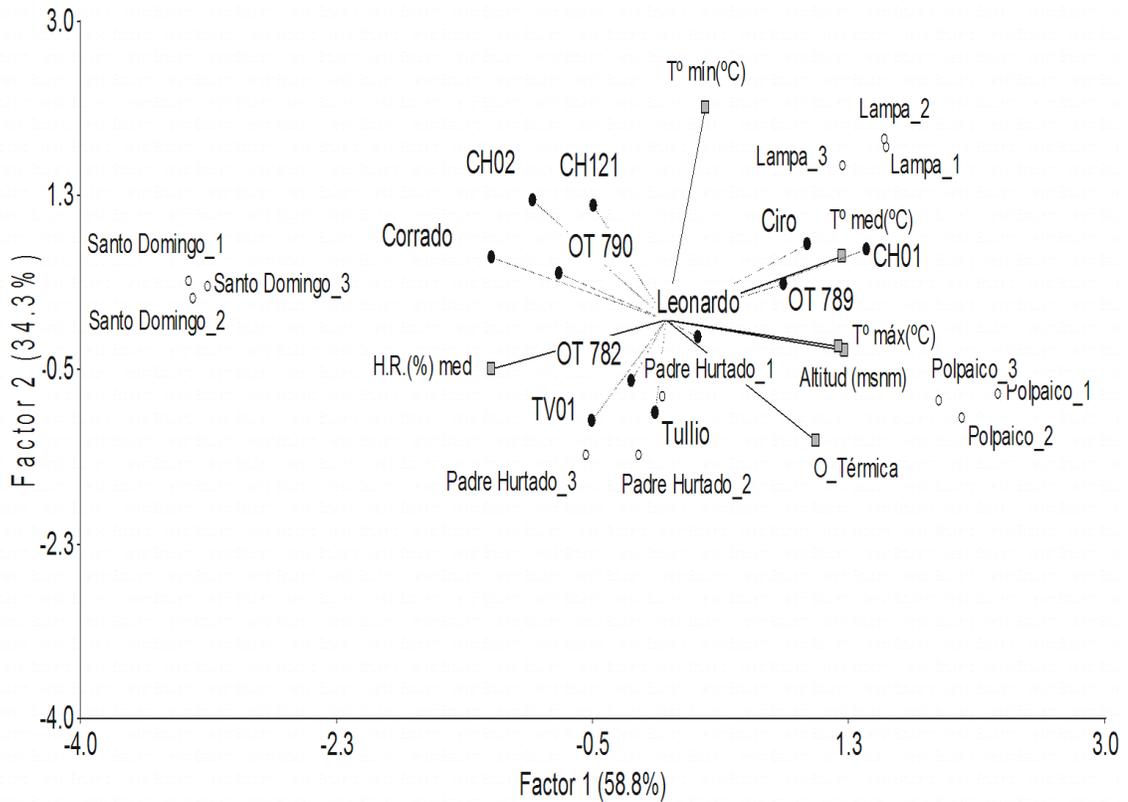


Figura 4. Regresión con mínimos cuadrados parciales (PLS) del rendimiento exportable, incluyendo variedades, ambientes y covariables ambientales.

### **Rendimiento exportable y su asociación con las otras variables estudiadas**

En el Cuadro 7 se observan los valores promedio de las variables evaluadas para cada una de las 11 variedades. Se destaca el alto impacto que tienen las enfermedades sobre el porcentaje de plantas cosechadas y el rendimiento. Las pérdidas asociadas a enfermedades fluctúan entre 16 y 47%, siendo ‘Leonardo’ y ‘Ciro’ las variedades que resultaron ser menos susceptibles a las enfermedades. En comparación a las plantas enfermas, las plantas subidas, así como, las plantas fuera de tipo tuvieron una escasa incidencia en el porcentaje de plantas cosechadas y el rendimiento. Por otro lado el porcentaje de cabezas con color exportable, resultó ser la segunda variable en importancia. El color exportable incide directamente en el rendimiento exportable, el cual se vio disminuido entre un 8 y un 46% debido a esta variable. ‘Leonardo’ y ‘OT782’ presentaron la mayor cantidad de cabezas con color exportable (92 y 91%).

El Cuadro 8 muestra los valores promedio de las variables evaluadas en los 12 ambientes. Se observa que la localidad de Padre Hurtado, presentó los menores porcentajes de plantas enfermas y a su vez los mayores rendimientos exportables. Por otro lado se tiene que las 3 localidades de Padre Hurtado presentan los valores más altos de rendimiento exportable promedio.

Se realizó un ACP para analizar las posibles causas del comportamiento de las variedades en términos de sus componentes de rendimiento (Figura 5). Un 79,5% de la variabilidad total fue explicada por las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2), donde la CP1 explicó el 59% de la variabilidad total. Las variedades con mayor inercia, cuyas proyecciones se encuentran más distantes del cero, son ‘CH121’ y ‘Leonardo’. Estas dos variedades son las que presentan mayores diferencias entre sí. ‘Leonardo’ es la variedad de mayor rendimiento exportable y ‘CH121’ es la de menor rendimiento exportable.

Las variables porcentaje de plantas cosechadas (PI-Co), rendimiento (Rend) y rendimiento exportable (R-Ex) están positiva y altamente correlacionadas. La variable porcentaje de plantas enfermas (PI-En) está asociada positivamente con el número de hojas al momento de cierre de cabeza (N°H-Ci). El porcentaje de plantas subidas (PI-Su) está correlacionado positivamente con el porcentaje de plantas fuera de tipo (PI-FT). El porcentaje de plantas enfermas se encuentra asociado negativamente con el porcentaje de plantas cosechadas (PI-Co), el rendimiento (Rend) y el rendimiento exportable (R-Ex), afectando a estas variables en mayor medida que el porcentaje de plantas subidas. Por otro lado el porcentaje de plantas enfermas y el porcentaje de plantas subidas fueron las variables que presentaron los valores más altos en las variedades ‘CH121’ y ‘OT790’ posicionadas sobre la izquierda del biplot, mientras que el porcentaje de plantas cosechadas (PI-Co), rendimiento (Rend) y rendimiento exportable (R-Ex) presentaron los valores más altos en las variedades de tipo Chioggia ‘Leonardo’ y ‘Ciro’ posicionados a la derecha del biplot. La variedad de tipo Treviso ‘Tullio’ fue la que tuvo el mayor porcentaje de color exportable.

Cuadro 7. Valores promedio de las variables evaluadas para cada una de las 11 variedades.

<b>Variedades</b>	<b>Plantas enfermas (%)</b>	<b>Pantas subidas (%)</b>	<b>Pantas fuera de tipo (%)</b>	<b>Plantas Cosechadas (%)</b>	<b>Peso de Cabeza (g)</b>	<b>Rendimiento (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Color Exportable (%)</b>	<b>Rendimiento exportable (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>N° hojas a cierre cabeza</b>
‘Tullio’	39 b	1,6 b	0 b	59,0 c	440 a	21,8 b	82 c	18,7 b	14,6 b
OT 782	39 b	3,9 b	0,3 b	57,2 c	313 d	17,9 d	91 a	13,6 d	14,1 c
‘TV01’	42 b	3,0 b	0,7 b	54,7 c	332 c	14,5 d	87 b	12,6 d	15,9 a
‘Corrado’	42 b	4,3 b	0,9 b	52,8 c	332 c	14,3 d	79 c	11,2 e	13,3 d
‘Ciro’	17 d	2,5 b	0,5 b	79,8 a	384 b	24,3 a	78 c	19,0 b	9,8 k
‘CH121’	47 a	8,3 c	1,8 a	43,0 d	295 d	10,2 e	61 d	6,8 f	11,4 g
OT 789	21 d	4,1 b	0,3 b	74,1 b	337 c	19,6 c	84 b	16,6 c	10,9 i
OT 790	43 b	6,2 c	1,0 b	50,3 c	446 a	17,7 c	54 e	10,3 e	12,1 e
‘CH01’	26 c	3,2 b	0,5 b	70,1 b	365 b	20,1 c	81 c	16,5 c	11,3 h
‘CH02’	22 d	6,3 c	0,7 b	70,6 b	348 c	19,1 c	81 c	15,7 c	11,8 f
‘Leonardo’	16 d	0,4 a	0,8 b	82,8 a	386 b	25,3 a	92 a	23,3 a	10,2 j
Media	32,0	4,0	0,7	62,5	362	18,3	79	14,9	12,3
Media Treviso	40,0	2,8	0,3	57,0	362	18,1	87	15,0	14,9
Media Chioggia	29,3	4,4	0,8	65,0	362	18,8	76	14,9	11,4

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas. Prueba de comparación múltiple DGC ( $p < 0,05$ ).

Cuadro 8. Valores promedio de las variables evaluadas en los 12 ambientes.

<b>Ambiente</b>	<b>Plantas enfermas (%)</b>	<b>Pantas subidas (%)</b>	<b>Pantas fuera de tipo (%)</b>	<b>Plantas Cosechadas (%)</b>	<b>Peso de Cabeza (g)</b>	<b>Rendimiento (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Color Exportable (%)</b>	<b>Rendimiento exportable (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>N° hojas a cierre cabeza</b>
Polpaico_1	40 b	0,1 d	0,1 b	59,6 c	348 c	16,6 d	75 c	12,8 d	17,8 a
Polpaico_2	42 b	0,2 d	0,2 b	57,3 c	397 b	17,7 d	79 c	14,0 d	15,9 b
Polpaico_3	40 b	0,2 d	0,1 b	59,8 c	398 b	19,8 c	89 b	17,6 c	12,6 e
Lampa_1	37 b	6,7 b	1,5 a	54,4 c	357 c	15,3 d	69 d	10,6 d	14,8 d
Lampa_2	31 c	2,1 c	0,6 b	66,5 b	370 c	19,7 c	82 b	16,1 c	12,0 g
Lampa_3	49 a	2,1 c	0,5 b	48,3 d	436 a	16,5 d	81 c	13,5 d	9,8 i
Padre Hurtado_1	15 e	14,4 a	0,6 b	69,6 b	402 b	21,7 c	74 c	16,7 c	10,6 h
Padre Hurtado_2	21 d	9,0 b	0,6 b	68,8 b	448 a	25,9 b	83 b	21,4 b	9,6 k
Padre Hurtado_3	16 e	4,2 c	0,4 b	79,3 a	449 a	28,3 a	92 a	25,9 a	7,4 l
Santo Domingo_1	36 b	1,8 c	1,3 a	60,7 c	215 e	10,2 e	76 c	8,2 e	15,0 c
Santo Domingo_2	25 d	2,0 c	1,3 a	71,5 b	278 d	15,7 d	79 c	12,5 d	12,4 f
Santo Domingo_3	37 b	0,8 d	0,8 b	61,3 c	303 d	15,1 d	77 c	11,8 d	9,7 j
Media	33	4,0	0,63	62,3	367	18,5	80	15,1	12,3

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas. Prueba de comparación múltiple DGC ( $p < 0,05$ ).

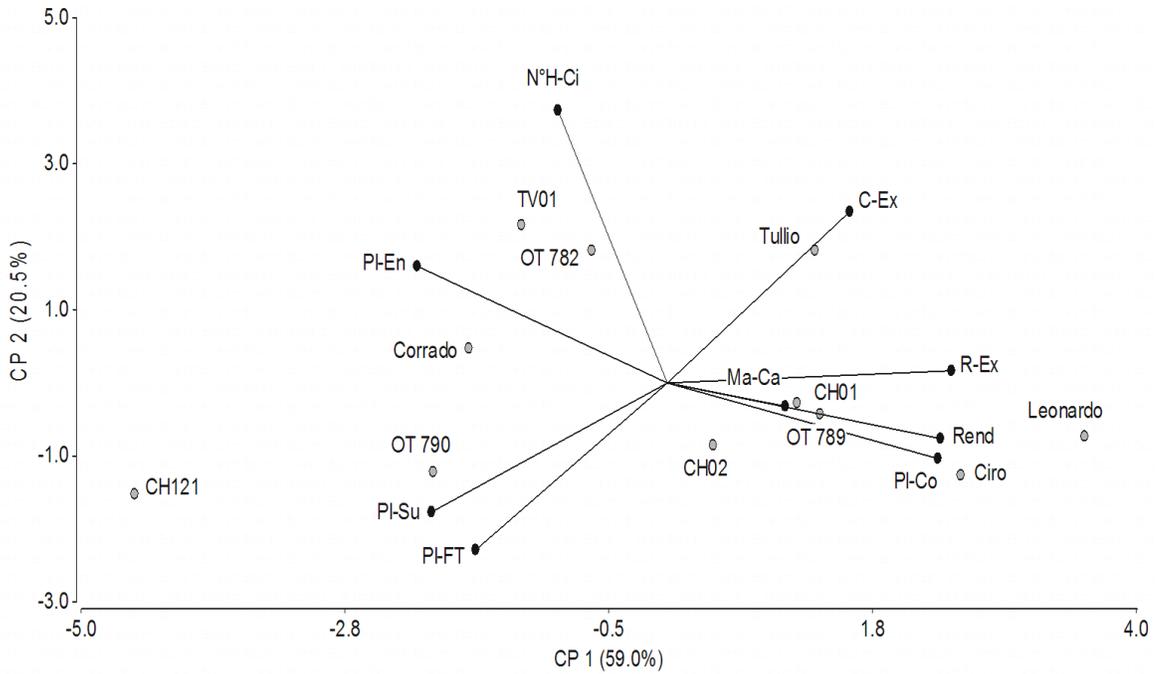


Figura 5. Componentes principales del comportamiento de las variedades (puntos grises) respecto del conjunto de variables medidas (vectores). Las abreviaturas corresponden a porcentaje de plantas cosechadas (PI-Co), rendimiento (Rend), rendimiento exportable (R-Ex), porcentaje de plantas enfermas (PI-En), porcentaje de plantas florecidas (PI-Su), porcentaje de plantas fuera de tipo (PI-FT), número de hojas al momento de cierre de cabeza (N°H-Ci), peso de la cabeza (Ma-Ca) y color exportable (C-Ex).

En el análisis de componentes principales de los ambientes (Figura 6) el 77,7% de la variabilidad total en el conjunto de los casos lo explican las dos primeras componentes.

La CP1 explica el 54% de la variabilidad total. Los ambientes más extremos de la variabilidad total fueron Santo Domingo\_1 y Padre Hurtado\_3, donde se alcanzaron los menores y mayores rendimientos exportables, respectivamente. Estas diferencias están dadas principalmente por el porcentaje de plantas enfermas (PI-En) y el número de hojas al momento de cierre de cabeza (N°H-Ci). Las variables (Rend) y (R-Ex) se encuentran correlacionadas negativamente con el porcentaje de plantas enfermas (PI-En). La localidad Padre Hurtado fue la que tuvo el menor porcentaje de plantas enfermas.

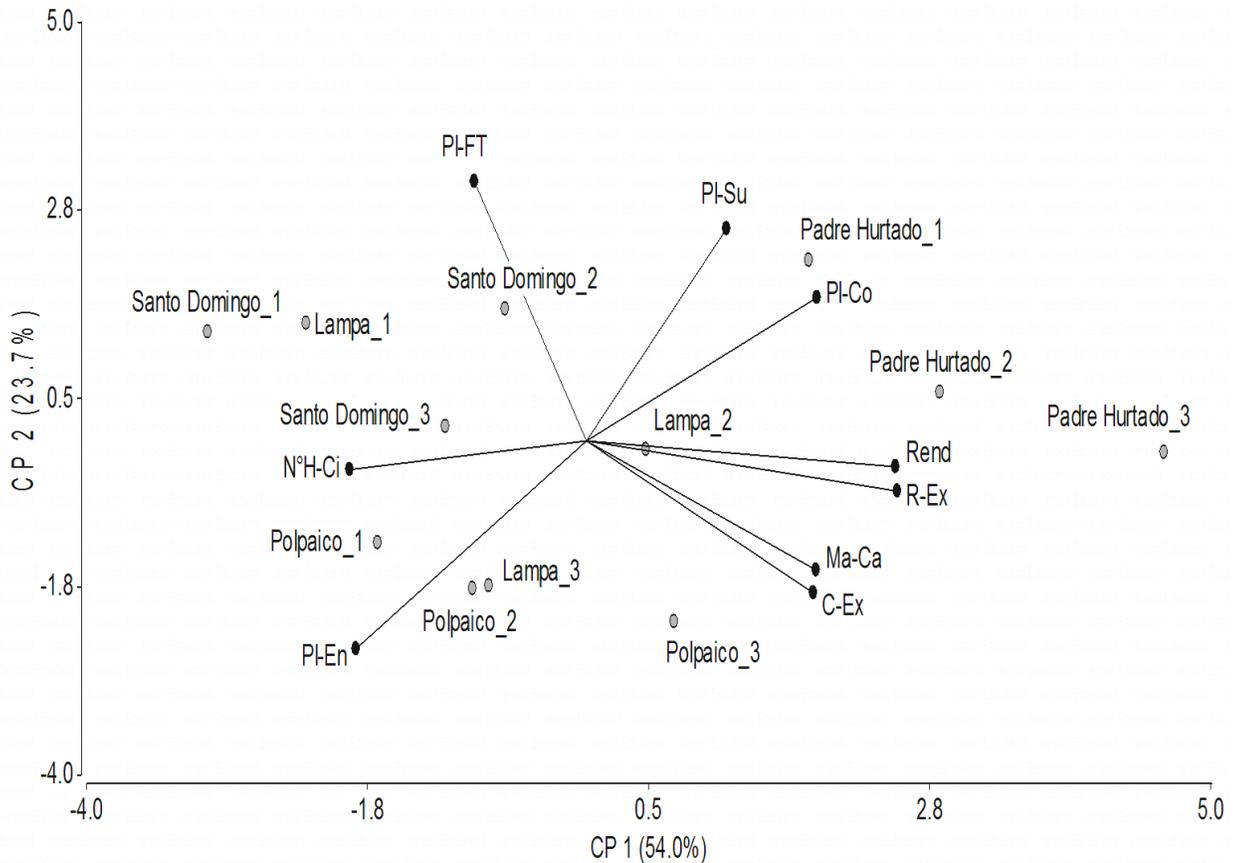


Figura 6. Componentes principales del efecto de los 12 ambientes (puntos grises) en la respuesta de las variables analizadas (vectores). Las abreviaturas corresponden a porcentaje de plantas cosechadas (PI-Co), rendimiento (Rend), rendimiento exportable (R-Ex), porcentaje de plantas enfermas (PI-En), porcentaje de plantas florecidas (PI-Su), porcentaje de plantas fuera de tipo (PI-FT), número de hojas al momento de cierre de cabeza (N°H-Ci), peso de la cabeza (Ma-Ca) y color exportable (C-Ex) .

## DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos, existen variedades de polinización abierta que debido al alto rendimiento exportable logrado en las localidades evaluadas de la zona central de Chile, pueden ser utilizadas como alternativa al híbrido 'Leonardo'. Sin embargo, no existe una variedad que pueda usarse de manera generalizada en todos los ambientes, ya que la variedad de mejor comportamiento en una localidad no necesariamente es la mejor en las otras, quedando esto de manifiesto a partir de los análisis combinados de varianza realizados, en los que la interacción GxA resultó ser altamente significativa para el rendimiento exportable. Al evaluar los patrones de la interacción se observó que el determinante más importante de estos, fue el tipo de radicchio. Los radicchios de tipo Chioggia mostraron una interacción positiva con los ambientes de Polpaico, Santo Domingo y Lampa, y los de tipo Treviso tuvieron interacción positiva con los ambientes de Padre Hurtado. Biesiada y Tomczak (2012) observaron variaciones considerables en la proporción del rendimiento exportable sobre el rendimiento total según tipo y variedad de radicchio. 'Leonardo' y 'Tullio' son las variedades que más aportaron a la interacción GxA. La variedad 'Ciro' fue más estable que 'Leonardo' en cuanto al orden de rendimiento en los doce ambientes (Fig.2).

Es posible explotar la interacción GxA a través de la selección de variedades que se adapten ampliamente a las localidades y evitar la interacción mediante la selección por adaptación específica (Cooper *et al.*, 1996; Kang, 1998). El único modo en que la interacción GxA puede ser explotada es dividiendo los ambientes objetivos en mega ambientes (Yan y Tinker, 2006). En estos ensayos, se observó una clara separación de las localidades en dos mega ambientes, uno determinado por la localidad de Padre Hurtado y el otro por las localidades de Polpaico, Santo Domingo y Lampa (Fig. 3). La separación de mega ambientes es atribuible principalmente a las variables ambientales temperatura media y humedad relativa media. Los ambientes de Polpaico y Lampa se caracterizaron por tener altos valores de temperatura media y bajos de humedad relativa media, en cambio los ambientes de Padre Hurtado mostraron un comportamiento opuesto con los menores valores de temperatura mínima y humedad relativa media.

Las variedades consideradas de adaptación amplia correspondieron al tipo Chioggia, destacando a 'Leonardo' y 'Ciro'; y las de adaptación específica al tipo Treviso siendo la variedad de polinización abierta 'Tullio' la que resultó tener los mayores rendimientos para el mega ambiente constituido por las tres fechas de siembra de la localidad de Padre Hurtado. La variedad del tipo Chioggia de mayor rendimiento exportable fue el híbrido 'Leonardo', seguida por la variedad 'Ciro' de polinización abierta (Figura 3), esta última podría ser considerada como una alternativa económica a 'Leonardo' en el mega ambiente determinado por las localidades de Polpaico, Santo Domingo y Lampa, debido a su alto rendimiento y menor costo.

Las principales causas de la reducción en el rendimiento exportable se debieron al porcentaje de plantas enfermas y al porcentaje de cabezas con color exportable.

Las enfermedades *Sclerotinia* sp., *Rhizoctonia* sp. y *Erysiphe* sp, provocaron disminuciones del rendimiento exportable que fluctuaron entre 16% y 47%. Resultados similares fueron reportados por Berlien (2004) y Biesiada y Tomczak (2012). El porcentaje de plantas enfermas tuvo una asociación negativa con el rendimiento exportable ( $r = 0,82^{**}$ ) y una asociación positiva con número de hojas al cierre de la cabeza ( $r = 0,68^*$ ).

Las variedades tipo Chioggia, ‘Leonardo’ y ‘Ciro’ presentaron la menor cantidad de plantas enfermas, por lo que se puede afirmar que poseen una mayor resistencia a las enfermedades, a diferencia de las variedades tipo Treviso, las que solo mostraron buen comportamiento en los ambientes con bajos porcentajes de enfermedades.

Los ambientes más extremos en términos de rendimiento exportables, fueron Santo Domingo\_1 y Padre Hurtado\_3 en donde se alcanzaron los menores y mayores rendimientos exportables respectivamente. En general se aprecia que el ambiente de Padre Hurtado tuvo los menores porcentajes de plantas enfermas, y asociado a esto, los mayores rendimientos exportables. Mientras Polpaico y Lampa presentaron los mayores porcentajes de plantas enfermas. En Padre Hurtado habría menor porcentaje de plantas enfermas producto de mejores condiciones climáticas (temperatura media y humedad relativa media) y a las características de los suelos de la zona, clase textural arenosa, reconocida como óptima para el radicchio (Pimpini, 1990). Además, Padre Hurtado presentó el menor número de hojas al momento de cierre de la cabeza, lo que habría permitido mejores condiciones de aireación de canopia entre las hileras plantadas, evitando con esto condiciones favorables para el desarrollo de las enfermedades. Se ha visto (Tu, 1997) que hileras angostas y alta densidad de siembra reducen la circulación del aire atrapando la humedad en la canopia, lo que contribuiría a la alta incidencia de *Sclerotinia sclerotium*. Un efecto similar se podría obtener en la canopia con manejos de riego deficientes, al aplicar tiempos de riego excesivos y en alta frecuencia. Otro aspecto interesante que influiría en el mayor rendimiento es que Padre Hurtado se caracteriza por presentar altos niveles de nitrógeno en sus suelos, debido al aporte proveniente de las aguas del río Mapocho, el cual es rico en nitratos (Silva *et al.*, 2007). En radicchio aumentos en la dosis de nitrógeno en el suelo aumentan en forma significativa el rendimiento y la peso de cabeza (Biesiada y Kolota, 2008; Biesiada y Kolota, 2010). La variedad del tipo Treviso, ‘Tullio’, fue la que alcanzó el mayor peso de cabeza, y lo hizo en la localidad de Padre Hurtado.

‘Ciro’ obtuvo un menor rendimiento exportable que ‘Leonardo’, producto de un menor porcentaje de color exportable (Cuadro 7). El color exportable determina si un vegetal es comercializable o no (Gazula *et al.*, 2005). Se sabe que la calidad y el rendimiento exportable en radicchio son influenciados por numerosos factores, como las condiciones climáticas, humedad del suelo, fertilización, fecha de siembra, fecha de cosecha, tipo de

radicchio y variedad (Berlien, 2004; Znidarcic *et al.*, 2004; Monti *et al.*, 2005; Biesiada y Kolota, 2008; Francke y Majkowska-Gadomska, 2008; Devacht *et al.*, 2009; Lucarini *et al.*, 2012). En el caso del radicchio, la coloración roja se ve aumentada con las bajas temperaturas (Perkins-Veazie y Russo, 1992) y se ve disminuida con las altas temperaturas, provocando la degradación de los pigmentos antocianos (Dela *et al.*, 2003; Gazula *et al.*, 2005; Gazula *et al.*, 2007). Boo *et al.* (2006) encontraron que los más altos niveles de antocianina fueron sintetizados en radicchio con temperaturas de 15°C durante el día y 10°C durante la noche, seguidos por rangos entre 20°/15°C y 25°/20°C. Mientras que la síntesis fue inhibida al 90% con temperaturas de 30°C día y 25°C noche. Según todo lo anterior, sería posible mejorar el porcentaje de color exportable en cada localidad, utilizando las fechas de siembra más adecuadas (Cuadro 8). Existen muchos ejemplos de cultivos en donde se alcanzaron mejoras en adaptación a diferentes ambientes a través del ajuste de la ontogenia del cultivo a la oferta temporal de recursos climáticos de dichos ambientes, evitando las condiciones menos favorables y, cuando éstas son inevitables, minimizando el riesgo de coincidencia con las fases más vulnerables del desarrollo del cultivo (White, 1990; Lawn e Imrie, 1991). Rangarajan e Ingall (2001), a su vez probaron establecer mejoras en el color de las variedades a través del cultivo con cubiertas protectoras de diferentes colores, logrando promisorios resultados con cubiertas de color gris. Lo anterior demuestra que este parámetro puede ser modificado más allá de las condiciones ambientales que presente el cultivo o de las condiciones varietales.

En este trabajo la disminución de rendimiento producto de la emisión temprana del tallo floral fue despreciable en relación al porcentaje de plantas enfermas y al color exportable, sin embargo, para muchos autores (Paulet, 1985; Suhonen, 1991; Grevsen, 1992; Carvajal y Krarup, 1997; Gianquinto, 1997; Znidarcic *et al.*, 2004), la emisión prematura del tallo floral es la mayor causante de la baja del rendimiento en radicchio.

La variedad ‘CH121’ fue la que tuvo los menores rendimientos debido al alto porcentaje de plantas enfermas, plantas subidas y bajo porcentaje de color exportable.

La localidad de Polpaico fue la que tuvo la mayor incidencia de enfermedades, mayores temperaturas y mayor oscilación térmica.

## CONCLUSIONES

Existe interacción GxA significativa para las variedades de radicchio, lo que permite la selección de variedades específicas para 2 megambientes.

En el mega ambiente compuesto por Polpaico, Lampa y Santo Domingo, la variedad híbrida 'Leonardo' es la de mayor rendimiento exportable. Sin embargo, 'Ciro' que también es una variedad del tipo Chioggia pero de polinización abierta, puede considerarse una buena alternativa económica para estas localidades.

En el mega ambiente compuesto por las localidades de Padre Hurtado, la variedad de polinización abierta del tipo Treviso, 'Tullio', es una alternativa económica.

Las enfermedades son la principal causa de pérdida del rendimiento exportable de radicchio en la zona central de Chile.

## BIBLIOGRAFÍA

- Balzarini, M.; C. Bruno y A. Arroyo. 2005. Análisis de Ensayos Agrícolas Multiambientales. Ejemplos en Info - Gen. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. 141p.
- Balzarini, M. y J. Di Rienzo. 2011. InfoGen versión. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.info-gen.com.ar>
- Barcaccia, G.; M. Lucchin; R. Lazzarin and P. Parrini. 2003. Relationships among radicchio (*Cichorium intybus* L.) types grown in Veneto and diversity between local varieties and selected lines as assessed by molecular markers. *Eucarpia Leafy Vegetables*. 2003: 105-110. Disponible en: [http://www.leafyvegetables.nl/download/18\\_105-110\\_Parrini.pdf](http://www.leafyvegetables.nl/download/18_105-110_Parrini.pdf)
- Berlien, E. 2004. Comportamiento adaptativo de ocho cultivares de Radicchio (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum*) bajo las condiciones agroclimáticas de Valdivia. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 84p.
- Biesiada, A. and A. Tomczak. 2012. Usability of different types and cultivars of salad chicory (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum* (Hegi) Bish.) for spring cultivation. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 11(1): 193-204.
- Biesiada, A. and E. Kolota. 2010. The effect of nitrogen fertilization on yielding and chemical composition of radicchio chicory for autumn-harvest cultivation. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 9(4): 85-91.
- Biesiada, A. and E. Kolota. 2008. The effect of nitrogen fertilization on yield and quality of radicchio. *J. Elementol*, 13(2): 175-180.
- Boo, H.; S. Chon and S. Lee. 2006. Effects of temperature and plant growth regulators on anthocyanin synthesis and phenylalanine ammonia-lyase activity in chicory (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 81(3): 478-482.
- Bravo, L. 2009. Evaluación de variedades de radicchio en la localidad de lampa. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 30p.
- Carvajal, M. and H. Krarup. 1997. Performance of several cultivars of raddichio under the conditions of Valdivia. *Agro Sur*, 25(1): 57-61.

- Carrasco, G.; C. Carmona; C. Sandoval and M. Urrestarazu. 1998. Plant density on yield of red chicory heads-radicchio rosso (*Cichorium intybus* var. *foliosum*) grow in south central Chile. *ActaHorticulturae*, 467(1): 269-275.
- Cooper, M. 1999. Concepts and strategies for plant adaptation research in rainfed lowland rice. *Field Crops Research*, 64(1): 13-34.
- Cooper, M.; P. Brennan and J. Sheppard. 1996. A strategy for yield improvement of wheat which accommodates large genotype by environment interactions. (pp. 487-512). In: Cooper, M. and G. Hammer. (ed.). *Plant Adaptation and Crop Improvement*. UK: CAB International. 608p.
- Crossa, J.; H. Gauch and R. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science*, 30(3): 493-500.
- Crossa, J.; P. Cornelius; K. Sayre and I. Ortiz. 1995. A shifted multiplicative model fusion method for grouping environments without cultivar rank change. *Crop Science*, 35(1): 54-62.
- Crossa, J. and P. Cornelius. 1997. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variance. *Crop Science*, 37(2): 405-415.
- Cruz, R. 1992. Some exact conditional tests for the multiplicative models to explain genotype-environment interaction. *Heredity*, 69(2): 128-132.
- Dela, G.; E. Or; R. Ovadia; A. Nissim-Levi; D. Weiss and M. Oren-Shamir. 2003. Changes in anthocyanin concentration and composition in “Jaguar” rose flowers due to transient high-temperature conditions. *Plant Science*, 164(3): 333-340.
- DeLacy, I.; K. Basford; M. Cooper; J. Bull and C. McLaren. 1996. Analysis of multi-environment trials - An historical perspective. (pp. 39-124). In: Cooper, M. and G. Hammer. (ed.). *Plant Adaptation and Crop Improvement*. UK: CAB International. 608p.
- Devacht, S.; P. Lootens; I. Roldán-Ruiz; L. Carlier; J. Baert; J. Van Waes. *et al.* 2009. Influence of low temperatures on the growth and photosynthetic activity of industrial chicory, *Cichorium intybus* L. partim. *Photosynthetica*, 47(3): 372-380.
- Di Rienzo, J.; A. Guzman and F. Casanoves. 2001. A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 7(2): 129-142.

- Eberhart, S. and A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1): 36-40.
- Eenink, A. 1981. Compatibility and incompatibility in witloof-chicory (*Cichorium intybus* L.). 2. the incompatibility system. *Euphytica*, 30(1): 77-85.
- Finlay, K. and G. Wilkinson. 1963. The Analysis of adaptation in plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14(6): 742-754.
- Francke, A. and J. Majkowska-Gadomska. 2008. Effect of planting date and method on the chemical composition of radicchio heads. *J. Elementol*, 13(2): 199-204.
- Gauch, H. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, 44(3): 705-715.
- Gazula, A.; M. Kleinhenz; J. Streeter and A. Miller. 2005. Temperature and Cultivar Effects on Anthocyanin and Chlorophyll b Concentrations in Three Related Lollo Rosso Lettuce Cultivars. *HortScience*, 40(6): 1731-1733.
- Gazula, A.; M. Kleinhenz and J. Scheerens. 2007. Anthocyanin Levels in Nine Lettuce (*Lactuca sativa*) Cultivars: Influence of Planting Date and Relations among Analytic, Instrumented, and Visual Assessments of Color. *HortScience*, 42(2): 232-238
- Gianquinto, G. and F. Pimpini. 1989. The influence of temperature on growth, bolting and yield of chicory cv. Rosso di Chioggia (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Horticultural Science*, 64(6): 687-695.
- Gianquinto, G. 1997. Morphological and physiological aspects of phase transition in radicchio (*Cichorium intybus* L. var. *silvestre* Bisch.): influence of day length and its interaction with low temperature. *Scientia Horticulturae*, 71(1): 13-26.
- Gómez, V. 2009. Evaluación de variedades de radicchio, en tres fechas de transplante, Región Metropolitana. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 79p.
- Grevsen, K. 1992. Experiments with the cultivation of red leafed chicory - "radicchio rosso"- under north european conditions. *Acta Horticulturae*, 318(1): 125-133.
- Hill, D. 1988. The chicories: witloof (Belgian endive) and radicchio trials – 1986 - 1987. New Haven, Connecticut: University of Connecticut. Connecticut Agricultural Experiment Station. Bulletin 859. 12p.

- Kang, M. and Magari, R. 1996. New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. (pp. 1-14). In: Genotype by environment interaction. Kang, M. y H. Gauch (ed.). Florida, USA: CRC Press, Boca Raton. 416p.
- Kang, M. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in Agronomy*, 62: 199-252.
- Kempton, R. and G. Lockwood. 1984. Inter-plot competition in variety trials of field beans (*Vicia faba* L.). *The Journal of Agricultural Sciences*, 103(2): 293-302.
- Kiers, A.; T. Mes; R. Van der Meijden and K. Bachmann. 1999. Morphologically defined *Cichorium* (*Asteraceae*) species reflect lineages based on chloroplast and nuclear (ITS) DNA data. *Systematic Botany*, 24(4): 645-659.
- Lawn, R. and B. Imrie. 1991. Crop improvement for tropical and subtropical Australia: Designing plants for difficult climates. *Field Crops Research*, 26(2): 113-139.
- Lazzarin, R.; L. Bellia and D. Masiero. 2000. Nuove opportunità per il trapianto del radicchio. *Informatore Agrario*, 56(26): 76-79.
- Lucarini, M.; L. D'Evoli; S. Tufi; P. Gabrielli; S. Paoletti; S. Di Ferdinando. *et al.* 2012. Influence of growing system on nitrate accumulation in two varieties of lettuce and red radicchio of treviso. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(14): 2796-2799.
- Mencarelli, F. 2004. Radicchio. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stakes. Agriculture handbook number 66 (HB-66). Disponibile en: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/118radicchio.pdf>.
- Monti, A.; M. Amaducci; G. Pritoni and G. Venturi. 2005. Growth, fructan yield, and quality of chicory (*Cichorium intybus* L.) as related to photosynthetic capacity, harvest time, and water regime. *Journal of Experimental Botany*, 56(415): 1389-1395.
- Paulet, P. 1985. *Cichorium intybus* and *Cichorium endivia*. (cap. 2, pp. 265-271). In: Halevy, A. (Ed.). Handbook of flowering. Florida, USA: CRC Press Boca Raton.
- Perkins-Veazie, P. and V. Russo. 1992. Postharvest changes during storage of packaged radicchio. *Journal of Food Quality*, 15(2): 111-118.
- Pimpini, F. 1990. Radicchio (*Cichorium intybus* L.). (pp. 320 – 338). En: Orticoltura. Bologna, Italia. Patron editore. 338p.
- Rangarajan, A. and B. Ingall. 2001. Mulch color affects radicchio quality and yield. *HortScience*, 36(7): 1240-1243.

Silva, P.; J. Kolopp y E. Acevedo. 2007. Trigo candeal: ¿Dónde cultivar para tener una mejor calidad?. (pp. 89-102). En: Trigo Candeal: Calidad, mercado y zonas de cultivo. Acevedo, E. y P. Silva (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Serie Ciencias Agronómicas N°12. 182p.

Smith A.; B. Cullis and R. Thompson. 2001. Analyzing variety by environment data using multiplicative mixed models and adjustments for special field trend. *Biometrics*, 57(4): 1138-1147.

Suhonen, I. 1991. Growth, bolting and yield quality of “radicchio rosso”. *Scientia Horticulturae*, 46(1): 25-31.

Varotto, S.; L. Pizzoli; M. Lucchin and P. Parrini. 1995. The incompatibility system in Italian red chicory (*Cichorium intybus* L.). *Plant Breeding*, 114(6): 535-538.

Vargas, M.; J. Crossa; K. Sayre; M. Reynolds; M. Ramírez and M. Talbot. 1998. Interpreting genotype×environment interaction in wheat using partial least squares regression. *Crop Science*, 38(3): 679-689.

Vargas, M.; J. Crossa; F. Van Eeuwijk; M. Ramírez and K. Sayre. 1999. Using partial least-square regression, factorial regression, and AMMI models for interpreting genotype×environment interaction. *Crop Science*, 39(4): 955-957.

Vargas, M.; J. Crossa; F. Van Eeuwijk; K. Sayre and M. Reynolds. 2001. Interpreting treatment×environment interaction in agronomy trials. *Agronomy Journal*, 93(4): 949-960.

Viveros, F. Evaluación de variedades de Radicchio en la localidad de Polpaico con fines de exportación. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 40p.

White, K. 1990. Sunflowers in Australia – Prospects for the 90’s, Victorian Farmers Federation Forum, Where to with Oilseeds. Victoria, Australia, August 1990. Longrenong.

Yan, W. and L. Hunt. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Sciences*, 41(1): 19-25.

Yan, W. and N. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3): 623–645.

Žnidarčič, D.; J. Osval and S. Trdan. 2004. Plant characteristics for distinction of red chicory (*Cichorium intybus* L. var. *silvestre* Bish.) cultivars grown in central Slovenia. *Acta Agriculturae Slovenica*, 83(2): 251-260.

## APÉNDICES

### I. Fechas de siembra y trasplante de las 4 localidades en estudio.

Localidad	Fecha 1		Fecha 2		Fecha 3	
	Siembra	Trasplante	Siembra	Trasplante	Siembra	Trasplante
Polpaico	12-Nov	20-Dec	27-Nov	3-Jan	12-Dec	17-Jan
Lampa	12-Nov	21-Dec	27-Nov	4-Jan	13-Dec	18-Jan
Padre Hurtado	12-Nov	19-Dec	27-Nov	3-Jan	12-Dec	16-Jan
Santo Domingo	12-Nov	21-Dec	27-Nov	4-Jan	13-Dec	18-Jan

### II. Número de días para tres intervalos del periodo de desarrollo del cultivo (trasplante hasta el momento de cierre de cabeza, trasplante a cosecha y cierre de cabeza a cosecha).

Ambiente	N° de Días		
	Siembra a cosecha	Trasplante a cierre de cabeza	Trasplante a cosecha
<b>Polpaico 1</b>	115	50	77
<b>Polpaico 2</b>	116	36	79
<b>Polpaico 3</b>	126	29	90
<b>Lampa 1</b>	100	40	61
<b>Lampa 2</b>	86	35	48
<b>Lampa 3</b>	81	28	45
<b>P. Hurtado 1</b>	124	34	87
<b>P. Hurtado 2</b>	131	30	94
<b>P. Hurtado 3</b>	142	21	107
<b>S.Domingo 1</b>	127	41	89
<b>S.Domingo 2</b>	120	34	83
<b>S.Domingo 3</b>	114	26	78

## III. Valores promedio de temperatura y humedad relativa en los 12 ambientes.

Ambiente	T°máx (°C)	T°mín (°C)	T°med (°C)	Oscilación Térmica	H.R.med (%)
<b>Polpaico 1</b>	35,4	11,7	24,2	23,7	50,5
<b>Polpaico 2</b>	35,4	11,4	23,1	24,0	54,7
<b>Polpaico 3</b>	34,9	11,8	22,8	23,1	56,0
<b>Lampa 1</b>	31,7	17,2	23,7	14,5	47,6
<b>Lampa 2</b>	31,2	17,2	24,0	14,0	46,9
<b>Lampa 3</b>	30,8	16,7	23,2	14,1	52,0
<b>P. Hurtado 1</b>	29,4	11,3	19,7	18,1	70,6
<b>P. Hurtado 2</b>	29,1	9,9	18,7	19,2	71,3
<b>P. Hurtado 3</b>	27,8	9,8	18,0	18,0	74,4
<b>S.Domingo 1</b>	20,1	12,8	16,0	7,3	92,7
<b>S.Domingo 2</b>	20,6	12,7	16,3	7,9	92,4
<b>S.Domingo 3</b>	20,3	12,4	16,0	7,9	93,3

## IV. Suma de cuadrados de las variables en estudio.

Fuente de Variación	R-ex	C-ex	Rend	Ma-Ca	Pl-Co	Pl-En	Pl- Su	Pl-FT	N°H-Ci	D	A
<b>Ambiente</b>	40,8***	19,6***	39,0***	56,3***	16,6***	27,9***	58,0***	19,3***	59,5*	41,8***	4,6***
<b>Variedad</b>	34,7***	44,6***	32,2***	21,1***	47,5***	37,0***	11,1***	11,2*	25,8*	43,1***	88,9***
<b>Variedad*Ambiente</b>	24,4***	35,6***	28,6***	22,5***	35,7***	34,9***	30,7***	69,3 ns	14,6*	14,9***	6,4***

ns: no significativo \*: significativo ( $p < 0,05$ ) \*\*: muy significativo ( $p < 0,01$ ) \*\*\*: altamente significativo ( $p < 0,001$ )

Las abreviaturas corresponden a: porcentaje de plantas cosechadas (Pl-Co), rendimiento (Rend), rendimiento exportable (R-Ex), porcentaje de plantas enfermas (Pl-En), porcentaje de plantas con emisión de tallo floral (Pl-Su), porcentaje de plantas fuera de tipo (Pl-FT), número de hojas al momento de cierre de cabeza (N°H-Ci), peso de la cabeza (Ma-Ca), diámetro ecuatorial de la cabeza (D), Altura de la cabeza (A).

## V. Matriz de correlación/Coeficientes del ACP de variedades.

	Pl-Co	Pl-FT	Pl-Su	Pl-En	Rend	C-Ex	R-Ex	Ma-Ca	N°H-Ci
Pl-Co	1								
Pl-FT	-0,47	1							
Pl-Su	-0,62	0,65	1						
Pl-En	-0,98	0,36	0,47	1					
Rend	0,87	-0,56	-0,72	-0,82	1				
C-Ex	0,56	-0,6	-7,10E-01	-0,47	0,36	1			
R-Ex	0,9	-6,20E-01	-8,40E-01	-0,82	0,93	0,66	1		
Ma-Ca	0,2	-3,80E-01	-3,80E-01	-0,14	0,64	-0,25	0,41	1	
N°H-Ci	-0,59	-0,23	-0,06	0,68	-0,48	0,2	-0,33	-0,1	1

## VI. Matriz de correlación/Probabilidades del ACP de variedades.

	Pl-Co	Pl-FT	Pl-Su	Pl-En	Rend	C-Ex	R-Ex	Ma-Ca	N°H-Ci
Pl-Co									
Pl-FT	0,1483								
Pl-Su	0,0426	0,0294							
Pl-En	0,0001	0,2826	0,1427						
Rend	0,0004	0,0726	0,0118	0,0021					
C-Ex	0,0726	0,0508	0,0137	0,1482	0,273				
R-Ex	0,0002	0,0410	0,0011	0,0021	0,0001	0,0285			
Ma-Ca	0,5519	0,2525	0,2483	0,6884	0,0351	0,4651	0,2106		
N°H-Ci	0,0563	0,5011	0,8517	0,0201	0,1339	0,5538	0,3229	0,7593	

## VII. Autovalores del ACP de variedades.

Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	5,31	0,59	0,59
2	1,84	0,20	0,79
3	1,34	0,15	0,94
4	0,36	0,04	0,98
5	0,09	0,01	0,99
6	0,04	4,70E-03	1,00
7	0,01	1,30E-03	1,00
8	1,80E-03	1,90E-04	1,00
9	0,00	0,00	1,00

## VIII. Autovectores del ACP de variedades.

Variables	e1	e2
Pl-Co	4,10E-01	-1,80E-01
Pl-FT	-2,90E-01	-4,00E-01
Pl-Su	-0,35	-0,31
Pl-En	-0,38	0,28
Rend	0,41	-0,13
C-Ex	0,27	0,41
R-Ex	0,43	0,03
Ma-Ca	0,18	-0,06
N°H-Ci	-0,16	0,66

## IX. Correlaciones con las variables originales Variedad

Variables	CP 1	CP 2
Pl-Co	0,94	-0,25
Pl-FT	-0,67	-0,55
Pl-Su	-0,82	-0,42
Pl-En	-0,87	0,38
Rend	0,95	-0,18
C-Ex	0,63	0,56
R-Ex	0,98	0,04
Ma-Ca	0,41	-0,08
N°H-Ci	-0,38	0,89

## X. Matriz de correlación/Coeficientes del ACP de los ambientes.

	Pl-Co	Pl-FT	Pl-Su	Pl-En	Rend	C-Ex	R-Ex	Ma-Ca	N°H-Ci
Pl-Co	1								
Pl-FT	0,04	1							
Pl-Su	0,35	0,28	1						
Pl-En	-0,92	-0,19	-0,69	1					
Rend	0,64	-0,43	0,43	-0,65	1				
C-Ex	0,44	-0,51	-0,23	-0,22	0,65	1			
R-Ex	0,65	-0,46	0,31	-0,61	0,98	0,77	1		
Ma-Ca	0,09	-0,57	0,34	-0,18	0,82	0,49	0,77	1	
N°H-Ci	-0,47	0,01	-0,33	0,50	-0,62	-0,62	-0,66	-0,47	1

XI. Matriz de correlación/Probabilidades del ACP de los ambientes.

	PI-Co	PI-FT	PI-Su	PI-En	Rend	C-Ex	R-Ex	Ma-Ca	N°H-Ci
PI-Co									
PI-FT	0,8936								
PI-Su	0,266	0,3756							
PI-En	0,0001	0,5452	0,0133						
Rend	0,0251	0,1617	0,1609	0,0220					
C-Ex	0,1545	0,0911	0,4724	0,4865	0,0220				
R-Ex	0,0215	0,1365	0,3237	0,0349	0,0001	0,0032			
Ma-Ca	0,7726	0,0512	0,2865	0,5728	0,0012	0,1097	0,0032		
N°H-Ci	0,1254	0,9752	0,2928	0,1009	0,0317	0,0329	0,0192	0,1273	

XII. Autovalores del ACP de los ambientes.

Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	4,86	0,54	0,54
2	2,13	0,24	0,78
3	1,06	0,12	0,89
4	0,68	0,08	0,97
5	0,18	0,02	0,99
6	0,08	0,01	1,00
7	0,01	1,30E-03	1,00
8	1,10E-03	1,20E-04	1,00
9	0,00	0,00	1,00

## XIII. Autovectores del ACP de los ambientes.

Variables	e1	e2
Pl-Co	0,33	0,30
Pl-FT	-0,16	5,50E-01
Pl-Su	0,20	4,50E-01
Pl-En	-3,30E-01	-4,40E-01
Rend	4,40E-01	-6,00E-02
C-Ex	0,32	-0,33
R-Ex	0,44	-0,11
Ma-Ca	0,33	-0,28
N°H-Ci	-0,34	-0,06

## XIV. Correlaciones con las variables originales del ACP de ambientes.

Variables	CP 1	CP 2
Pl-Co	0,72	0,44
Pl-FT	-0,35	0,81
Pl-Su	0,44	0,66
Pl-En	-0,72	-0,65
Rend	0,97	-0,08
C-Ex	0,71	-0,48
R-Ex	0,98	-0,16
Ma-Ca	0,72	-0,41
N°H-Ci	-0,74	-0,09