



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE LA ALCACHOFA
MEDIANTE ANÁLISIS FOLIAR

Marco Antonio Oltra Cámara



Tesis **Doctorales**

www.eltallerdigital.com

UNIVERSIDAD de ALICANTE



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

TESIS DOCTORAL:

**DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE LA ALCACHOFA
MEDIANTE ANÁLISIS FOLIAR**

Memoria presentada por D. MARCO ANTONIO OLTRA CÁMARA
para optar al grado de Doctor en Ciencias

D. Marco Antonio Oltra Cámara

Alicante, Julio 2016

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Departament d'Agroquímica, Bioquímica
Departamento de Agroquímica, Bioquímica

ESTE FOLIO ES EL FIRMADO ORIGINAL CON SELLO



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Departament d'Agroquímica, Bioquímica
Departamento de Agroquímica, Bioquímica

**Trabajo presentado para optar al Grado de Doctor en Ciencias
experimentales y biosanitarias, Sección Suelos y nutrición vegetal.**

Fdo. D. Marco Antonio Oltra Cámara

DIRECTORA

Fdo. Dra. M^a del Mar Cerdán Sala

**Profesora Contratada Doctora de Edafología y Química Agrícola de la Facultad
de Ciencias de la Universidad de Alicante**

AGRADECIMIENTOS

A María y Marco, por el “tiempo robado de estar con vosotros”, por ver acabado este trabajo. ¡Prometo devolvéroslo!

A mi familia, por su apoyo y ánimo en todo momento. En especial a mi madre y mi padre que en paz descanse.

A mi directora de tesis Dra. M^a del Mar Cerdán, por la confianza depositada en mí, el interés en el seguimiento, ayuda y supervisión de esta memoria.

A mi mejor amigo, javi, por ser como es y haber estado siempre ahí.

A Helenio Gimeno, Mario Ferrández, Vianel Rodríguez, Juan Martínez y Juan Giner por su ayuda incondicional y por los buenos momentos compartidos.

A D. Miguel Giménez Montesinos, por su ayuda, generosidad, amistad, y por ser mi guía profesional y personal.

A María Elena, por el esfuerzo para ver terminado este trabajo, por aguantarme, por ser como es y porque la quiero. Sin ella no hubiera sido posible.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS:

ANOVA:	Analysis Of Variance
AOAC:	Association Of Analytical Communities
APG III:	Angiosperm Phylogeny Group
CARM:	Comunidad Autónoma de la Región de Murcia
CE:	Conductividad eléctrica
CIREN:	Centro de Información de Recursos Naturales (Chile)
CND:	Diagnos de la Composición Nutricional
Dival:	Diputación de Valencia
DNA:	Ácido desoxirribonucleico
DOP:	Desviación del óptimo porcentual Deviation from Optimum Percentage
DRIS:	Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación
Ec:	Ecuación
ESYRCE:	Encuestas sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Figura:	Figura
IDS:	Índice de Desviación Estándar
IMIDA:	Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agroalimentario
INE:	Instituto Nacional de Estadística
INIA:	Instituto Nacional de Investigación Agraria
MDRIS:	Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (Modificado)
M.O:	Materia orgánica

MAGRAMA:	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Mercasa:	Mercados Centrales de Abastecimientos
NAPR:	Respuesta potencial a la aplicación de nutrientes
NBI:	Índice de balance de nutrientes
NC:	Nivel crítico
PIRA:	Propuesta de Interpretación de Resultados de Análisis
RN:	Rangos de normalidad
RNA:	Ácido ribonucleico
RPAN:	Respuesta potencial a la aplicación de nutrientes
RS:	Rangos de suficiencia
SD:	Desviación estándar
SIAM:	Sistema de Información Agraria de Murcia
Tª:	Temperatura



Universitat d'Alacant
 Universidad de Alicante

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. EL CULTIVO DE LA ALCACHOFA	1
1.1.1. Origen y domesticación de la alcachofa	1
1.1.2. Características taxonómicas y botánicas.....	3
1.1.3. Distribución geográfica, producción y comercialización	11
1.1.3.1. Producción y comercialización mundial de alcachofa.....	11
1.1.3.2. Producción y comercialización nacional de alcachofa	15
1.1.4. Exigencias edafoclimáticas y nutricionales	20
1.1.4.1. Clima	20
1.1.4.2. Suelo.....	22
1.1.4.3. Necesidades hídricas.....	23
1.1.4.4. Riego	24
1.1.4.5. Requerimiento de nutrientes.....	26
1.1.4.6. Fertilización	27
1.2. LA NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS.....	29
1.2.1. Nutrición mineral	30
1.2.2. Nutrición y rendimiento.....	33
1.2.3. Elementos minerales.....	38
1.2.3.1. Nitrógeno	41
1.2.3.2. Fósforo	43
1.2.3.3. Potasio.....	43
1.2.3.4. Calcio.....	44
1.2.3.5. Magnesio.....	45
1.2.3.6. Azufre	46
1.2.3.7. Hierro	47

1.2.3.8. Zinc	48
1.2.3.9. Manganese.....	49
1.2.3.10. Cobre	50
1.2.3.11. Boro.....	50
1.2.3.12. Molibdeno	51
1.2.3.13 Sodio.....	51
1.2.3.14. Cloro	52
1.2.3.15. Níquel	52
1.3. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL	53
1.3.1. Diagnóstico visual.....	53
1.3.2. Análisis de suelo	56
1.3.3. Análisis de planta	58
1.3.3.1. Factores que afectan a la concentración de nutrientes en la planta	58
1.3.3.1.1. Edad fisiológica.....	60
1.3.3.1.2. Órgano muestreado	63
1.3.3.1.3. Posición en la planta	64
1.3.3.1.4. Influencia del cultivar	65
1.3.3.1.5. Interacción entre nutrientes	66
1.3.3.1.6. Condiciones ambientales	69
1.3.3.2. Análisis foliar	71
1.3.3.2.1. Métodos para la interpretación	74
1.3.3.2.1.1. Valor o concentración crítica.....	76
1.3.3.2.1.2. Rangos de suficiencia (RS).....	77
1.3.3.2.1.3. Desviación del óptimo porcentual (DOP).....	79
1.3.3.2.1.4. Índice de Desviación Estándar (IDS)	82

1.3.3.2.1.5. Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) y modificado (MDRIS)	83
1.3.3.2.1.6. Diagnósis de la Composición Nutricional (CND).....	93
2. OBJETIVOS	97
3. MATERIALES Y MÉTODOS	101
3.1. POBLACIÓN MUESTRAL.....	101
3.1.1. Características del cultivo	101
3.1.2. Suelo.....	102
3.1.3. Agua de riego	102
3.1.4. Unidad de muestreo	102
3.1.5. Material vegetal	103
3.2. PROCESADO DE LAS MUESTRAS.....	105
3.3. ANÁLISIS MINERAL	107
3.4. PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO	110
3.4.1. Estadística básica.....	110
3.4.1.1. Parámetros de centralización.....	111
3.4.1.2. Parámetros de dispersión	112
3.4.1.3. Normalidad	114
3.4.1.4. Teorema central del límite	116
3.4.1.5. Discriminación de varianzas	117
3.5. DETERMINACIÓN DE LA FECHA ÓPTIMA DE LA TOMA DE MUESTRA	118
3.6. CÁLCULO DE LAS NORMAS: RN, DOP, IDS.	119
3.7. DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES Y CÁLCULO DE LAS NORMAS DRIS Y MDRIS	121

3.8. DETERMINACIÓN Y CÁLCULO DE LAS NORMAS CND	126
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	129
4.1. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE POBLACIONES.....	129
4.2. FECHA ÓPTIMA DE LA TOMA DE MUESTRAS	130
4.3. EVOLUCIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES	133
4.3.1. Nitrógeno	133
4.3.2. Fósforo	134
4.3.3. Potasio.....	135
4.3.4. Calcio	137
4.3.5. Magnesio	138
4.4. NORMAS RN, DOP e IDS	139
4.4.1. Obtención de las normas RN	139
4.4.2. Obtención de las normas DOP e IDS	140
4.5. NORMAS DRIS y MDRIS A PARTIR DE UN BANCO DE DATOS DE 298 MUESTRAS.....	141
4.6. NORMAS DRIS y MDRIS A PARTIR DE UN BANCO DE DATOS DE 60 MUESTRAS OBTENIDAS DURANTE EL PERIODO DE MAYOR ESTABILIDAD DEL CULTIVO.	143
4.7. COMPARACIÓN DE LAS NORMAS DRIS y MDRIS OBTENIDAS CON DIFERENTES BANCOS DE DATOS.	145
4.8. NORMAS CND.....	146
4.9. EJEMPLO DE DIAGNÓSTICO FOLIAR CON LAS NORMAS OBTENIDAS EN ESTE TRABAJO.....	147
5. CONCLUSIONES.	169

6. ANEXOS	171
7. BIBLIOGRAFÍA	181



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1. Clasificación taxonómica de la alcachofa cultivada según APG III (2009).</i>	5
<i>Tabla 1.2. Producción, rendimiento y superficie cultivada de alcachofa en el mundo en 2013 (FAOSTAT, 2013).</i>	12
<i>Tabla 1.3. Principales países exportadores e importadores de alcachofa en el mundo durante el 2013 (FAOSTAT, 2013)</i>	14
<i>Tabla 1.4. Programa de fertirrigación (Rincón, 1996). Abonado de cobertura kg/ha·día</i>	29
<i>Tabla 1.5. Elementos esenciales en la mayoría de las plantas, formas de absorción y concentraciones que se consideran adecuadas. Basado en Epstein (1972), Salisbury y Ross (1992) y Marschner (1995).</i>	39
<i>Tabla 1.6. Propuesta de los Índices de Desviación Estándar (IDS). Fuente: (Giménez et al., 2004)</i>	83
<i>Tabla 3.1. Fechas de los distintos muestreos foliares llevados a cabo durante el periodo de realización del estudio</i>	103
<i>Tabla 3.2. Determinación de cationes. Condiciones de trabajo en espectrometría de absorción atómica (E.A.A.). (*): Medida de los extractos en presencia de sales de lantano (0,1 % P/V), en espectrometría de absorción para evitar interferencias de fosfatos. (**): Medida de los extractos en presencia de sales de cesio (0,2 % P/V), en espectrometría de</i>	

<i>emisión para evitar interferencias</i>	109
<i>Tabla 3.3. Determinación de nitrógeno total en material vegetal (M. Kjeldahl semimicro)</i>	109
<i>Tabla 4.1. Concentración de los distintos macronutrientes en muestras foliares de alcachofa variedad Blanca de Tudela, procedentes de las fincas situadas en Mahoya y en San Miguel de Salinas</i>	129
<i>Tabla 4.2. Concentración de los distintos micronutrientes en muestras foliares de alcachofa variedad Blanca de Tudela, procedentes de las fincas situadas en Mahoya y en San Miguel de Salinas</i>	130
<i>Tabla 4.3. Rangos de normalidad de macroelementos para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Expresados en g·100 g⁻¹ m.s.</i>	139
<i>Tabla 4.4. Rangos de normalidad de microelementos para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Expresados en mg·kg⁻¹ m.s, excepto para sodio (g·100 g⁻¹ m.s.)</i>	140
<i>Tabla 4.5. Media y desviación estándar para las normas DOP e IDS de macroelementos para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Expresados en g·100g⁻¹ m.s.</i>	141
<i>Tabla 4.6. Normas DRIS y MDRIS para alcachofa cv. Blanca de Tudela.</i> .	142
<i>Tabla 4.7. Relaciones de las Normas DRIS y MDRIS para alcachofa cv. Blanca de Tudela</i>	142

<i>Tabla 4.8. Índice de Balance de Nutrientes para alcachofa cv. Blanca de Tudela.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 4.9. Normas DRIS y MDRIS para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Muestras obtenidas en la fecha óptima de muestreo (mitad de febrero a mediados de marzo).....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 4.10. Relaciones de las Normas DRIS y MDRIS para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Muestras obtenidas en la fecha óptima de muestreo (mitad de febrero a mediados de marzo).....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 4.11. Índice de Balance de Nutrientes para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Muestras obtenidas en la fecha óptima de muestreo (mitad de febrero a mediados de marzo).....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 4.12. Comparación Índice de Balance de Nutrientes para alcachofa cv. Blanca de Tudela calculados a partir de muestras obtenidas a lo largo del desarrollo del cultivo (298) y durante el periodo de máxima estabilidad del cultivo (60)</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 4.13. Normas CND (compositional nutrient diagnosis) para alcachofa cv. Blanca de Tudela.....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 4.14. Resultados analíticos de una muestra tomada de una explotación de alcachofa cv Blanca de Tudela. Unidades (% p/p)</i>	<i>148</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1. Morfología de la planta de alcachofa. Cynara cardunculus L. var. scolymus (L.).....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 1.2. Capítulo o cabezuela de alcachofa de la variedad Blanca de Tudela.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.3. Capítulo o cabezuela de alcachofa de la variedad Violeta de Provenza.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.4. Detalle de una cabezuela seccionada de la variedad Macau blanca.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 1.5. Cultivo de la variedad de Alcachofa Macau blanca plantadas de semilla.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1.6. Evolución de la producción de alcachofa en España (MAGRAMA, 2014).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 1.7. Evolución de la superficie cultivada de alcachofa en España (MAGRAMA, 2014).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 1.8. Evolución del valor de la alcachofa cultivada en España (MAGRAMA, 2014).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 1.9. Producción de alcachofa en las distintas comunidades autónomas (%) (MAGRAMA 2014).....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 1.10. Sistemas de Riego en España (ESYRCE, 2013) (Oltra, 2014)</i>	<i>25</i>

<i>Figura 1.11. Composición media de una planta en g·100g-1m.s. Fuente: elaboración propia a partir de Azcón-Bieto y Talón, 2008.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 1.12. Curva de acción. Concentración de un nutriente frente al crecimiento.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 1.13. Ley de Mitscherlich o ley del mínimo.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 1.14. Representación gráfica de la ley de Mitscherlich (ley del mínimo).</i>	<i>37</i>
<i>Figura 1.15. Curvas de producción vegetal en función de la concentración de distintos nutrientes en la planta. (Adaptado Marschner, 1995).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 1.16. Principios para el diagnóstico visual de desórdenes nutricionales.Fuente: Adaptado de Marschner, 1995.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 1.17. Relaciones entre rendimiento y concentración de nutrientes en partes de plantas cuando el suministro de nutrientes se incrementa desde deficiente a tóxico.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 1.18. Localización de las deficiencias de los nutrientes en las plantas en función de la edad de la hoja.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 1.19. Interacciones y antagonismos entre los elementos minerales. Fuente: Adaptación de Mulder (1953).</i>	<i>68</i>

<i>Figura 1.20. Interacción binaria. Producción máxima Y_m para una producción X_m de los dos elementos estudiados X_1, X_2. Fuente: Barceló et al. (2001).</i>	69
<i>Figura 1.21. Posibilidades del diagnóstico: (A) Deficiencia del elemento analizado, (B) Nivel nutricional correcto, (C) Exceso del elemento analizado.</i>	72
<i>Figura 1.22. Relación entre la producción y la expresión de un nutriente. Nivel Crítico y Rango de Suficiencia.</i>	78
<i>Figura 1.23. Representación visual del DOP (Desviación del Óptimo Porcentual).</i>	80
<i>Figura 1.24. Criterio para interpretar el DRIS con los índices (I DRIS) para la respuesta potencial a la aplicación de nutrientes (RPAN*) (Wadt, 1996).</i>	92
<i>Figura 3.1. Ejemplo de distribución normal t de Student (Ruiz, 1980) ..</i>	115
<i>Figura 3.2. Prueba de discriminación de varianza.</i>	118
<i>Figura 3.3. Representación esquemática del equilibrio nutricional (A/B), en respuesta de los cultivos, líneas gruesas serpenteantes desde n numerosos factores limitantes a cada vez, menos factores limitantes, de $n-1$ a $n-5$ (Adaptado de Walworth y Sumner, 1987).</i>	123

Figura 3.4. Representación de la prueba de discriminación entre la varianza de la subpoblación de relativo menor rendimiento (S1 A/B) y la de relativo más alto rendimiento (S2 A/B), la cual por ser mayor a 1, también muestra la selección de la media del cociente A/B (XA/B) como valor de referencia del óptimo equilibrio nutricional (área sombreada) en el grupo de plantas de máximo rendimiento..... 124

Figura 4.1. Períodos de estabilidad para la concentración de nutrientes en hoja. Letras y colores iguales en horizontal indican subconjuntos homogéneos. Valores expresados en $g \cdot 100g^{-1}$ m.s. 132

Figura 4.2. Evolución estacional del contenido foliar de nitrógeno en alcachofa variedad Blanca de Tudela cultivada en el sureste español.. 133

Figura 4.3. Evolución estacional del contenido foliar de fósforo en alcachofa variedad Blanca de Tudela cultivada en el sureste español.. 135

Figura 4.4. Evolución estacional del contenido foliar de potasio en alcachofa variedad Blanca de Tudela cultivada en el sureste español.. 136

Figura 4.5. Evolución estacional del contenido foliar de calcio en alcachofa variedad Blanca de Tudela cultivada en el sureste español.. 137

Figura 4.6. Evolución estacional del contenido foliar de magnesio en alcachofa variedad Blanca de Tudela cultivada en el sureste español.. 138

Figura 4.7. Resultado e Interpretación gráfica del diagnóstico mediante el método DRIS. 158

Figura 4.8. Resultado e Interpretación gráfica del diagnóstico mediante el método MDRIS..... 161

Figura 4.9. Resultado e Interpretación gráfica del diagnóstico mediante el método CND 164

Figura 4.10. Resultado e Interpretación gráfica del diagnóstico mediante el método RN..... 165

Figura 4.11. Resultado e Interpretación gráfica del diagnóstico mediante el método DOP 167



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL CULTIVO DE LA ALCACHOFA

1.1.1. Origen y domesticación de la alcachofa

La alcachofa es una planta dietética y medicinal con una larga tradición de uso que se remonta a los antiguos egipcios, griegos y romanos (De Falco *et al.*, 2015).

La alcachofa cultivada, cardo frondoso y cardo silvestre, según estudios realizados por diferentes autores, apoyan la clasificación de Fiori (Fiori, 1904) e incluyen a estas subespecies dentro de una única especie: *Cynara cardunculus* L., nativa de la cuenca mediterránea (Wiklund, 1992; Basnizki y Zohary, 1994; Rottenberg y Zohary, 1996; Rottenberg *et al.*, 1996; Rottenberg y Zohary, 2005; Sonnante *et al.*, 2007).

De acuerdo con los datos moleculares, un antepasado salvaje de todas las especies del género *Cynara* se trasladó desde el Mediterráneo, a la costa de la región del Sahara durante la cuarta glaciación del Pleistoceno (Pignone y Sonnante, 2009), debido a sus altos requerimientos térmicos. Hacia el final de las glaciaciones (entre 30.000 y 20.000 años) se trasladó de nuevo a la costa norte de África y alrededor de 18.000 años empezó a diferenciarse, y se originaron dos grupos de especies. Conforme a Pignone y Sonnante (2009), el primer grupo incluye siete especies silvestres y el segundo grupo abarca las especies *C. cardunculus*: alcachofa, cardo cultivado y alcachofa silvestre o cardo (De Falco *et al.*, 2015).

El cardo silvestre [var. *sylvestris* (Lamk) Fiori] ha sido reconocido como el ancestro tanto de la alcachofa [var. *Sativa Moris*, var. *scolymus* (L.) Fiori, ssp. *scolymus* (L.) Hegi] como de la frondosa o cardo cultivado [var. *altilis* DC] (Rottenberg y Zohary, 1996; Curci *et al.*, 2015).

El nombre científico de la planta alcachofa “*scolymus*” viene de la palabra griega estaca puntiaguda, a causa de sus espinas, mientras que “*Cynara*” posiblemente proviene del nombre de una isla griega del Egeo donde se cultivaba, o de la recomendación de Columela (escritor agronómico romano del s.I d. C) de fertilizar este cultivo con cenizas (cenizas en latín: *Cineres*) (Chevallier, 1996). Bianco (1990) al igual que muchos otros autores apoyan que el nombre del género *Cynara* viene de la palabra griega “*kinara*”, que significa planta espinosa. Por otro lado, el nombre común de la alcachofa en Italia, España y Portugal viene de la palabra árabe “*al Quarshuff* ” (De Falco *et al.*, 2015), mientras que en inglés, francés, alemán y en otros idiomas de Europa del Norte, el nombre actual proviene de una palabra compuesta del latín “*articoculum*”, cuyo significado es *Artus* = espinosa y *cocolum* = esfera (Bianco, 1990; Pignone y Sonnante, 2009).

El consumo de alcachofa se remonta al 2000 o 2500 a.C. En esta época únicamente se consumían los tallos florales y las nervaduras carnosas de las hojas de los cardos, ya que las inflorescencias eran pequeñas, espinosas y de sabor amargo (Bartual, 1985).

La domesticación de la alcachofa se llevó a cabo a principios del primer milenio (Foury, 1989; Pignone y Sonnante, 2004), mientras que la domesticación del cardo tuvo lugar en la primera mitad del segundo

milenio. Al parecer, la alcachofa fue domesticada en la época romana, el centro del origen de la alcachofa se situó al sur de Italia, probablemente Sicilia (Gatto *et al.*, 2013), siendo los primeros registros del comercio de las alcachofas de Sicilia a Florencia de principios del siglo XV (Bianco, 1990). Fueron los árabes los que, durante la Edad Media cuando dominaron el sur del Mediterráneo, tuvieron probablemente un papel importante en la difusión de este cultivo, como el de otras plantas tales como berenjenas y espinacas, ya que tenían un interés particular en los cultivos hortícolas y de huerto (Idrisi, 2005), mientras que Italia fue una conexión importante para su propagación por el norte de Europa central y oriental (Pignone y Sonnante, 2004). El cardo probablemente fue domesticado en el Mediterráneo Occidental en un período posterior, probablemente en España y Francia (Sonnante *et al.*, 2007).

En el siglo XVI la alcachofa llegó a Francia gracias a la reina Catalina de Médicis. A mediados de 1800 los emigrantes franceses la introdujeron en Louisiana (Estados Unidos). Alrededor de 1880, emigrantes italianos la introdujeron en California y en otras zonas de clima templado. Castroville, California, se cita como "La Capital Mundial de la Alcachofa". La migración italiana que siguió a la primera guerra mundial la introdujo en Argentina y por la misma vía llegó también al Perú (Pérez, 2006).

1.1.2. Características taxonómicas y botánicas

La especie *Cynara cardunculus* L. pertenece a la segunda familia más grande de plantas, Asteraceae, con más de 20.000 especies (Bremer, 1994), y como ya se ha comentado anteriormente está formada por tres

subespecies: el cardo silvestre *Cynara cardunculus* L. var. *sylvestris* (Lamk) Fiori, la alcachofa cultivada *Cynara cardunculus* var. *scolymus* L. Fiori y el cardo cultivado *Cynara cardunculus* var. *atilis* DC. Rottenberg y Zohary (1996) mediante estudios de hibridación, también sostienen, que estas tres subespecies pertenecen a la especie *C. cardunculus* L.

El cardo silvestre es una planta perenne robusta no domesticada que se caracteriza por una roseta de hojas grandes y espinosas y ramificados tallos florales. Es originaria de la cuenca mediterránea donde crece en una variedad de hábitats (Portis *et al.*, 2005).

La alcachofa representa un componente importante de la economía agrícola del sur de Europa, y se cultiva por sus grandes inflorescencias inmaduras, denominadas capítulos o cabezas (Bianco, 1990), las partes comestibles son: el receptáculo o corazón, y los engrosamientos carnosos de las brácteas, las hojas protectoras que rodean la flor (Obiano, 2015).

El cardo cultivado o frondoso se cultiva por sus tallos carnosos y tallos de las hojas y tiene cierta importancia regional en Italia, España y sur de Francia (Dellacecca, 1990); su propagación se lleva a cabo por las semillas.

En la Tabla 1.1 se muestra la clasificación taxonómica de la alcachofa según el sistema de clasificación APG III (Angiosperm Phylogeny Group) publicado en 2009.

Tabla 1.1. Clasificación taxonómica de la alcachofa cultivada según APG III (2009).

Nombre vulgar	Alcachofa
Nombre científico	<i>Cynara scolymus</i> L
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteracea (Compositae)
Género	Cynara
Especie	cardunculus
Subespecie	scolymus

La alcachofa cultivada *Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.), Fiori (Figura 1.1) es una planta de color verde plateado, diploide, perenne o semiperenne y de polinización cruzada. Normalmente se propaga vegetativamente, aunque en los comienzos el cultivo fue por semillas (Ancora, 1986).



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Figura 1.1. Morfología de la planta de alcachofa. Cynara cardunculus L. var. scolymus (L.)

La variedad más empleada en España es Blanca de Tudela (Figura 1.2) y en algunas zonas, como las provincias de Alicante y Murcia, también es frecuente la alcachofa Violeta de Provenza (Figura 1.3), entre otras de procedencia francesa como Macau (Figura 1.4).

El **sistema radicular** de la alcachofa es extraordinariamente potente, lo que le permite adaptarse a una extensa gama de suelos (Alsina, 1982). La raíz puede alcanzar profundidades superiores a los 50 centímetros.

Superficialmente llega a formar un rizoma, en el que se acumulan las reservas alimenticias que elabora la planta, a partir del que brotan yemas axilares de hojas antiguas que pueden producir esquejes. Parte de dicho rizoma puede usarse en multiplicación vegetativa en lo que se conoce como zuecas o palos (Cabezas, 2013; Jara, 2013; Felles, 2009; Macua *et al.*, 1991).

Los **tallos** son de color verde grisáceo, erguidos, gruesos, ramificados y con surcos longitudinales; finalizan en inflorescencias. En variedades vigorosas, la planta puede alcanzar una altura de 1,20 a 1,30 m (Giaconi y Escaff, 1999), según La Malfa y Foury (1971) pueden llegar a medir hasta 1,5 m dependiendo de las características genéticas de la planta; no obstante, alguno de los cultivares actuales presentan portes más elevados (Bianco, 1990; Pignone y Sonnante, 2009).

Las **hojas** están provistas de grandes dientes (tipo aserrado). También pueden ser del tipo oblongas o lobadas. Son alargadas (de 0,9 a 1 m), colgantes, carnosas de color verde claro o verde grisáceo en el haz y un tanto blanquecino en el envés debido a su pubescencia y a veces puede presentar espinas en los bordes. Los nervios centrales están muy marcados y el limbo dividido en lóbulos laterales que, en ocasiones, son muy profundos en las hojas basales y mucho menos hundidos en hojas del tallo (Maroto, 1995).

Las hojas que envuelven al capítulo constituyen entre 150 ó 200 brácteas, que a su vez rodean un conjunto de 800 a 1400 flores hermafroditas.



Figura 1.2. Capítulo o cabezuela de alcachofa de la variedad Blanca de Tudela.



Figura 1.3. Capítulo o cabezuela de alcachofa de la variedad Violeta de Provenza.

Las **flores** se producen, generalmente, en el extremo de los tallos principales, estas inflorescencias son llamadas cabezuelas (Figura 1.4). Del tallo principal se desarrollan ramificaciones que dan lugar a cabezuelas secundarias y terciarias de menor tamaño (Ryder *et al.*, 1983). Las flores son sésiles y de color azulado o violáceo, se insertan en el receptáculo, el mismo que está rodeado por una serie de brácteas carnosas, que se abren cuando madura. Como se ha citado anteriormente, el receptáculo es la parte comestible de la alcachofa además de las brácteas tiernas o jóvenes asentadas en él. Estas últimas deben consumirse antes de que se desarrollen totalmente y maduren las flores ya que el receptáculo se endurece y se vuelve espinoso (Chiriboga, 2013). Cuando las flores desarrollan, cada una forma un aquenio provisto de vilano plumoso que se forma en la base del capítulo y es el órgano de dispersión de las semillas por el viento (Maroto, 2003).

El **fruto** es un aquenio de forma alargada (5-6mm) que está constituido principalmente por la semilla (De-Miguel *et al.*, 2001), es de color grisáceo con manchas pardas o negruzcas provisto de vilano. Este vilano es una transformación del cáliz, y su función es la de favorecer la diseminación. Cuando la planta deja de producir, se forman yemas basales que dan origen a hijuelos que emitirán su propio sistema radicular y formarán nuevos capítulos (De-Miguel *et al.*, 2001).

Universidad de Alicante



Figura 1.4. Detalle de una cabezuela seccionada de la variedad Macau blanca.

Las **semillas** son pequeñas, de 5 a 7 mm, se encuentran en el interior de los aquenios y son de color grisáceo con rayas más oscuras. Se trasladan a grandes distancias por el viento junto con el aquenio, esto tiene el inconveniente de que luego dan lugar a plantas silvestres que no se parecen en nada a las de origen, ya que son plantas degeneradas y de peor calidad. El número de semillas en un gramo es de 25 a 27. Cada fruto puede contener entre 50 y 180 semillas, dependiendo de la variedad, con una capacidad germinativa de 6 a 7 años y una germinación entre 7 y 20 días (Foury, 1967; Maroto, 1983). La germinación de la alcachofa es baja (80% en promedio), a pesar de que el poder germinativo de las nuevas variedades ha mejorado. La alcachofa es capaz de producir semillas, pero su desarrollo es lento y si

éstas se siembran, se obtienen plantas degeneradas y heterogéneas; su producción debería ser manejada bajo condiciones controladas (Mercader, 2015; Chiriboga, 2013; Cabezas, 2013).

En la siguiente Figura 1.5, se puede observar un cultivo de la variedad Macau blanca plantado a partir de semillas seleccionadas, por lo que la plantación resulta homogénea.



Figura 1.5. Cultivo de la variedad de Alcachofa Macau blanca plantadas de semilla.

1.1.3. Distribución geográfica, producción y comercialización

1.1.3.1. Producción y comercialización mundial de alcachofa

El cultivo de alcachofa es posible en todas las regiones del mundo en las que los veranos son frescos y los inviernos suaves, se encuentra

INTRODUCCIÓN

principalmente en el hemisferio norte, en los países de Europa y África que conforman la cuenca del Mediterráneo donde tuvo su origen. La distribución de la alcachofa en el mundo se muestra en la Tabla 1.2.

Los países mediterráneos, generan el 85% de la producción mundial de alcachofa, y más específicamente en países europeos, se produce el 62% de toda la alcachofa cultivada en el mundo (FAOSTAT, 2013).

Tabla 1.2. Producción, rendimiento y superficie cultivada de alcachofa en el mundo en 2013 (FAOSTAT, 2013).

Países	Producción (t)	Superficie cultivada (ha)	Rendimiento (t/ha)
Italia	547.799	46.954	11,67
Egipto	390.672	16.213	24,10
España	199.900	15.400	12,98
Perú	112.865	5.848	19,30
Argentina	106.325	4.265	24,93
Argelia	83.374	4.472	18,64
China	77.000	12.000	6,42
Marruecos	62.073	3.487	17,80
USA	42.865	2.833	15,13
Francia	36.423	7.249	5,02
Turquía	34.014	2.702	12,59
Grecia	28.600	2.300	12,43
Irán	18.453	998	18,49
Túnez	18.000	2.500	7,20
Chile	13.344	1.733	7,70
Siria	6.800	545	12,48

La producción mundial en el año 2013, según los datos oficiales de FAO, se estimó en 1.870.016 t, donde Italia fue el principal país productor con 547.799 toneladas seguido de Egipto y España con 390.672 y 199.900 toneladas, respectivamente, representando estos tres países alrededor

del 61% de la producción mundial total (FAOSTAT, 2013). A España le siguen por orden de importancia los siguientes productores de alcachofa: Perú, Argentina, Argelia, China, Marruecos, Estados Unidos de América, Francia, Turquía y Grecia (FAOSTAT, 2013). Por lo tanto, el principal competidor de España en Europa es Italia con más del doble de su producción total.

Italia, Egipto y España, además de ser los países con mayor producción de alcachofa del mundo, también son los que tienen mayor superficie de alcachofa cultivada, destacando Italia con 46.954 ha, frente a 16.213 ha de Egipto y 15.400 ha en España (FAOSTAT, 2013). Sin embargo, tal como muestra la Tabla 1.2, el rendimiento de países con tradición en el cultivo de alcachofa, como Italia, España y Francia, es bajo (inferior a 13 t/ha) a pesar de tener grandes superficies cultivadas, mientras que países emergentes de América del Sur y África, muestran rendimientos superiores. Concretamente Argentina es el país con mayor rendimiento con 24,93 t/ha, seguido de Egipto con 24,10 t/ha y Perú con 19,30 t/ha (FAOSTAT, 2013). De Falco *et al.* (2015) comentan que el país donde la producción de alcachofa ha adquirido recientemente más importancia comercial es China.

La alcachofa, desde fines del siglo XX comenzó a adquirir cada vez mayor demanda en el mercado internacional, situación que obligó a los agricultores a mantener estándares de calidad y uniformidad de las cabezuelas de la planta para poder ingresar a los mercados internacionales. En la Tabla 1.3 se muestra que los mayores exportadores del mundo de alcachofa en 2013 fueron España con

INTRODUCCIÓN

14.081 t, seguida de Francia con 8.109 t y de Egipto con 6.732 t, situándose Italia en cuarta posición (FAOSTAT, 2013). Respecto a las importaciones, Francia se sitúa como principal importador mundial de alcachofa en función de la producción obtenida, seguida de Italia, con un volumen de importación en el año 2013 de 15.932 t y 12.385 t, respectivamente (Tabla 1.3, FAOSTAT, 2013). Es decir, Francia e Italia además de ser grandes exportadores, también son unos importantes importadores mundiales de alcachofa (Tabla 1.3).

Tabla 1.3. Principales países exportadores e importadores de alcachofa en el mundo durante el 2013 (FAOSTAT, 2013)

PAÍS	EXPORTACIÓN (t)	PAÍS	IMPORTACIÓN (t)
España	14.081	Francia	15.932
Francia	8.109	Italia	12.385
Egipto	6.732	Bélgica	5.415
Italia	4.406	Turquía	5.105
México	3.458	México	4.066
Bélgica	3.049	Suecia	3.298
Marruecos	980	Alemania	2.847
Países Bajos	548	Canadá	2.057

España tiene un superávit comercial de alcachofa, por ello para fresco, no suele importarse puesto que la producción nacional es suficiente para abastecer el mercado. Sin embargo, en los últimos años ha incrementado la importación de alcachofas procesadas, siendo Perú su principal proveedor (Mercasa, 2011)

Este intercambio comercial ha introducido variedades de alcachofa distintas a las locales, diversificando la producción hacia cultivos no

autóctonos, por tanto, la demanda de estas nuevas variedades amplía las posibilidades productivas y comerciales.

El comercio intracomunitario de hortalizas frescas, refleja las exportaciones e importaciones entre los Estados miembros de la Unión Europea (UE). El 60% de las exportaciones intracomunitarias de la alcachofa son en fresco. No obstante, la demanda de alcachofa en conserva está aumentando en estos últimos años debido a que se prefieren productos de fácil preparación. Sin embargo, las exportaciones de alcachofa congelada, sólo representan el 5% de las exportaciones intracomunitarias (García, 2014).

Las exportaciones de las conservas de hortalizas en España representan 20,4%, y dentro de ellas destacan las exportaciones de conservas de alcachofas. Cabe destacar que dentro de la Unión Europea, España representa más del 85% de las exportaciones de alcachofa en conserva (García, 2014).

1.1.3.2. Producción y comercialización nacional de alcachofa

La superficie dedicada al cultivo de hortalizas, en general, ha descendido en la última década, sin embargo, la producción nacional ha seguido creciendo y España se ha convertido en una potencia mundial en este tipo de producciones (Mercasa, 2011).

Respecto al cultivo de la alcachofa en España, si bien, desde el 2002 también ha disminuido la superficie cultivada y en consecuencia la producción, en estos últimos años, está aumentando la cantidad de

toneladas de alcachofa producidas, de las cuales, el 40% se consume en fresco y el 60% restante se destina a la industria (MAGRAMA, 2012). El 25% del total de la producción española de esta hortaliza, se exporta al mercado comunitario, siendo las características más demandadas variedades de gran tamaño y color violáceo, sobre todo en Francia. La gran mayoría de la producción de alcachofa para exportación se realiza en Murcia (MAGRAMA, 2012).

La Región de Murcia es la primera productora de conserva de alcachofa a nivel nacional, exportando este tipo de productos a regiones intracomunitarias, como Francia, Alemania, Reino Unido e Italia, y países como Estados Unidos y Canadá entre otros (CARM, 2012).

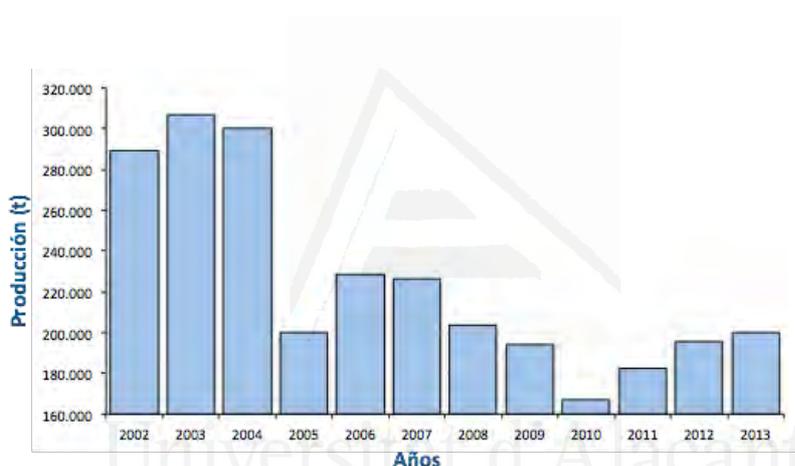


Figura 1.6. Evolución de la producción de alcachofa en España (MAGRAMA, 2014)

El cultivo de alcachofa en España es principalmente de regadío, y tal como se muestra en la Figura 1.7, en el año 2013 se cultivaron en

España 15.4080 ha, especialmente de la variedad “Blanca de Tudela”, con una producción de 199.900 t (Figura 1.6), y con un valor de 89.795 miles de euros (Figura1.8) (MAGRAMA, 2014).

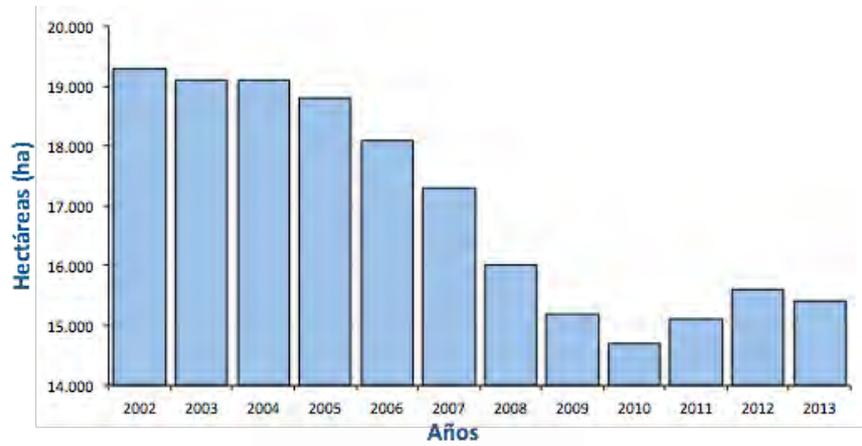


Figura 1.7. Evolución de la superficie cultivada de alcachofa en España (MAGRAMA, 2014)

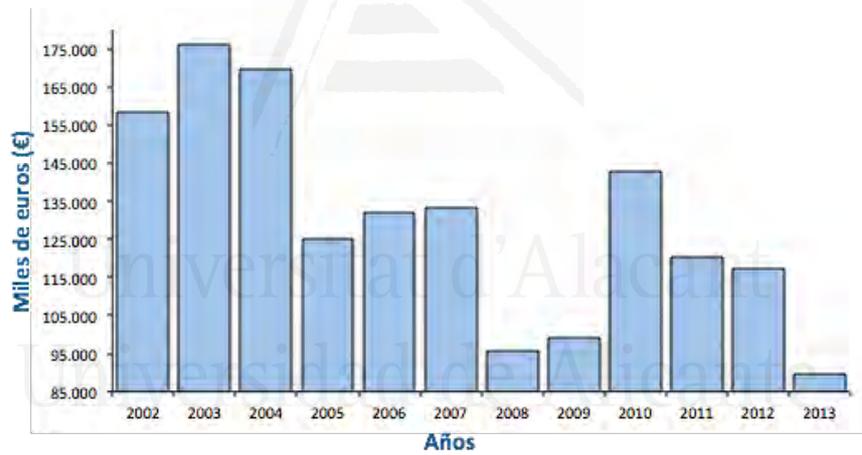


Figura 1.8. Evolución del valor de la alcachofa cultivada en España (MAGRAMA, 2014)

Como se puede observar en las Figuras 1.6 y 1.8, entre 2002 y 2003 hubo un ligero aumento anual tanto de la producción como del valor de la alcachofa, alcanzando 306.500 t y 176.167 miles de euros en el año 2003, siendo estos valores los máximos en el periodo de tiempo comprendido del 2002 al 2013. Mientras que en este intervalo de tiempo, la mayor superficie cultivada de alcachofa se obtuvo en el año 2002 con 19.300 ha (Figura 1.7). A partir del año 2004 hasta el 2010 la superficie empezó a descender progresivamente, alcanzando su mínimo en el 2010 con 14.700 ha (Figura 1.7). Esta disminución en la superficie cultivada afectó a la producción de alcachofa que también disminuyó en este periodo de tiempo, llegando a su valor más bajo en 2010 con 166.700 t (Figura 1.6). A partir del 2010 aumenta la producción de alcachofa, aunque su valor disminuye pasando de 142.879 a 89.795 miles de euros del 2010 al 2013 (Figura 1.8). Por tanto, en España se ha producido un descenso lento y progresivo, de más del 20%, de las hectáreas cultivadas de alcachofa desde el 2002 hasta el 2010, disminuyendo, en este mismo periodo de tiempo, también las toneladas obtenidas de este cultivo.

El cultivo de alcachofa es muy importante en el litoral mediterráneo, mayormente en Murcia, donde se producen 86.644 t que equivalen a más de un 40% del total de las alcachofas producidas en España (Figura 1.9). Con un 28% de producción le sigue la Comunidad Valenciana, seguida de Andalucía, Navarra y Cataluña con un 14%, 7% y 4%, respectivamente. La zona del Valle del Ebro (Navarra, La Rioja y Aragón) no destaca por las toneladas de alcachofa producidas, pero sí por la

producción de material vegetal de abastecimiento en el área de Tudela (MAGRAMA, 2014).

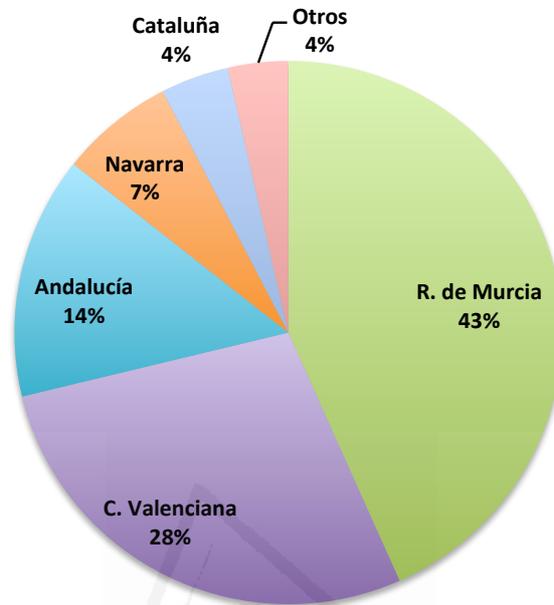


Figura 1.9. Producción de alcachofa en las distintas comunidades autónomas (%) (MAGRAMA, 2014).

En la campaña 2014/15, España produjo 221,2 millones de kilos de alcachofa (un 10,76% más que en 2013/14) de una superficie total cultivada de 16.763 ha (un 6,45% mayor que en la campaña anterior) (MAGRAMA, 2014). En el último avance de agosto del 2015, sobre la Superficie y Producción, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) considera que en la próxima campaña

2015/16 la superficie destinada al cultivo de la alcachofa se situará en torno a las 16.679 ha, de las que 8.400 ha se encuentran en la Región de Murcia y 3.782 ha en la Comunidad Valenciana.

1.1.4. Exigencias edafoclimáticas y nutricionales

1.1.4.1. Clima

La alcachofa es un cultivo típico de las regiones Mediterráneas, comportándose como vivaz en este clima y pudiendo permanecer varios años en el mismo terreno (Mercader, 2015). Es una planta de climas suaves y templados, sin cambios bruscos de temperatura (Macua, 1996), y con una alta humedad relativa (60%). Una baja humedad relativa promueve la apertura de las brácteas, lo que afecta negativamente la calidad del producto (CIREN, 1988).

La temperatura óptima de crecimiento puede situarse de los 15°C a 18°C en el día, y de 10 a 12°C en la noche (Casas, 2000), aunque la alcachofa a temperaturas superiores a 8°C puede crecer con normalidad (DIVAL, 2014). No tolera temperaturas de congelación, destruyéndose sus estructuras aéreas con temperaturas de -2 a -4°C y con -10°C se dañan las estructuras subterráneas (Maroto, 1995). Las plantas en estado de roseta resisten mucho mejor el frío que las que ya han iniciado la floración (Maroto, 2003). Cuando las temperaturas son inferiores a 5°C se detiene su desarrollo (Sala y Carpintero, 1967), aunque excepcionalmente puede soportar descensos de temperatura hasta de 4°C, y con temperaturas superiores a 30°C aceleran la apertura

de brácteas de la cabezuela (INIA, 2001), y forma pelo en su interior, afectando desfavorablemente a la calidad. Rojas (2011), especifica que a temperaturas superiores a 24°C se produce un alto grado de estrés en la planta, conduciendo a la formación de capítulos pequeños, abiertos y fibrosos. Gálvez (2014), ha observado que la planta es más sensible a cambios de temperaturas en la etapa de formación de la cabezuela, dándose las mejores condiciones entre 15,6 a 18,3°C.

En zonas con inviernos fríos y veranos suaves, como Navarra, el desarrollo de la planta tiene lugar desde marzo hasta los meses más fríos, en los cuales la planta entra en parada vegetativa.

En zonas con veranos muy calurosos, como Murcia y Alicante, el desarrollo del cultivo tiene lugar a partir de agosto, la producción es temprana y los cultivos se abandonan a partir de marzo ya que las temperaturas son alrededor de 30°C y los capítulos son de muy mala calidad.

Otra zona de producción en España, no muy extensa, es Zafarralla (Granada) que debido a su altitud presenta un microclima especial con inviernos muy fríos y veranos suaves. Por esta razón la plantación se realiza al final del invierno y se cosecha en los meses de verano, aprovechando que no existe producción en otras zonas españolas (García, 2014).

El cultivar más empleado es “Blanca de Tudela”, de multiplicación vegetativa. También existen pequeñas superficies de otros materiales de procedencia francesa como Macau y Calico Verde, de color verde, y Violet de Provence, Tema y Calico Rojo, de color morado, destinadas en

su totalidad a la exportación. Estos cultivos se centran principalmente en la zona del sur de Alicante y Murcia (Macua, 2009). Con estas variedades en las regiones mediterráneas es posible una cosecha continuada entre octubre y mayo, mientras que en regiones interiores las bajas temperaturas, que afectan negativamente a la producción de cabezuelas, hacen imposible la producción invernal. En este ciclo productivo los mayores precios suelen obtenerse para las recolecciones de otoño-invierno, que se destinan preferentemente al consumo en fresco, mientras que la industria suele absorber la mayor parte de la cosecha primaveral (Maroto, 2003).

1.1.4.2. Suelo

La alcachofa alcanza los mejores rendimientos y calidad en suelos profundos (más de 80 cm). Los suelos fértiles, bien drenados y de textura franco-arenosa, arcillo-limosa o franco-arcillo-arenosa son los que mejor se adaptan a este cultivo (Cárdenas, 2006).

Soporta mal el exceso de humedad del suelo, es una especie con un sistema radicular muy sensible a la asfixia, y puede adaptarse a suelos con pH ligeramente alcalino (pH 8,5), pero se desarrolla mejor en rangos de pH de 7-8 (Sala y Carpintero, 1967). Es una planta que tolera la salinidad, pero un exceso ocasiona necrosis en las brácteas internas y facilita la proliferación de enfermedades como *Botrytis* y *Erwinia* (Irañeta, 1996)

La alcachofa sufre un 10% de reducción del rendimiento con conductividades de 3,4 dS/m en el agua de riego. Estas pérdidas ascienden al 25% y 50%, para conductividades de 4,4 y 6,2 dS/m, respectivamente (Villa *et al.*, 1999).

Las actividades agrícolas tradicionales del cultivo intensivo de la alcachofa han generado problemas de degradación en el suelo (Porta *et al.*, 1994; Aparicio-Tejo *et al.*, 2000). La alcachofa es muy sensible a la fatiga del suelo, por lo que no es recomendable repetir el cultivo (Gil-Ortega, 1999), y es importante aplicar el abonado adecuado.

1.1.4.3. Necesidades hídricas

La alcachofa es una planta con necesidades hídricas importantes, principalmente en fases de crecimiento vegetativo y en producción de cabezuelas, ya que si hay deficiencia de agua, se producen plantas poco vigorosas y cabezuelas pequeñas con brácteas fibrosas (Espelta *et al.*, 1984; Macua, 2007; López *et al.*, 2007). Por el contrario, un exceso de agua puede provocar la podredumbre de las raíces sobre todo en las primeras semanas de desarrollo del cultivo (Espelta *et al.*, 1984; Macua, 2007; López *et al.*, 2007). El consumo medio de agua del cultivo de alcachofa se estima entre 7.000 a 10.000 m³/ha por ciclo (Serrano, 2006).

1.1.4.4. Riego

El cultivo de la alcachofa se puede regar mediante aspersión, manta y goteo. La técnica de riego empleada tradicionalmente era riego superficial, y actualmente es riego localizado. El riego por goteo es muy efectivo porque el agua cae directamente en las proximidades de la raíz, por lo que se optimiza el agua y se abona el cultivo al mismo tiempo. El riego por aspersión no se recomienda para alcachofa porque, aunque crea un ambiente de humedad alrededor de la planta que favorece el crecimiento y la producción, la humedad que se genera en la parte baja de las hojas de la planta propicia un hábitat para hongos y bacterias capaces de desarrollar enfermedades.

El agua es uno de los factores de la producción más limitantes en los agrosistemas, siendo el riego de los cultivos el principal sector consumidor de agua. Por lo que ante la acusada escasez de este recurso natural, resulta imperiosamente necesario utilizar el agua de riego de la forma más eficiente posible (Baixauli *et al.*, 2015). Recientemente, García *et al.* (2013) han demostrado que únicamente el sistema de riego localizado es viable económicamente, a pesar de conllevar una mayor inversión. La importancia de la fertirrigación en España es obvia partiendo de la base que los sistemas que suelen utilizar la fertirrigación (riego por goteo o localizado, aspersión y automotriz) son el 71,6% de la superficie regada. La superficie regada en España asciende a 3.540.560 hectáreas en 2013 (Oltra, 2014). Del total de la superficie regada existen diversos sistemas de riego, siendo el más común el riego localizado (1.707.576 ha), seguido del riego por superficie o gravedad (1.004.782

ha), riego por aspersión (529.215 ha) y por último el tipo automotriz (298.169 ha) (Figura 1.10) (Oltra, 2014).

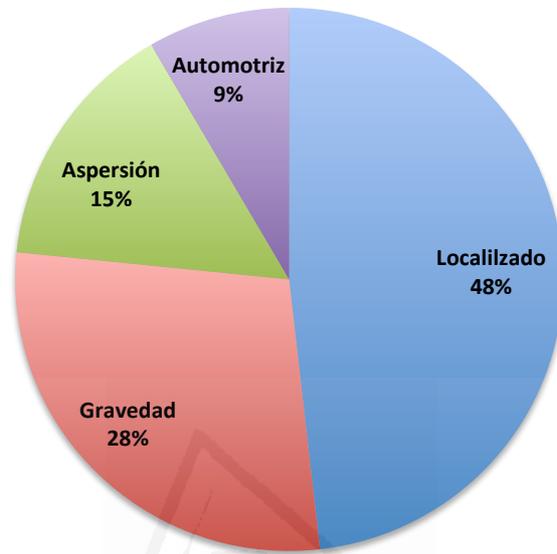


Figura 1.10. Sistemas de Riego en España (Oltra, 2014)

En el cultivo de la alcachofa son necesarios riegos frecuentes y abundantes. Sin embargo, no toleran los excesos de humedad (DIVAL, 2014). Únicamente se aconseja dar un riego abundante en la plantación para que proporcione suficiente humedad y conseguir un buen arraigado. Cuando la planta alcanza la madurez, el riego debe ser continuo, debido al gran desarrollo vegetativo de la planta y a su turgencia, pudiendo programarse semanalmente los riegos.

1.1.4.5. Requerimiento de nutrientes

El cultivo de la alcachofa es exigente en nutrientes dado su gran desarrollo foliar y la alta velocidad de producción de inflorescencia.

El nitrógeno, fósforo y potasio son elementos muy importantes en las plantas. El nitrógeno influye fundamentalmente en el crecimiento vegetativo, el fósforo en la calidad y precocidad de producción de capítulos y el potasio en la vigorosidad de los tejidos y en la resistencia a la sequía y a las heladas, puesto que disminuye la transpiración de la planta.

En España, una producción de 15.000 kilos por hectárea de alcachofa extrae 150 Kg de nitrógeno (N), 60 kg de fosfórico (P_2O_5) y 180 Kg de potasa (K_2O), no considerándose la extracción de hojas que retornan al suelo. Las hojas y los tallos de las plantas extraen el 60% de N, el 50% de P_2O_5 y el 80% de K_2O , mientras que los capítulos consumen el 30% de nitrógeno y fósforo, y un 45% de potasio (INIA, 2002).

La alcachofa es exigente en calcio y magnesio, absorbiendo alrededor de 18 Kg/ha de calcio y 28 Kg/ha de magnesio, elemento importante en la formación de la clorofila. El porcentaje de calcio extraído por el follaje es de 69,7%, la inflorescencia 24,7% y en raíz 5,6%. En magnesio, el follaje extrae el 61,7%, la inflorescencia 28,6% y la raíz 10,7% (Ferreira, 1993). Las hojas y las inflorescencias tienen un crecimiento mayor que las raíces, y por lo tanto requieren más nutrientes para su desarrollo (INIA, 2002).

La necesidad de nutrientes depende, entre otros factores, de la fase fisiológica en la que se encuentra la planta. Pomares (1991) y Magnífico y Lattanzio (1979) estudiaron las extracciones de nutrientes durante todo el ciclo biológico de la alcachofa y obtuvieron una mayor exigencia nutricional de la planta durante los meses de formación de las cabezuelas.

Otros estudios relacionados con la nutrición de las alcachofas se han basado en la relación entre la fertilización con nitrógeno y el rendimiento (Khayyo *et al.*, 2003; Pomares *et al.*, 2004). Rincón *et al.* (2007), realizaron un estudio sobre la concentración de nutrientes en la alcachofa y observaron que el fósforo es el macronutriente que menos se consume y el potasio el que más se consume, concentrándose este último en hojas y frutos, al igual que el nitrógeno que también tiene su máxima concentración en estos órganos. Por otro lado, la mayor concentración de calcio y magnesio se encontró en las hojas de alcachofa, mientras que la concentración más baja de ambos nutrientes fue observada en los frutos (Rincón *et al.*, 2007). En consecuencia, la mayor cantidad de macronutrientes de la alcachofa se concentra en las hojas, siendo las tasas más altas de absorción de macronutrientes durante el período de mayor crecimiento.

1.1.4.6. Fertilización

La fertilización tiene como finalidad aportar a la planta los nutrientes necesarios para conseguir un positivo rendimiento y una óptima calidad de la cosecha. Para ello es importante conocer cómo es la planta, su

sistema radicular, el consumo de nutrientes a lo largo del ciclo productivo y también, las características de la parcela.

Para ajustar la fertilización a las condiciones particulares de la parcela se debe tener en cuenta: el análisis de suelo, foliar y de agua, así como la incorporación de fertilizantes orgánicos. El programa de abonado debe realizarse teniendo en cuenta las peculiaridades específicas de cada explotación en relación a las características edafo-climáticas, variedad, ciclo vegetativo, técnicas de cultivo, etc.

El abonado en el cultivo de alcachofa suele aplicarse tanto de fondo como en cobertura. El primero se realiza días antes de la plantación, durante la preparación del terreno y el segundo en aplicaciones sucesivas durante todo el ciclo de vida del cultivo según las necesidades nutricionales de la planta. La aplicación del abono vía suelo es más recomendable que la aplicación foliar (Gil-Albarellos *et al.*, 2011). Una técnica que garantiza la absorción de los nutrientes en el suelo es la fertirrigación (Burt *et al.*, 1998). Una de las principales ventajas de la fertirrigación es que los nutrientes se pueden aplicar directamente a la zona de la raíz de acuerdo con las necesidades de la planta. Es necesario, por lo tanto, obtener las curvas de absorción de nutrientes en función del tiempo bajo condiciones de producción óptima (Bar-Yosef, 1991), y para ello es necesario conocer la materia seca y la concentración de los nutrientes en la planta. La curva óptima de consumo de nutrientes define la tasa de aplicación mínima de un determinado nutriente que se requiere para mantener una concentración constante de nutrientes en la disolución del suelo. Estos

datos constituyen la base de las recomendaciones para la fertirrigación eficiente. Si además se quiere aumentar la precisión se debe considerar los datos del sistema suelo-agua-planta y el medio en el que se desarrollan (Oltra *et al.*, 2007). En la Tabla 1.4 se muestra un ejemplo de programa de fertirrigación propuesto por Rincón (1996) para el cultivo de la alcachofa.

Tabla 1.4. Programa de fertirrigación (Rincón, 1996). Abonado de cobertura kg/ha·día

Intervalo (días)	Nitrato cálcico	Fosfato monoamónico	Sulfato potásico	Sulfato de Magnesio	Nitrato amónico
31 - 60	1,47	0,27	1,16	0,7	0,5
61 - 90	4,41	0,95	3,5	2,0	1,87
91 - 120	2,94	0,41	1,86	1,33	0,75
121-150	1,47	0,34	1,16	0,7	0,45
151-180	4,41	0,47	3,73	2,0	0,05
181-210	5,88	0,1	2,56	2,67	1,65
211-240	5,88	1,5	6,3	2,67	2,75
241-270	2,06	1,64	2,56	0,93	0,75

1.2. LA NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS

La nutrición mineral de las plantas es un proceso complejo en condiciones normales. La absorción de nutrientes por las plantas superiores presenta: selectividad (absorción preferente o cierta exclusión), acumulación (mayor concentración en la savia que la existente en el medio externo), y especie (características propias) (Madrid *et al.*, 1999).

El adecuado suministro, en cada momento, de agua y nutrientes es fundamental para optimizar el desarrollo de la plantación, así como propiciar la economía del agua y los nutrientes, evitar situaciones de estrés y deficiencias minerales, y obtener producciones estables (Rincón *et al.*, 1998).

1.2.1. Nutrición mineral

La nutrición mineral de las plantas forma parte de la fisiología vegetal y sus conocimientos desde hace varios siglos. El progreso de esta ciencia en las últimas décadas ha contribuido a importantes avances en la agricultura.

La nutrición vegetal es el conjunto de procesos mediante los cuales los vegetales toman sustancias del exterior para sintetizar sus componentes celulares o usarlas como fuente de energía. En el proceso se sintetiza materia orgánica rica en energía a partir de sustancias inorgánicas sencillas en presencia de luz (fotosíntesis). Las plantas son consideradas los únicos productores netos de energía de nuestro sistema biológico, con la excepción de algunos microorganismos. Son capaces de elaborar compuestos orgánicos complejos a partir del agua, del dióxido de carbono del aire, de la energía solar y de los elementos nutritivos del suelo (Madrid *et al.*, 1999).

Las investigaciones de campo han permitido concretar los niveles de concentración de los elementos esenciales para las plantas a lo largo de su desarrollo. Todos los nutrientes suministrados a las plantas no son

absorbidos en el entorno radicular en igual cuantía y velocidad, debiendo estar la disolución nutritiva adecuadamente equilibrada, dentro de los rangos óptimos para el desarrollo vigoroso de las plantas. La absorción radicular depende de la especie o variedad, la edad, el estado fenológico del cultivo, el sustrato, etc. y por supuesto de los factores ambientales (iluminación, temperatura y humedad relativa), que ejercen una influencia notable en la asimilabilidad de los nutrientes (Madrid *et al.*, 1999).

Para el estudio de la nutrición mineral de las plantas es necesario determinar su composición química, cuyo objetivo se puede alcanzar utilizando como método el análisis elemental, que determina la naturaleza y las proporciones en que se encuentran los elementos minerales en los tejidos vegetales y el análisis inmediato, que trata de reconocer la naturaleza de los compuestos orgánicos que existen en las diversas partes de la planta.

Aproximadamente, el 80-90% de la composición de la biomasa de las plantas está constituida por agua y el resto de materia seca (10-20%). La composición elemental de la materia seca de las plantas está constituida en más del 90% de carbono, hidrógeno y oxígeno, y el resto son otros nutrientes esenciales para las plantas, tales como: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, zinc, hierro, manganeso, níquel, silicio y otros elementos captados del entorno (Epstein y Bloom, 2006). (Figura 1.11).

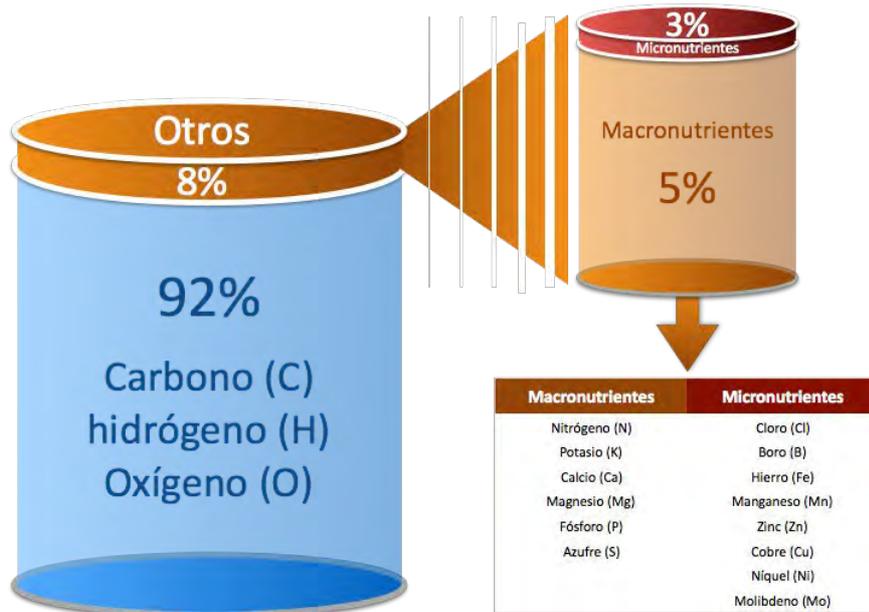


Figura 1.11. Composición media de una planta en $g \cdot 100g^{-1} m.s.$ Fuente: elaboración propia a partir de Azcón-Bieto y Talón, 2008.

Los minerales y el agua son absorbidos del suelo a través del sistema radical; aunque en determinadas condiciones pueden entrar a la planta a través de las hojas. La aplicación foliar de los elementos minerales es una práctica que se utiliza frecuentemente en la producción vegetal. La penetración de nutrientes a través de la hoja es afectada por factores externos tales como la concentración del producto, la valencia del elemento, el o los nutrientes involucrados, el ion acompañante, las condiciones tecnológicas de la aplicación (grosor de las gotas) y de factores ambientales tales como temperatura, humedad relativa, precipitación y viento. Así como también, por factores internos como la actividad metabólica. El grosor de la capa cuticular varía enormemente

entre especies de plantas y es también afectado por factores ambientales (Takeoka *et al.*, 1983 citado por Marschner, 1995).

El conocimiento de las exigencias minerales de los cultivos es fundamental para establecer los valores o normas de referencia requeridos para interpretar las concentraciones y las proporciones adecuadas de los elementos esenciales en cada cultivo. Hay varios aspectos a considerar: su acumulación o exigencia como tal, además de la redistribución y reciclaje como complemento de las exigencias, las cuales en general, se aplican a todas las especies (Rodríguez *et al.*, 2007).

La acumulación de los elementos esenciales en toda la planta, durante su ciclo de vida, depende de la especie, a veces de las variedades y de la magnitud de la cosecha, admitiéndose igualdad en la fertilidad del suelo, fertilización, encalado y manejo (Rodríguez *et al.*, 2007)

1.2.2. Nutrición y rendimiento

Para el estudio de la relación cuantitativa entre el suministro de sales minerales y el crecimiento de la planta se utilizan varios métodos, entre ellos el unifactorial, que consiste en elegir un elemento e introducirlo en un medio nutritivo bajo diversas condiciones y medir el crecimiento correspondiente (Barceló *et al.*, 2001) (Figura 1.12).

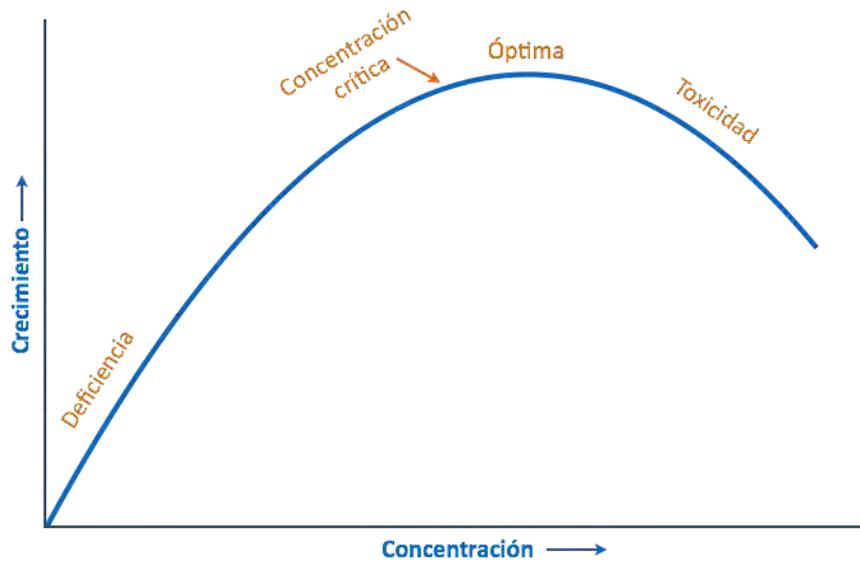


Figura 1.12. Curva de acción. Concentración de un nutriente frente al crecimiento

En la fase de deficiencia, la planta presenta síntomas patológicos, siendo un claro ejemplo de ello la deficiencia de hierro en nuestra zona. A pesar de existir hierro suficiente en el suelo, no está en forma asimilable para la planta, lo que es equivalente a tener deficiencia en ese elemento. La patología mostrada, resultado de esta deficiencia es la clorosis foliar. La fase óptima se produce cuando el crecimiento es máximo, pudiendo coincidir con esta fase el denominado consumo de lujo. La fase de toxicidad comienza cuando el exceso del elemento tiene como consecuencia una disminución del crecimiento.

En la Figura 1.12, también se puede emplear el factor producción en el eje de ordenadas en lugar de crecimiento para ver cómo afecta a la

productividad, aunque ésta se vería afectada por la interacción del elemento objeto de estudio con otros.

Para la interpretación del estado nutricional de las plantas se debe conocer algunas leyes fundamentales como la ley del mínimo, que dice así, “el rendimiento de una cosecha siempre depende del elemento nutritivo más débilmente representado”, lo que matemáticamente se expresa como:

$$\frac{dy}{dx} = (A - Y) \times C$$

Siendo:

dy: Aumento en crecimiento o rendimiento resultante del incremento en un elemento dado (dx)

A: Rendimiento máximo posible cuando todos los elementos están en concentración óptima.

Y: Rendimiento obtenido después de aplicar una cantidad determinada del elemento x.

C: Constante de acción que varía con la naturaleza del elemento estudiado (0,112 para N; 0,6 para P₂O₅; 0,40 para K₂O).

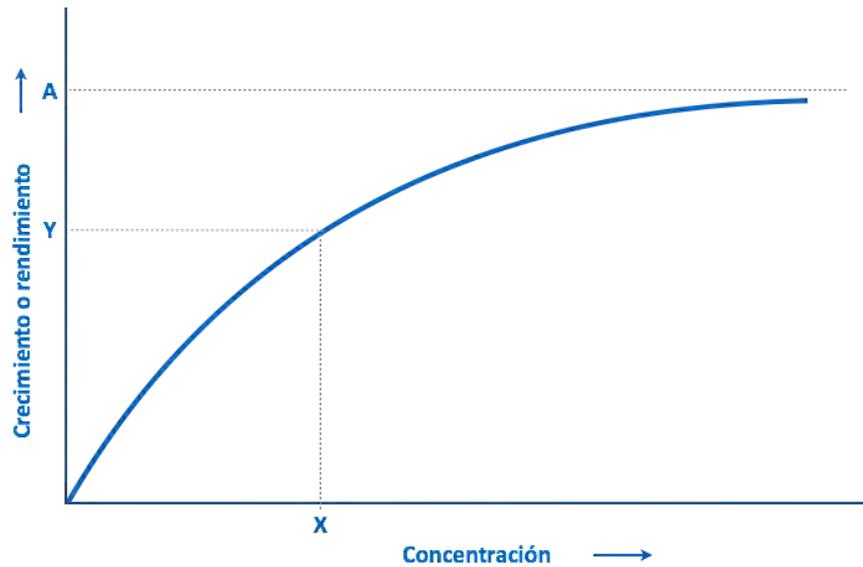


Figura 1.13. Ley de Mitscherlich o ley del mínimo.

La función de la Figura 1.13 presenta algunos errores. Mitscherlich olvidó los fenómenos de toxicidad, la disminución del efecto beneficioso que se produce al incorporar un elemento cuando el medio está muy desequilibrado, y por último la variabilidad que presenta la constante C (concentración) por la edad y el medio. La Figura 1.14 muestra explícitamente la ley del mínimo; donde se puede apreciar que a pesar de tener disponibilidad de varios nutrientes, el crecimiento o rendimiento de la planta está limitado a la disponibilidad de magnesio.

Universidad de Alicante

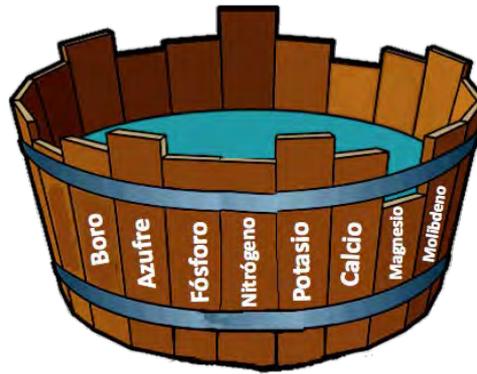


Figura 1.14 Representación gráfica de la ley de Mitscherlich (ley del mínimo).

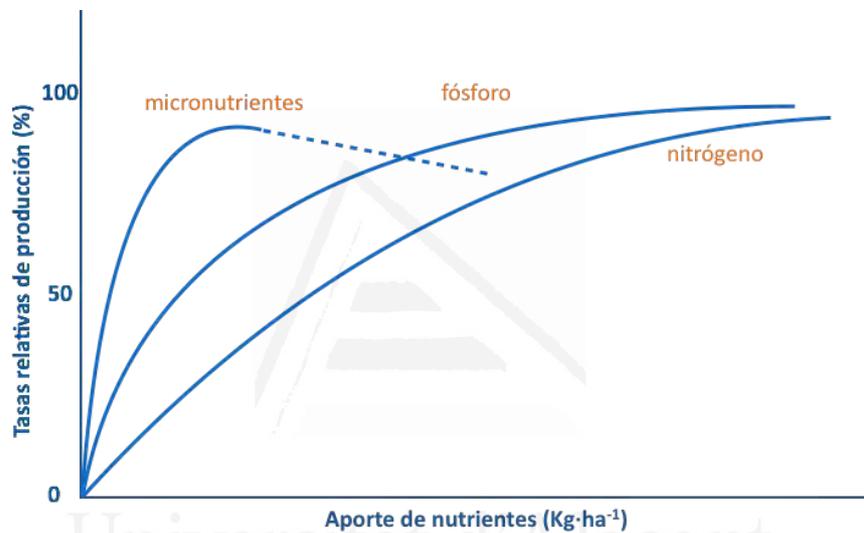


Figura 1.15. Curvas de producción vegetal en función de la concentración de distintos nutrientes en la planta. (Adaptado Marschner, 1995).

Las curvas de respuesta de la producción al aporte de nutrientes presentan distintas pendientes: los oligoelementos presentan la curva de mayor pendiente, mientras que el nitrógeno muestra la de menor (Figura 1.15).

1.2.3. Elementos minerales

Cada organismo es un sistema abierto conectado con su medio ambiente e influenciado por este en un intercambio permanente de materia y energía. Las plantas aumentan su biomasa usando dióxido de carbono del aire, la energía del sol y los nutrientes que toman del suelo y del agua (Jones y Jacobsen, 2001).

La presencia de elementos nutritivos en una planta, no es indicador de las necesidades cualitativas y cuantitativas de los distintos elementos químicos para una planta autótrofa (Arnon y Scout, 1939).

De esta idea surge el concepto de elemento esencial para el crecimiento de las plantas (criterio de esencialidad). Para que un elemento pueda ser considerado como esencial debe cumplir con estos tres criterios:

1. Un elemento es esencial si la deficiencia del elemento impide que la planta complete su ciclo vital.
2. La función que realice dicho elemento no podrá ser desempeñada por otro elemento con propiedades similares.
3. El elemento debe participar directamente en el metabolismo de la planta, bien como constituyente de un metabolito esencial, o que sea requerido para el funcionamiento de un enzima.

Los elementos esenciales se dividen en macronutrientes y micronutrientes, elementos traza u oligoelementos, basándose este criterio en que la planta requiera el elemento en grandes o pequeñas cantidades (Tabla 1.5).

Tabla 1.5. Elementos esenciales en la mayoría de las plantas, formas de absorción y concentraciones que se consideran adecuadas. Basado en Epstein (1972), Salisbury y Ross (1992) y Marschner (1995).

Elemento	Símbolo químico	Formas de absorción	Peso atómico	Concentración en peso seco	Átomos respecto al Mo	
(ppm)	%			$\mu\text{Mol}\cdot\text{g}^{-1}$ $\text{Mg}\cdot\text{kg}^{-1}$		
Molibdeno	Mo	MoO_4^{2-}	95,95	0,001	0,1 --	1
Níquel	Ni	Ni^{2+}	58,7	~0,001	~0,1 --	1
Cobre	Cu	Cu^+ , Cu^{2+}	63,54	0,1	6 --	100
Cinc	Zn	Zn^{2+}	65,38	0,3	20 --	300
Manganeso	Mn	Mn^{2+}	54,94	1	50 --	1.000
Hierro	Fe	Fe^{3+} , Fe^{2+}	55,85	2	100 --	2.000
Boro	B	H_3BO_3	10,82	2	20 --	2.000
Cloro	Cl	Cl^-	35,46	3	100 --	3.000
Azufre	S	SO_4^{2-}	32,07	30	--	0,1
Fósforo	P	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	30,98	60	--	0,2
Magnesio	Mg	Mg^{2+}	24,32	80	--	0,2
Calcio	Ca	Ca^{2+}	40,08	125	--	0,5
Potasio	K	K^{2+}	39,1	250	--	1
Nitrógeno	N	NO_3^- , NH_4^+	14,01	1.000	-- 1,5	1.000.000
Oxígeno	O	O_2 , H_2O	16	30.000	--	45
Carbono	C	CO_2	12,01	40.000	--	45
Hidrógeno	H	H_2O	1,01	60.000	--	6

En negrita las formas preferentes de absorción.

Hay diferentes formas en las que los elementos pueden encontrarse en el medio, aunque las plantas tienen preferencia por determinadas formas de absorción (Tabla 1.5). Por otro lado, dadas las continuas mejoras en las técnicas analíticas y en la purificación de elementos químicos, la lista de elementos considerados hoy como esenciales podría aumentar en un futuro; como ocurre con el sodio, que existen diferentes autores que lo consideran un elemento esencial.

El nitrógeno, el fósforo, el potasio y el agua son considerados como los principales factores limitantes del crecimiento, el desarrollo y finalmente del rendimiento económico de los cultivos (Parry *et al.*, 2005). Las respuestas de las plantas a la fertilización con N, P y K son de considerable importancia en la agricultura. A pesar que N, P y K con frecuencia limitan el crecimiento y desarrollo de varios cultivos, en condiciones de campo los mecanismos precisos por los cuales ocurre esa limitación son complejos y variables según la especie, etapa de desarrollo y el medio ambiente. Limitando el suministro de N, P y K se disminuye la tasa de división celular, la expansión celular, la permeabilidad celular (Hossain *et al.*, 2010), la fotosíntesis, la producción de hojas, el crecimiento (Chapin, 1980; Clarkson y Hanson, 1980; Evans, 1972; Zhao *et al.*, 2003, 2005a y b), y el rendimiento. Algunos estudios sugieren que la deficiencia de N afecta con más fuerza al desarrollo de la hoja que la fotosíntesis, y que los efectos de bajos niveles de N, P y K en las plantas causan bajas tasas de fotosíntesis y un lento proceso de expansión de la hoja (Hossain *et al.*, 2010).

Otros autores como Mengel y Kirkby (1987) han propuesto una clasificación de los elementos esenciales relacionada con la función fisiológica de los mismos en la planta, teniendo en cuenta su desempeño bioquímico. Así, se han definido cuatro grandes grupos, en el grupo 1, se encuentran los elementos que son constituyentes mayoritarios de las moléculas orgánicas, pero que también pueden estar implicados en procesos enzimáticos, como el Nitrógeno (N) y el Azufre (S). En el grupo 2, aparecen los elementos que son importantes en el almacenamiento de energía o en la integridad estructural, tales como el Fósforo (P), el Silicio (Si) y el Boro (B). En el grupo 3, los nutrientes que permanecen en su forma iónica, como el Potasio (K), el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg), el Cloro (Cl), el Manganeso (Mn) y el Sodio (Na). Finalmente, en el grupo 4, se incluyen los elementos que están involucrados en reacciones de oxidación-reducción, como el Hierro (Fe), el Zinc (Zn), el Cobre (Cu), el Níquel (Ni) y el Molibdeno (Mo).

1.2.3.1. Nitrógeno

Uno de los nutrientes esenciales para las plantas es el nitrógeno, el cual es necesario estructuralmente para biosíntesis de las proteínas y numerosas enzimas. El nitrógeno estimula el crecimiento de tallos y hojas. Además activa la producción de proteínas en frutas y granos, y ayuda a que la planta utilice otros nutrientes como fósforo y potasio (Kovacik *et al.*, 2007).

Las formas iónicas preferentes de absorción del nitrógeno por la raíz son el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+). Las plantas adquieren N del suelo, lo

acumulan y posteriormente se elimina en la cosecha. Por lo tanto para mantener rendimientos óptimos de cultivo, la adición de N al suelo es un requisito previo para la mayoría de los sistemas de cultivo a excepción de las leguminosas.

En relación al cultivo de la alcachofa, cuando el suministro de nitrógeno está por debajo de los niveles de suficiencia, generalmente la planta manifiesta un color amarillo y presenta un retraso en el crecimiento, lo que habitualmente se traduce en una reducción del rendimiento.

En un estudio de alcachofa de la variedad Blanca de Tudela, Rincón *et al.* (2007) observaron que la mayor concentración de nitrógeno se encuentra en las hojas y que disminuye a lo largo del periodo de cultivo. El descenso en la concentración de nitrógeno ocurre de igual forma en cabezas y tallos. Tras el análisis de la biomasa (hojas + vástagos + cabezuelas), estos mismos autores también encontraron que la absorción de N fue de 400 Kg·ha⁻¹ (Rincón *et al.*, 2007).

Por la gran movilidad que presenta del N en la planta, los primeros síntomas se observan en hojas maduras. Su deficiencia causa falta de turgencia, cambios de color en las hojas, las cuales primero se vuelven verde claro, para en estadios más avanzados presentar clorosis, y finalmente mueren; y reducción de los sistemas radicales (Suzuki *et al.*, 2003). Otros síntomas que pueden presentarse son acumulación de compuestos fenólicos como flavonoides, antocianinas y cumarinas (Kovacik *et al.*, 2007).

1.2.3.2. Fósforo

El fósforo es constituyente de coenzimas, ácidos nucleicos y sustratos metabólicos. Forma parte del ATP, que es el nucleótido más importante en la obtención de energía celular. Promueve el desarrollo radical, y aumenta la resistencia del vegetal a enfermedades. Es considerado factor de precocidad, ya que activa el desarrollo inicial de los cultivos y favorece la maduración (Xiang-wen *et al.*, 2008).

El fósforo es uno de los nutrientes más limitantes en el crecimiento y desarrollo de la planta junto con el Nitrógeno. La distribución del fósforo en los órganos de la alcachofa es: hojas (62,8%), tallos (1,7%) y 24,2% en las cabezas (Rincón *et al.*, 2007). La absorción total del cultivo de alcachofa con sistema de riego por goteo es alrededor de las 70 Kg·ha⁻¹ de fósforo (Rincón *et al.*, 2007; Pomares *et al.*, 2004).

La carencia de fósforo provoca, en general, hojas, tallos y peciolo maduros de color verde oscuro o azulado hasta morados. Las hojas pueden verse enrolladas. Las plantas tienen un desarrollo lento, la floración se demora, el sistema radical es pobre y las plantas son bastante susceptibles a infecciones (Rincón *et al.*, 2007).

1.2.3.3. Potasio

Tiene un importante papel en la fotosíntesis, traslocación de carbohidratos y síntesis de proteínas. Es un catalizador o activador de ciertas enzimas, participa en la osmorregulación y también en el mantenimiento del potencial de membrana (Pyo *et al.*, 2010).

El potasio está implicado en el control de la turgencia de las células guarda estomáticas (Gierth y Mäser, 2007). Es el elemento más consumido por el cultivo de alcachofa. El contenido más elevado se localiza en los tallos, con una menor concentración del nutriente en la cabeza. La concentración de K disminuye durante el desarrollo del cultivo en todas las partes de la planta. Las hojas contienen el 72,7%, los tallos el 5,8% y las cabezas el 21,5% de la absorción total de potasio (Rincón *et al.*, 2007).

En su ausencia, inicialmente se observa en las hojas maduras clorosis marginal e intervenal, enrollamientos, hojas arrugadas y brotes muy cortos. En general, la planta con déficit de potasio tiene un aspecto débil, con un sistema radical pobre, y con muy baja tolerancia a situaciones de estrés o ataques de enfermedades. La deficiencia estomática implica reducción de las tasas de transpiración e intercambio de gases (Gierth y Mäser, 2007)

1.2.3.4. Calcio

Dentro de las funciones del Ca en las plantas destacaría el endurecimiento de la pared celular, el mantenimiento de la integridad de las membranas plasmáticas, la protección frente a desequilibrios iónicos, el crecimiento meristemático, la osmorregulación y protección frente a situaciones de estrés, y su papel como regulador enzimático de enzimas como amilasa y ATPasa (Marschner, 1995).

El contenido en Ca en las plantas oscila entre un 0,1% y 5% de su peso seco. En cuanto a los requerimientos por el vegetal, se deben hacer distinciones en función de su taxonomía. Así, las plantas dicotiledóneas poseen mayores requerimientos de Ca debido a su mayor capacidad para el intercambio catiónico, mientras que las plantas monocotiledóneas, presentan unos requerimientos mucho menores (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 1987).

En el cultivo de la alcachofa, la absorción total de este nutriente, el 85,5% se acumula en las hojas, el 5,2% en los tallos y el 9% las cabezas (Rincón *et al.*, 2007).

Los síntomas de su deficiencia se observan inicialmente en hojas jóvenes dado su baja movilidad. En general, se observan meristemas apicales deformados, pequeños o sin crecimiento; las yemas en forma de gancho, los brotes del tallo o de flores se caen y en las hojas maduras se presenta clorosis marginal y pérdida de turgor (Littke y Zabowaki, 2007).

1.2.3.5. Magnesio

Las funciones del magnesio en la planta están principalmente relacionadas con su movilidad, su capacidad para interactuar con ligandos fuertemente nucleofílicos como los grupos fosforilo a través de enlaces iónicos, y actuado como elemento puente y/o formando complejos de diferentes estabilidades.

Los procesos metabólicos en los que participa son: fotosíntesis (componente estructural de las clorofilas y como coenzima de las

reacciones de carboxilación en la fijación de CO₂); formación de las paredes celulares; regulación de la turgencia y equilibrio entre cationes y aniones (debido a su carga positiva actúa como regulador osmótico tanto en el citoplasma como en la vacuola); síntesis de proteínas (conector de subunidades de ribosomas que se emplean en síntesis de proteínas); transferencia energética durante la síntesis de almidón y recepción de nutriente (actúa como catión puente entre el sustrato y la enzima); división y translocación de azúcares (es el elemento que controla la carga y descarga de las bombas de sacarosa y de floema) (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 2001).

Respecto al cultivo de alcachofa, de la absorción total, las hojas acumulan el 75,5% del magnesio, los tallos el 2,2% y las cabezas el 22,3% (Rincón *et al.*, 2007).

Cuando este elemento se encuentra en bajas concentraciones, la producción de clorofila disminuye, lo que se traduce en clorosis intervenal y finalmente necrosis. En las hojas maduras se presentan primero los síntomas, ellas se tornan quebradizas y enrolladas (Marschner, 1995). Para diagnosticar la carencia de magnesio el análisis foliar es la mejor herramienta y el análisis de suelo permitirá ajustar el abonado con posterioridad (Casas, 1995a).

1.2.3.6. Azufre

El azufre es componente de aminoácidos azufrados como la cisteína y la metionina. Forma parte de vitaminas, proteínas, coenzimas y glicósidos.

Participa en las reacciones de óxido-reducción formando parte de la ferredoxina (Marschner, 1995).

Un descenso en el contenido de azufre causa reducción en la síntesis de proteínas y de todas las moléculas que dependen de este elemento. Así, las hojas jóvenes presentan clorosis, las raíces y los tallos diámetros menores a los normales, pero de mayor longitud. En general, un sistema radical débil, pero invasivo, y tallos rígidos y quebradizos (Marschner, 1995).

1.2.3.7. Hierro

El hierro está implicado en un gran número de funciones fisiológicas en la planta debido a su elevada facilidad para cambiar de estado de oxidación y por su afinidad por diferentes ligandos orgánicos para formar quelatos estables y solubles (Mengel y Kirkby, 1987; Marschner *et al.*, 1986; Terry y Zayed, 1995). Este nutriente es un catalizador involucrado en la activación de enzimas necesarias en las reacciones de óxido-reducción y transferencia de electrones y actúa como transportador de oxígeno. Además actúa como cofactor en la síntesis de clorofila y en el correcto funcionamiento de otras enzimas importantes como catalasa, peroxidasa, ferredoxina y citocromos (Marschner, 1995).

La deficiencia de Fe es la sintomatología más fácil de reconocer de las provocadas por los microelementos, ya que produce un tipo de clorosis realmente característica. Los síntomas van a variar dependiendo de la edad de la hoja, de la gravedad de la deficiencia y en ocasiones de las

condiciones del medio. Los primeros síntomas de deficiencia incluyen clorosis intervenal y amarillamiento o blanqueamiento de las láminas foliares de las hojas jóvenes. En casos de deficiencia severa, se observan manchas angulares, cafés intervenales y en los márgenes de las hojas un color café oscuro con una apariencia de quemadura. Estos síntomas pueden presentarse en una rama o en la planta entera (Marschner, 1995).

1.2.3.8. Zinc

Es fundamental en la formación de auxinas, que son las hormonas del crecimiento. Interviene en la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas y vitamina C. Tiene un efecto positivo en el cuajado, maduración y agostamiento. Es un activador de enzimas que están implicadas en la regulación de varios procesos metabólicos, como la síntesis de DNA, RNA, proteínas, algunas hormonas (Kalaycia *et al.*, 1999).

El nivel normal de zinc en el tejido foliar es de 15-60 ppm, y en el sustrato, de 0,10-2,0 ppm. En general, los niveles insuficientes incluyen un crecimiento atrofiado y acortamiento de entrenudos. Las hojas se tornan amarillas o cafés, típicamente otoñales y con menor área foliar. El sistema radical presenta anomalías, así como los tallos. Las deficiencias de zinc pueden inducir elevados niveles de fósforo, nitrógeno, cobre o hierro (Kalaycia *et al.*, 1999).

En suelos equilibrados, ni la deficiencia ni la toxicidad de zinc ocurren con frecuencia; sin embargo, ambas repercuten negativamente en el

desarrollo y la calidad de los cultivos. Ambas condiciones deben ser afrontadas antes de que el daño causado a los cultivos sea irreversible.

1.2.3.9. Manganeso

El manganeso es un importante micronutriente para las plantas y, después del hierro, es el que las plantas requieren en mayor cantidad. Al igual que sucede con cualquier otro elemento, su deficiencia o su toxicidad pueden representar una limitante para el desarrollo de las plantas. En varias formas se asemeja al hierro, por lo que su deficiencia o su toxicidad suelen ser confundidas con las de éste (García-Serrano *et al.*, 2010).

Está implicado en la activación de enzimas que son catalizadores importantes de la reducción de carbohidratos, formación de clorofilas, y síntesis de DNA y RNA. Está directamente implicado en la producción de oxígeno durante la fotosíntesis (Shenker *et al.*, 2004).

Los síntomas de deficiencia presentan clorosis intervenal en las hojas jóvenes (hojas amarillas con venas verdes). Es evidente y similar a la observada en deficiencia de magnesio, zinc o hierro. En casos severos, se presentan puntos necróticos y caída de hojas; la formación de flores se reduce o se detiene (Shenker *et al.*, 2004). También el crecimiento de las plantas puede verse disminuido y retrasado. La deficiencia de este elemento puede surgir cuando el pH del sustrato de cultivo es superior a 6,5.

1.2.3.10. Cobre

El cobre está implicado en la síntesis de clorofila, ADN y ARN (Marschner, 1995). Es constituyente de la plastocianina, que funciona en la transferencia de electrones y de proteínas con actividad oxidasa.

Los síntomas de su deficiencia incluyen acortamiento de entrenudos, hojas nuevas que crecen atrofiadas, enanas o retorcidas, débiles y de color verde oscuro, con puntos necróticos. El sistema radical también se presenta atrofiado, y la floración y fructificación se reducen dramáticamente (Marschner, 1995).

1.2.3.11. Boro

El boro es absorbido por las plantas principalmente en la forma de ácido bórico H_3BO_3 no disociado, fundamentalmente mediante los mecanismos de flujo de masas (65%) y difusión (32%). Aunque parece que en alguna extensión se absorbe de forma activa, como anión borato $B(OH)_4^-$, el proceso de absorción es inicialmente pasivo (por difusión en el espacio libre), seguido después de una absorción activa en el espacio interno (Alarcón, 2001).

Este nutriente participa en la regulación interna del crecimiento por las hormonas vegetales, en la fecundación, en la absorción de agua, en la síntesis de ácidos nucleicos, en el mantenimiento de la integridad de la membrana celular, así como en la traslocación de azúcares (García-Serrano *et al.*, 2010).

Su deficiencia causa tallos y peciolo quebradizos, con crecimiento anormal y de color blanquecino. Las hojas jóvenes se presentan primero delgadas y curvadas. El programa reproductivo se ve retrasado o inhibido, y si hay frutos, éstos debido a la deficiencia se pudren con facilidad (Marschner, 1995)

1.2.3.12. Molibdeno

Interviene en la fijación del nitrógeno del aire en las leguminosas, al igual que en la transformación de nitratos en el interior de la planta (García-Serrano *et al.*, 2010).

La clorosis intervenal, que presenta esta deficiencia, puede confundirse por la producida por bajos niveles de nitrógeno, adicionalmente se observan manchas y algunas veces enrollamientos en los bordes de las hojas (Marschner, 1995).

1.2.3.13 Sodio

En las últimas cuatro décadas se han desarrollado numerosos trabajos para estudiar el rol del sodio en las plantas C4. Para Brownell y colaboradores, quienes han entregado valiosa información al respecto (Brownell, 1965; Brownell, 1967; Brownell y Crossland, 1972; Brownell *et al.*, 1991; Brownell y Bielig, 1996; Grof *et al.*, 1986a; Grof *et al.*, 1986b; Grof *et al.*, 1989; Johnston *et al.*, 1984; Johnston *et al.*, 1988), el sodio es un elemento esencial para estas plantas como micronutriente, (Brownell, 1967).

Actualmente, se acepta que el sodio es un nutriente esencial para la mayoría de las plantas C4 y así lo demuestran los ensayos efectuados por Brownell (1965), Brownell (1967), Brownell y Crossland (1972) en plantas C4 (quince especies) y C3 (doce especies) cultivadas en soluciones nutritivas con concentraciones de sodio 0,08 μM y 0,1 mM.

1.2.3.14. Cloro

Está implicado en la síntesis de clorofila. Es constituyente de la plastocianina, que funciona en la transferencia de electrones y de proteínas con actividad oxidasa. Está implicado en la síntesis de ADN y ARN (Marschner, 1995).

Los síntomas de su deficiencia incluyen acortamiento de entrenudos, hojas nuevas que crecen atrofiadas, enanas o retorcidas, débiles y de color verde oscuro, con puntos necróticos. El sistema radical también se presenta atrofiado, y la floración y fructificación se reducen dramáticamente (Marschner, 1995).

1.2.3.15. Níquel

El Ni fue considerado comúnmente un elemento tóxico para las plantas superiores. Sin embargo, estimula la germinación y el crecimiento de varios cultivos, además de ser esencial para un gran número de bacterias, como componente metálico de las enzimas ureasa y de muchas hidrogenasas. Actualmente, existe evidencia que el Ni sostiene la función de la enzima ureasa (cataliza la hidrólisis de la urea) de

plantas superiores, y es requerido por leguminosas (Eskew *et al.*, 1983; 1984) y no leguminosas (Brown *et al.*, 1987; Hernández Gil, 2002). El Co puede reemplazarlo en la ureasa de las hojas de pepino, pero con una menor actividad específica.

Por lo expresado anteriormente, Marschner (1995) considera al Ni un elemento esencial para las plantas superiores. Es absorbido como Ni^{2+} , y es transportado por el xilema como complejos o quelatos orgánicos aniónicos.

Presenta una capacidad intermedia de redistribución en la planta; en el suelo su movilidad es media en condiciones de oxidación, elevada en ambiente ácido y muy baja en ambiente neutro a alcalino y reductor (Malavolta *et al.*, 1997).

1.3. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL

1.3.1. Diagnóstico visual

El diagnóstico foliar puede realizarse por medio de la observación visual de síntomas de alteraciones, recibiendo la denominación de diagnóstico visual. Esta técnica cualitativa trata de caracterizar mediante el estudio de la sintomatología del cultivo, las posibles alteraciones nutricionales del mismo. Se utilizan grandes muestras, por lo que la precisión es bastante buena, pero el instrumento de análisis "el ojo" hace que este método no sea cuantitativo (Bertoni *et al.*, 1992).

Para el empleo de este método es habitual el uso de colecciones de fotos con deficiencias que pueden ayudar a la interpretación. El

diagnóstico visual ofrece un cierto grado de seguridad ante el técnico. A pesar de ello, en muchos casos los síntomas que muestran las plantas no son específicos y en caso de serlo, las causas de su aparición pueden ser varias. Las plantas cuyo síntoma de deficiencia visual para un nutriente determinado se considera infalible, se denominan indicadoras.

Otras causas de la poca exactitud que ofrece este método es que el aspecto visual de la planta varía según la especie, además de estar condicionado incluso por el ambiente. Por ejemplo, las plantas bajo sombra generalmente no manifiestan la deficiencia de zinc, mientras que las que crecen bajo la influencia de una intensidad lumínica alta, si la exhiben (Carvajal, 1978). Existen excepciones, Oltra *et al.* (2004) indican que el diagnóstico visual del Fe en limoneros es una técnica factible para determinar la carencia de este elemento y mucho más efectiva que la analítica, debido a que el método utilizado para la determinación del Fe en la mayoría de análisis foliares expresa la concentración total de este elemento, sin diferenciar el activo (Fe^{2+} capaz de intervenir en reacciones metabólicas) y el no activo (Fe^{3+}).

La mayor desventaja de este método es que cuando un síntoma aparece, la planta ha sufrido ya un daño irreversible que en mayor o menor medida va a reducir el rendimiento (Cadahía y Lucena, 2000).

La carencia o exceso de un elemento, se traduce en anomalías visibles, que son típicas para un elemento en cuestión. Por ejemplo, la carencia de nitrógeno causa un amarillamiento (clorosis) en las hojas viejas, la de azufre se corresponde con clorosis en las hojas jóvenes, la de zinc hace que los entrenudos de los brotes sean más cortos. Se debe tener

presente, que antes de aparecer los síntomas de deficiencia o exceso, el crecimiento y la producción ya estarán limitados.

Con objeto de diferenciar los síntomas de alteraciones nutricionales de otros síntomas, es importante considerar que los causados por alteraciones de tipo nutricional tienen siempre un patrón de distribución simétrico: las hojas de una planta en posiciones iguales o similares, de la misma edad fisiológica, presentan una distribución de síntomas casi simétrica (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Para diagnosticar el estado nutricional de una planta basado en síntomas visibles se requiere una aproximación sistemática como se muestra en la Figura 1.16.

Parte de la planta	Síntoma predominante	Deficiencia			
Hojas adultas	Clorosis	Uniforme	N (S)	DEFICIENCIA NUTRICIONAL	
		Intervenal o manchas	Mg (Mn)		
	Necrosis	Bordes y puntas	K		
		Intervenal	Mg (Mn)		
Hojas jóvenes y ápices	Clorosis	Uniforme	Fe (S)		DEFICIENCIA NUTRICIONAL
		Intervenal o manchas	Zn (Mn)		
	Necrosis / clorosis		Ca, B, Cu		
	Deformaciones		Mo (Zn, B)		
Hojas adultas	Necrosis	Manchas	Mn (B)	TOXICIDAD NUTRICIONAL	
		Bordes y puntas	B, salinidad		
	Clorosis, necrosis		Inespecífica		

Figura 1.16. Principios para el diagnóstico visual de desórdenes nutricionales. Fuente: Adaptado de Marschner, 1995.

Este tipo de diagnóstico puede ser especialmente complicado en cultivos agrícolas y en condiciones de campo, cuando se encuentra más de un nutriente en un nivel deficiente, o cuando se producen simultáneamente la deficiencia de un nutriente y la toxicidad de otro. También se complica el diagnóstico basado en los síntomas visibles con la presencia de plagas y enfermedades, o por otros daños provocados, por ejemplo, por el uso de rociados foliares (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

1.3.2. Análisis de suelo

La metodología básica para el muestreo de suelos fue definida hace más de 50 años por Cline (1944), y todavía no ha cambiado. Siempre se ha reconocido que los mayores errores son de muestreo, más que el propio error analítico (Cline, 1944).

La realización de análisis de suelos, es hoy una práctica habitual utilizada para el correcto diagnóstico de la fertilización de los cultivos agrícolas. Desde hace años, el convencimiento de técnicos y agricultores sobre la necesaria utilización de éstos es evidente, por lo que en la actualidad se realizan miles de análisis con la finalidad de obtener un diagnóstico y una recomendación adecuada a cada caso en particular (Giménez *et al.*, 2006).

Los objetivos del análisis de suelos con fines de diagnóstico son: proveer un índice de disponibilidad de nutriente en el suelo, predecir la probabilidad de respuesta a la fertilización o enmienda y proporcionar la base para el desarrollo de recomendaciones de fertilización (Gutiérrez *et*

al., 2005; Havlin *et al.*, 2005). El análisis de suelo es, sin duda, una de las mejores prácticas de manejo para el uso de fertilizantes y otros abonos, ya sea para los fines de producción como de protección ambiental.

Sin embargo, las cantidades de nutrientes extraídas mediante los distintos métodos de análisis de suelo a menudo no se corresponden con la disponibilidad real de dichos nutrientes y, por tanto, a menudo hay poca relación con las cantidades reales absorbidas por la planta (Romero, 2015). Esta falta de concordancia puede explicarse en parte por la localización de las raíces (Elwali y Gascho, 1984). De hecho, una de las principales dificultades en el muestreo de suelos de plantaciones frutales en general, y de alcachofa en particular, es conocer la profundidad y volumen de suelo explorado por las raíces, de forma que la muestra de suelo se corresponda con la zona de absorción (Brown, 1987).

Según Kafkafi y Tarchitzky (2012), en cultivos con sistemas de riego localizado de alta frecuencia, el análisis de suelo, el muestreo de la capa arable y su análisis son herramientas esenciales para manejar la salinidad del suelo y determinar el suministro de nutrientes. Por medio de los análisis de suelo, los desvíos entre las concentraciones óptimas y las actuales, se puede determinar y aplicar las medidas correctivas necesarias para restaurar las concentraciones requeridas en el suelo. El monitoreo del estado nutricional de los suelos puede realizarse por dos vías (Bar-Yosef, 1992); la primera implica el muestreo del suelo en una posición de referencia de la zona radicular y la extracción de nutrientes para determinar las concentraciones de las formas solubles y de los

adsorbidos en el suelo; la segunda, sólo para NO_3^- y Cl^- , consiste en el muestreo de la solución de suelo directamente por medio de cápsulas de vacío insertadas en forma permanente en el suelo, analizando la solución recolectada.

Por otra parte, autores como Giménez (2007) indican que los análisis de suelo en cultivos con sistemas de riego por goteo son poco útiles para determinar la fertirrigación debido al dinamismo que presentan los nutrientes en la zona húmeda de las raíces (bulbo húmedo). Estos autores afirman que en sistemas de riego por goteo destaca la importancia de las determinaciones analíticas como el porcentaje de CaCO_3 y de arcilla (Giménez, 2007). A partir de esta información, es predecible la dinámica, comportamiento y eficiencia de algunos elementos nutritivos, fundamentalmente el nitrógeno, fósforo y potasio.

1.3.3. Análisis de planta

1.3.3.1. Factores que afectan a la concentración de nutrientes en la planta

La concentración de los nutrientes en las plantas varía debido a diversas causas. La relación entre la velocidad de crecimiento y la absorción puede producir acumulación o dilución del nutriente en la planta. Por otro lado, dentro de la planta se producen translocaciones de nutrientes entre las distintas partes de la planta.

La relación entre la concentración de un nutriente en una planta o en una parte de la misma y el rendimiento constituye la base de muchos

esquemas para usar el análisis de planta como herramienta para evaluar el estado nutricional del cultivo (Barbazán, 1998).

El más común corresponde al esquema (a) de la Figura 1.17 en donde se observan tres partes: una parte ascendente donde aumenta el rendimiento cuando hay más concentración de nutriente dentro de la planta; una meseta, donde el rendimiento no está limitado por la concentración, y una parte descendente en la cual el rendimiento desciende al aumentar la concentración dentro de la planta (Barbazán, 1998).

El ejemplo b, c y d (Figura 1.17) presentan variaciones de esta relación. La curva mostrada en la Figura 1.17, llamada comúnmente “curva C” por Bates (1971), en la cual se incrementa el rendimiento con descenso de la concentración de nutrientes (comportamiento conocido como dilución del nutriente) fue encontrada por Piper en 1942 y ha sido utilizada para varios nutrientes. En plantas sin síntomas característicos de deficiencia de nutrientes, esta curva presenta problemas en la interpretación de los resultados del análisis de plantas.

El contenido de nutrientes esenciales en los tejidos vegetales viene determinado por varios factores entre los que se destacan la edad fisiológica o momento fenológico, la posición del órgano en la planta y la dotación génica de la planta o cultivar (Barbazán, 1998).

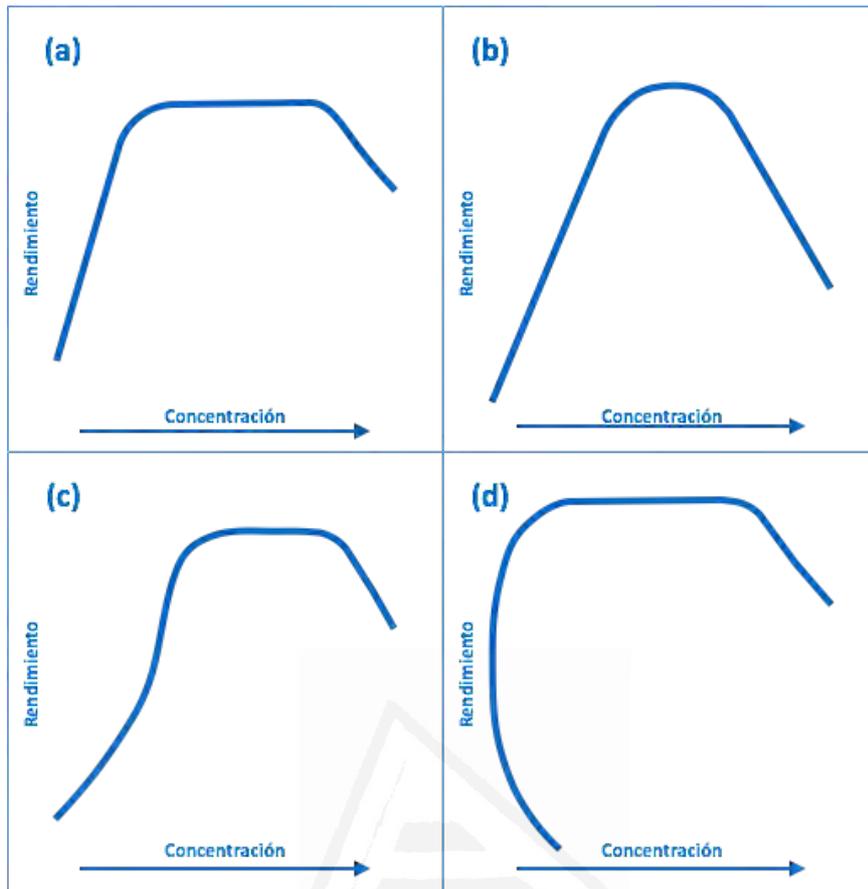


Figura 1.17. Relaciones entre rendimiento y concentración de nutrientes en partes de plantas cuando el suministro de nutrientes se incrementa desde deficiente a tóxico.

1.3.3.1.1. Edad fisiológica

En general, en especies anuales la concentración de nutrientes en hoja desde una edad temprana hasta la senescencia de la planta declinan con el tiempo, excepto los nutrientes inmóviles (Smith, 1962). Esto probablemente se deba a que hay un cambio en la proporción de ciertos

tejidos con la edad, como puede ser el incremento de la relación de tejidos estructurales y sustancias de reserva. En cultivos perennes la concentración de nutrientes en hojas y otros órganos fluctúan con los rebrotes estacionales y crecimientos y desarrollo de frutos, y también varían entre hojas de ramas vegetativas y fructíferas (Barbazán, 1998).

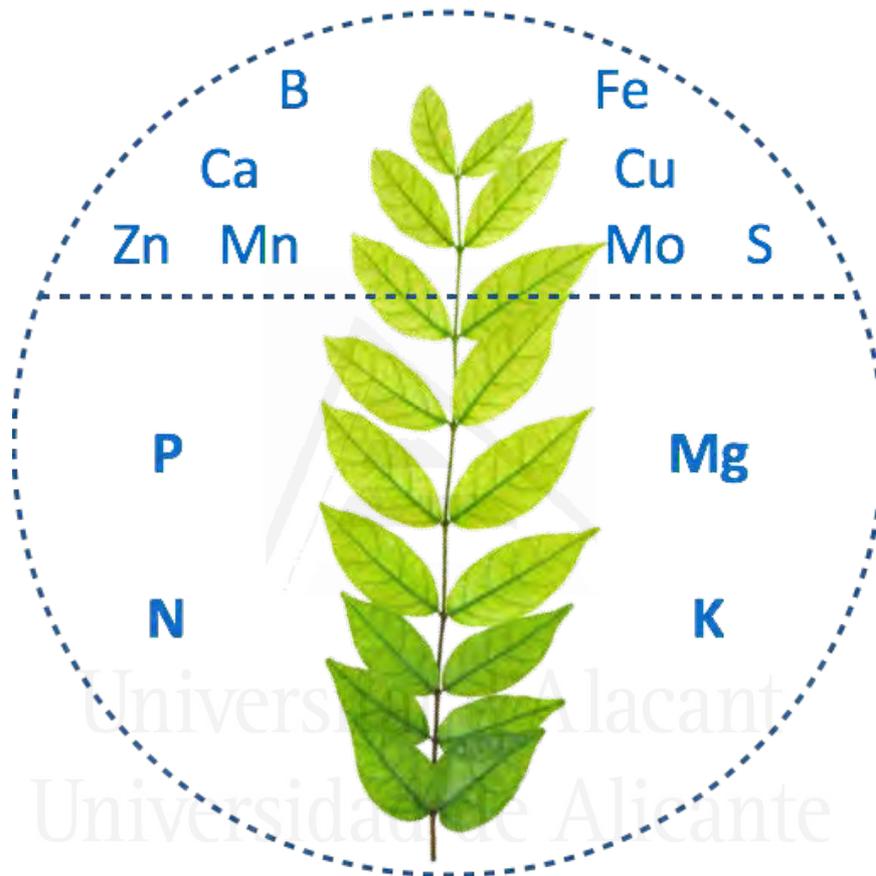


Figura 1.18. Localización de las deficiencias de los nutrientes en las plantas en función de la edad de la hoja.

La composición de la hoja variará en función del estado fenológico de la planta. En cultivos hortícolas los niveles de N, P y K decrecen, por lo general, con la edad de la planta. En cambio, el Ca, Mg y Na se incrementan (Casas, 1999). En la Figura 1.18 se puede observar la localización de las deficiencias de nutrientes según la edad de la hoja.

Sumner (1977a, b), realizó el diagnóstico del follaje de maíz y de soja a través del DRIS, con plantas de una gran variedad de edades, de localidades y de posiciones de la hoja en la planta y concluyó que no ocurrieron cambios significativos en el orden de requerimiento diagnosticado de los nutrientes. Con base a estos estudios, Walworth y Sumner (1988), expresan que el DRIS, puede minimizar en muchos casos las limitaciones causadas por la edad del tejido muestreado, limitaciones consideradas como las más severas para otros sistemas de diagnóstico.

En muchos cultivos anuales, la época de muestreo está generalmente establecida en fechas posteriores a los períodos tope de fertilización, donde ya no es posible hacer correctivos nutricionales durante el mismo ciclo de cultivo (Rodríguez *et al.*, 2007), a este hecho, Giménez *et al.* (2006) lo denominan análisis “post mortem”. Por la razón mencionada, es necesario que los nuevos enfoques de investigación en el área del diagnóstico se orienten hacia las metodologías que permitan realizar los muestreos y los consecuentes diagnósticos y recomendaciones, de forma previa a los períodos de aplicación de fertilizantes al cultivo. La finalidad es corregir cualquier deficiencia dentro del mismo año agrícola, no tendría sentido, diagnosticar los problemas nutricionales, cuando ya no se tiene oportunidad de corregirlos (Rodríguez *et al.*, 2007).

Varios autores coinciden que el DRIS, permite realizar un diagnóstico nutricional en cualquier etapa de desarrollo del cultivo, es decir, es menos sensible que otros sistemas de diagnóstico al envejecimiento de los tejidos, habiendo sido esto demostrado en diversos trabajos (Beaufils, 1973; Beaufils y Sumner, 1977; Sumner y Beaufils, 1975; Walworth y Sumner, 1987).

1.3.3.1.2. Órgano muestreado

El órgano o tejido de la planta a muestrear debe ser aquel que manifieste mejor la relación entre el contenido de un nutriente y el rendimiento del cultivo (Barbazán, 1998).

La hoja es el órgano más utilizado en la mayoría de los cultivos, porque es el que mejor refleja el estado nutricional de las plantas, sin embargo el muestreo no se realiza sobre cualquier hoja. Como regla general, se recomienda para la mayoría de los cultivos, recolectar las hojas maduras más recientes, no obstante, las normativas de muestreo buscan coincidir en que la hoja muestreable sea recolectada en la época de mayor estabilidad de los nutrientes (floración, disminución de la actividad vegetativa, inicio de cuajado, etc.). Esto lleva implícito que al recurrir a métodos de interpretación tales como los niveles críticos o rangos de suficiencia, las instrucciones para el muestreo foliar deben ser rigurosamente, las mismas utilizadas por el investigador que generó esos valores de interpretación de análisis químicos de tejidos (Rodríguez *et al.*, 2007).

1.3.3.1.3. Posición en la planta

Una vez definido qué tejido u órgano se va a muestrear, es necesario saber también qué posición ocupa éste en la planta: si es la primera o segunda hoja, si es la hoja opuesta al fruto, etc. En el caso de cítricos hay que definir además si es rama fructífera o no fructífera, dado que existen pautas diferentes de calibración para cada una de ellas, y cuáles hojas son las que se deben muestrear en cada caso (Barbazán, 1998).

En cultivos anuales se recomienda muestrear la última hoja en orden cronológico, o sea la hoja más reciente y completamente desarrollada. Esto presenta la ventaja adicional de que es fácil de reconocer. En viña se muestrea la hoja opuesta al primer racimo. En caso de que ésta no se encuentre o esté dañada, se debe sacar la hoja más cercana al racimo (Klein *et al.*, 2000).

Walworth y Sumner (1987), indican que al realizar el diagnóstico con el sistema DRIS en hojas de maíz con diferente posición dentro de la planta, solo ocurrieron variaciones menores en el diagnóstico y el nutriente diagnosticado como el más necesitado, resultando altamente independiente de la posición de la hoja analizada.

En el caso de la alcachofa Giménez *et al.* (2006) recomiendan utilizar la hoja más joven completamente formada, que esté sana, sin síntomas de plaga o enfermedad.

1.3.3.1.4. Influencia del cultivar

Cada variedad dentro de una misma especie se tiene que muestrear por separado porque suele haber grandes diferencias en cuanto a contenidos de nutrientes entre las mismas. Es obvio, por tanto, que no se pueden mezclar hojas de distintas especies. Esto es muy importante en la toma de muestras de cultivos arbóreos, donde a veces, entre los cultivos están presentes polinizadores (Aizpurua *et al.*, 1996).

En general, las características genéticas inciden en alto grado sobre la absorción y concentración de nutrientes en la planta. Autores como Casas (1996) detecta en tomate, con las variedades tipo “larga vida”, que los problemas de carencia de zinc son más acusados que en otras variedades; e indica que esto obliga a replantear los abonados en este microelemento, por su mayor exigencia. Por otra parte, este autor afirma que las nuevas variedades de pepino, tipo “Almería”, obligan a modificar los estándares de contenido de nitrógeno a nivel foliar. Esto se debe a que según los criterios anteriores del análisis foliar de pepino, las plantas mostraron síntomas visibles de carencia debida a niveles bajos en la fertilización nitrogenada (Casas, 1995b). Posiblemente todas estas variaciones se relacionan con la diferente capacidad de la raíz para absorber un determinado nutriente.

Giménez *et al.* (2004) calcularon los índices DRIS iniciales en alcachofa Violeta de Provenza, que difieren de los calculados en esta tesis basada en la variedad Blanca de Tudela. Este hecho constata una vez más las diferencias en el contenido foliar de las plantas de distintos cultivares.

1.3.3.1.5. Interacción entre nutrientes

Si bien se ha puntualizado que la planta es capaz de detectar deficiencias de un nutriente en concreto, un nutriente puede afectar no sólo la concentración de otro nutriente en la planta sino también su concentración crítica (Brar y Imas, 2009; Giner, 2015).

La interacción entre nutrientes hace referencia a la variación de los elementos en la hoja en función de los niveles en el suelo. Estas interacciones pueden ser positivas o negativas en función de la respuesta de la planta. Puede suceder que dos nutrientes sean sinérgicos cuando están presentes en baja concentración y antagónicos a concentración alta. El efecto inverso no es muy común. Para interpretar los datos analíticos correctamente se deberá conocer la naturaleza y dirección de estas interacciones. Esto tiene que realizarse para todos los nutrientes y a todos los niveles de concentración (Casas, 1999).

La interacción entre nutrientes en las plantas cultivadas ocurre cuando al abastecimiento de uno de los nutrientes afecta la absorción y utilización de otros nutrientes, este tipo de interacción es muy común cuando un nutriente tiene un exceso de concentración en el medio de cultivo, estas interacciones pueden ocurrir en la superficie de la raíz o dentro de la planta y pueden ser clasificadas en dos categorías principales; en la primera están los precipitados o complejos que ocurren entre iones por su capacidad de formar vínculos químicos; en la segunda es entre iones con propiedades tan similares que compiten por el sitio de adsorción, absorción, transporte y función en la raíz de las

plantas o dentro de sus tejidos, estas interacciones son comunes entre nutrientes de similar tamaño, carga, geometría de coordinación y configuración electrónica, este tipo de interacción es común entre Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , y Na^+ (Fageria, 2001).

Mortvedt *et al.* (1972) hace énfasis en la compleja naturaleza de las relaciones entre crecimiento de la planta, la concentración de nutrientes en solución y la concentración de los mismos dentro de la planta; el crecimiento depende de varios factores que interactúan entre sí, tales como: el abastecimiento de nutrientes, el rango de absorción de los nutrientes, la distribución de estos hacia sitios funcionales y la movilidad de los mismos. Grandes progresos se han logrado a este respecto, principalmente en lo relativo a los problemas en los puntos de conexión entre factores interactuantes.

En la Figura 1.19 se muestran las interacciones y antagonismos entre los diferentes nutrientes. La importancia de las interacciones de nutrientes en la producción de cultivos es que reflejan indirectamente el rendimiento. Los más altos rendimientos se obtienen generalmente cuando los nutrientes y otros factores que influyen en el crecimiento están en las proporciones adecuadas, conforme se alejan de ese estado los antagonismos se reflejan como una reducción del rendimiento; las interacciones antagónicas y sinérgicas están determinadas por el nivel de cada nutriente en el suelo y la especie de la planta. Un mayor conocimiento de esas propiedades del suelo puede conducir a reducir las interacciones negativas y a hacer más eficiente la producción de los cultivos. A pesar de las investigaciones realizadas las interacciones entre

macro y micronutrientes necesitan más estudios y caracterización, especialmente bajo condiciones de campo (Fageria y Baligar, 1999).

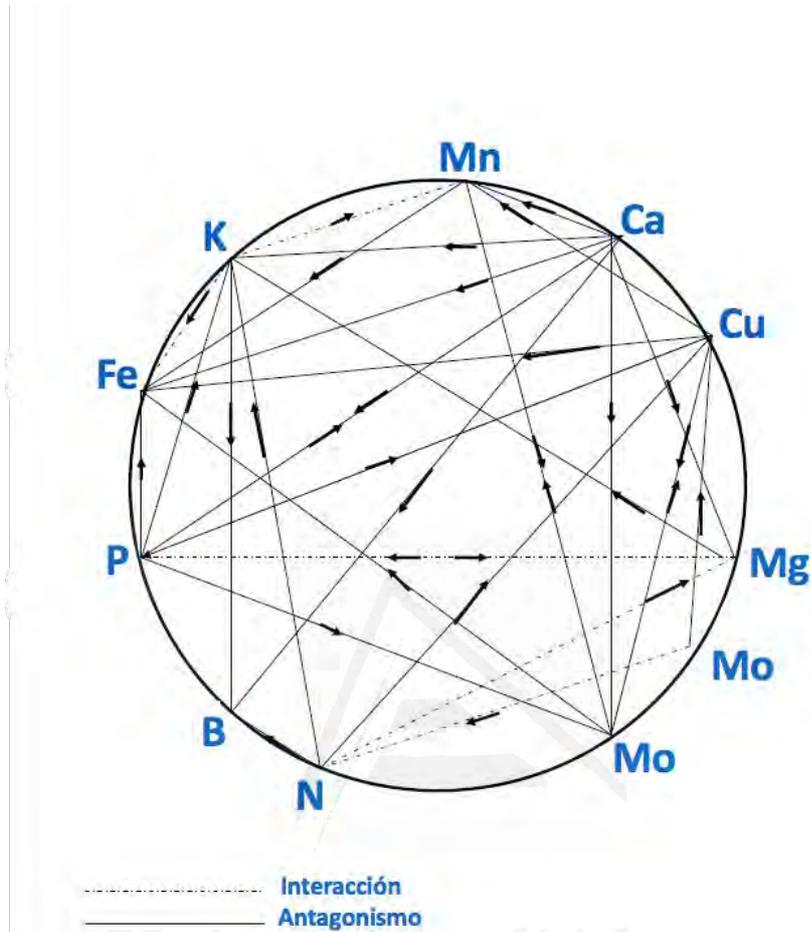


Figura 1.19. Interacciones y antagonismos entre los elementos minerales. Fuente: Adaptación de Mulder (1953).

Es evidente la complejidad de la investigación en cuanto a la interacción entre nutrientes, por tanto, los estudios quedan reducidos a interacciones binarias y terciarias. En las relaciones binarias se varían las proporciones relativas de los dos elementos manteniendo siempre la

suma constante y manteniendo también sin variación los otros elementos (Figura 1.20). Las relaciones terciarias consideran el efecto equilibrado de tres elementos de un medio nutritivo (Barceló *et al.*, 2001).

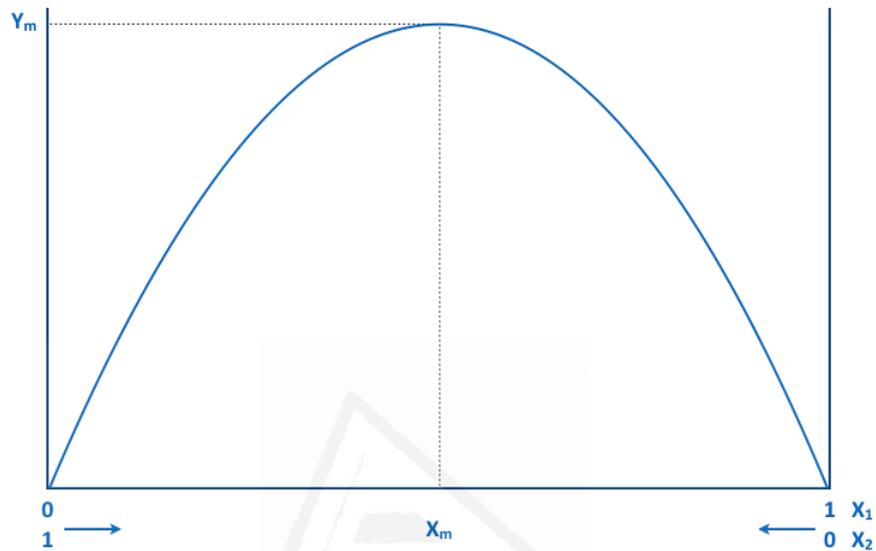


Figura 1.20. Interacción binaria. Producción máxima Y_m para una producción X_m de los dos elementos estudiados X_1 , X_2 . Fuente: Barceló *et al.* (2001).

1.3.3.1.6. Condiciones ambientales

Se ha demostrado que las condiciones ambientales: humedad del aire y del suelo, temperatura e intensidad de la luz, afectan a la concentración de nutrientes y también al nivel crítico, tanto en el momento del muestreo como en la respuesta del cultivo a la aplicación de nutrientes. Esto significa que el análisis de plantas es más susceptible que el análisis

de suelos a las variaciones en las condiciones ambientales, lo cual explica por qué el análisis de plantas ha tenido más éxito en regiones secas, calurosas y con riego. En dichas situaciones, las condiciones ambientales son relativamente constantes, y la humedad del suelo es manejada por el hombre (Barbazán, 1998).

Walworth y Sumner (1988), indican que al comparar normas derivadas de hojas de maíz de diversas partes del mundo, se obtuvieron diferencias fundamentalmente en los valores de Ca y Mg. Esta situación podría conferirle algunas limitaciones a la aplicación universal de las normas desarrolladas en una localidad; estos autores señalan que dichas variaciones reflejan una variación permisible en los niveles de Ca y Mg en los tejidos de las plantas de más altos rendimientos. Los coeficientes indicados para Mg/MS fueron de 42%, mientras que para N/MS, P/MS y K/MS fueron de 12, 30 y 32%, respectivamente.

Según Munson y Nelson (1990), los resultados obtenidos de los estudios de maíz por Escano *et al.* (1981), y en alfalfa por Walworth (1985), sugieren que las normas desarrolladas local o regionalmente, producen mayor precisión en el diagnóstico de deficiencias o desequilibrios que aquellos producidos por normas de otras regiones.

Por otra parte, en las normas DRIS para caña de azúcar derivadas de datos generados en diversos suelos de Florida, EE.UU. y Sur África (Sumner y Beaufils, 1975), se observó que, a pesar de las grandes diferencias en condiciones edáficas y ambientales, las normas derivadas promediando los valores de los dos grupos de plantas más productivas resultaron idénticas.

1.3.3.2. Análisis foliar

El análisis foliar permite obtener los conocimientos básicos sobre el crecimiento, producción y cualidades de los cultivos en distintas condiciones medioambientales. La técnica del diagnóstico foliar de los cítricos se utiliza rutinariamente como método para guiar y controlar las aplicaciones de fertilizantes, buscar las causas de carencias y toxicidades y juzgar los efectos de los ensayos agronómicos (Oltra *et al.*, 2004).

El análisis de plantas, a veces erróneamente referido como análisis foliar, es una técnica que determina el contenido de los nutrientes en tejidos vegetales de plantas de un cultivo muestreado en un momento o etapa de desarrollo determinados (Munson y Nelson, 1986; Campbell, 2000). Esta herramienta se basa en los mismos principios que el análisis del suelo, asumiendo que la concentración de nutrientes en la planta está directamente relacionada con el potencial de suministro de nutrientes del suelo y la productividad de las plantas.

El análisis químico de tejidos de plantas, fue definido por Ulrich (1948), como una herramienta para la solución de problemas nutricionales de plantas desarrolladas bajo condiciones de campo.

La hoja o parte foliar, ha sido el tejido de las plantas más utilizado para ser analizado químicamente, por la razón que refleja con mayor exactitud, el estado nutricional de la planta (Malavolta, 2006; Mourão Filho y Azevedo, 2003; Hallmark y Beverly, 1991; Beaufils, 1973). Esto es debido a que el tejido de la hoja se considera la parte más importante de la planta donde ocurre la actividad fisiológica, mostrando fácilmente las alteraciones nutricionales que se produzcan.

Se utilizan varios métodos de diagnóstico para evaluar el estado nutricional de un cultivo, incluyendo el análisis de savia, los análisis de metabolitos activos (por ejemplo, N-NO_3^- en peciolo), o estudios de las actividades enzimáticas específicas. Sin embargo, el análisis mineral de limbos y peciolos son todavía los más utilizados (Cook y Kishaba, 1956; Bonilla *et al.*, 1980; Montañés *et al.*, 1993; Lucena, 1997; Robinson, 2005).

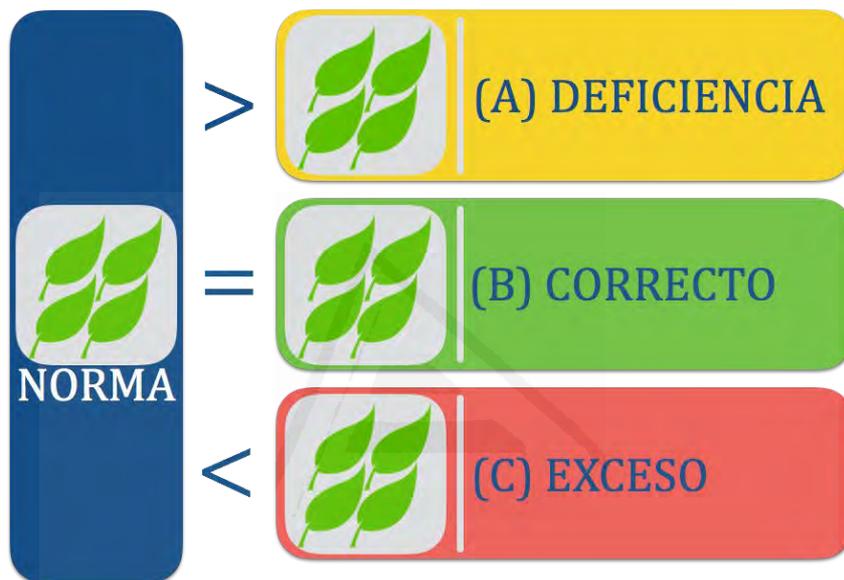


Figura 1.21. Posibilidades del diagnóstico: (A) Deficiencia del elemento analizado, (B) Nivel nutricional correcto, (C) Exceso del elemento analizado.

Evaluar el estado nutricional de una planta mediante la interpretación de un análisis foliar, simplemente consiste en hacer una comparación entre los valores de una muestra proveniente de un cultivo problema y

los valores obtenidos de una muestra de un cultivo de referencia que representa a un conjunto de plantas “normales” desde el punto de vista de su nutrición (Walworth y Sumner, 1987; Lucena, 1997; Mourao Filho, 2004; Rodríguez *et al.*, 2007) (Figura 1.21).

Se considera una planta normal aquella que presenta en sus tejidos todos los elementos nutritivos en cantidades y proporciones adecuadas y, por tanto, permite obtener altos rendimientos, además de mostrar una apariencia visual sana (Malavolta *et al.*, 1997).

Según Rodríguez *et al.* (2007) el diagnóstico foliar tiene como finalidad comprobar si el nivel de fertilidad del suelo es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo; además, si es necesario, puede resultar de utilidad para la aplicación de enmiendas y/o fertilizantes.

Para utilizar el análisis foliar en la planificación de una fertilización correcta que permita obtener altas producciones en cultivos de alcachofa, es necesario conocer el nivel deseable de cada nutriente en tejidos representativos del estado nutricional de la planta. Una vez establecido el óptimo, se podrá definir el exceso y la deficiencia de cada uno de ellos y, a partir de ahí, controlar la nutrición mediante diagnóstico de los tejidos elegidos. La relación entre el contenido del órgano analizado y el rendimiento son indispensables para establecer el contenido óptimo (válidos para la variedad estudiada en un medio determinado y un tejido concreto), y constituyen las bases para aplicar un diagnóstico nutricional con garantías (Champagnol, 1990). Numerosos autores han constatado las dificultades para establecer relaciones entre estos parámetros y el contenido en nutrientes del

material foliar; debido esencialmente a que el rendimiento depende de muchas variables (Delas, 1990; Champagnol, 1990; Failla *et al.*, 1997).

La relación entre productividad y estado nutricional de la planta se cumple cuando todos los factores de la producción se encuentran en un nivel adecuado o próximo a la normalidad. Esta relación no se mantiene constante en todas las circunstancias de un ecosistema (Silva y Rodríguez, 1995).

1.3.3.2.1. Métodos para la interpretación

El diagnóstico foliar es un método de evaluación del estado nutricional de los cultivos, basado en la interpretación de los análisis químicos de tejidos, particularmente de las hojas. Los métodos de interpretación más destacados son: Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) de Beaufils (1973); Deviation from Optimum Percentage (DOP) de Monge *et al.* (1995), Montañez *et al.* (1995) y Sanz (1999); Compositional Nutrient Diagnosis (CND) de Parent y Dafir (1992), Parent *et al.* (1993), Parent *et al.* (1994a), Parent *et al.* (1994b) y Parent *et al.* (1995); Principal Components Analysis (PCA) de Holland (1969) y Propuesta de Interpretación de Resultados de Análisis (PIRA) de Rodríguez (2003).

Las interacciones entre nutrientes, tanto en el medio de cultivo como en la planta, en ocasiones llevan a la aparición de desequilibrios nutricionales que pueden obstaculizar tanto el crecimiento y desarrollo vegetativo como el rendimiento del cultivo. La importancia de estas

interacciones ha hecho que se desarrollen métodos de interpretación en los que las relaciones entre nutrientes sirven como base para la determinación del estado nutricional del cultivo y para visualizar qué nutrientes se encuentran en situación de desequilibrio (Cadahía y Lucena, 2000).

La comparación de los resultados del análisis foliar con la norma se viene haciendo de distintas maneras. Algunas implican una mera comparación entre concentraciones de un solo elemento y su norma, otras usan relaciones entre dos elementos o, incluso, son multicomponentes (Azcón-Bieto y Talón, 2000). En el primer caso se encuentran los métodos estáticos y en el segundo los dinámicos.

Las referencias son imprescindibles para hacer un diagnóstico. El punto crucial en la implementación de cualquier sistema de diagnóstico foliar es el establecimiento de los valores de referencia (Prevot y Ollagnier, 1957; Bates, 1971; Lucena, 1997; Walworth y Sumner, 1987).

Los valores de referencia utilizados para la interpretación, se pueden representar bajo distintas formas: cocientes individuales de un nutriente y materia seca, cocientes entre elementos, combinaciones más complejas, y composición mineral del tejido. Un ejemplo del valor de referencia, relacionando nutriente y materia seca lo constituye el nivel crítico (Macy, 1936; Prevot y Ollagnier, 1956; Dow y Roberts, 1982), nivel crítico inferior o nivel crítico fisiológico (Malavolta *et al.*, 1997), que se define como el porcentaje de un elemento en la hoja, debajo del cual la aplicación de ese elemento bajo la forma de fertilizante, tiene grandes probabilidades de aumentar el rendimiento.

El nivel crítico fisio-económico, se define como el rango de valores tal que, cuando el nutriente está por debajo del mismo, la producción está limitada y por encima la fertilización no es económica. Este último concepto fue desarrollado y aplicado en los cultivos de caña de azúcar en Brasil (Pimentel Gomes, 1957).

1.3.3.2.1.1. Valor o concentración crítica

La relación entre la disponibilidad de un nutriente en el medio de crecimiento y el contenido del nutriente en la planta, se utiliza junto con los métodos del análisis foliar y de planta, para diagnosticar la disponibilidad del nutriente en el suelo, ya que la planta necesita un cierto nivel de un nutriente en sus tejidos para un buen crecimiento y desarrollo. Este nivel crítico es diferente para cada nutriente de la planta. Un concepto básico en la interpretación del estado nutricional de los cultivos mediante el análisis de tejidos es la “concentración crítica”, que se define como: aquella concentración de un nutriente en el tejido justo por debajo del nivel de crecimiento óptimo. Generalmente se asocia con una disminución del 5-10% del crecimiento o rendimiento máximo (Giner, 2015).

Según Osman (2013), para la interpretación de un análisis foliar pueden establecerse tres umbrales: el de deficiencia con síntomas visibles de la deficiencia y bajos rendimientos, el de suficiencia por encima del que se obtienen altos rendimientos y por debajo del cual el rendimiento disminuye, por tanto, existe respuesta a la adición del nutriente, y por

último, el umbral de toxicidad que representa concentraciones por encima de las cuales la planta presenta problemas para su desarrollo.

La interpretación del análisis engloba las concentraciones encontradas entre el valor a partir del cual la planta no presenta problemas para su desarrollo y el valor de concentración máxima tolerada; por debajo de éste último no se presenta reducción del rendimiento. La definición de este nivel crítico (NC) asume que los demás nutrientes se encuentran en un nivel adecuado, evaluando cada elemento por separado. Bates (1971), involucra aspectos económicos en la definición de nivel crítico (NC), definiendo NC como la concentración a partir de la cual aplicaciones del nutriente no aportan un beneficio o retorno económico.

Hay numerosas publicaciones que presentan los valores de concentración crítica de nutrientes para los principales cultivos agrícolas, aunque las dos más completas son las de Jones *et al.* (1991) y Martin-Prevel *et al.* (1987).

El método de los niveles críticos para interpretación los análisis foliares son dependientes de muchas condiciones como el clima, estado fenológico, disponibilidad de otros nutrientes, tejido muestreado y otros factores.

1.3.3.2.1.2. Rangos de suficiencia (RS)

El método de los Rangos de Suficiencia (RS) sigue siendo una de las metodologías más utilizadas para determinar el estado nutricional de la alcachofa a partir del análisis foliar de las plantas.

Los rangos de suficiencia utilizan una comparación de la concentración de nutrientes con respecto a diferentes gamas de valores, clasificando así cada concentración de nutrientes como deficiente, baja, adecuada, alta o excesiva (Lucena, 1997; Robinson, 2005; García-Escudero *et al.*, 2013). Existen numerosos trabajos que mediante este procedimiento determinan los RS para diversas variedades, tejidos y momentos fenológicos, limitándolos a las particularidades de determinadas regiones.

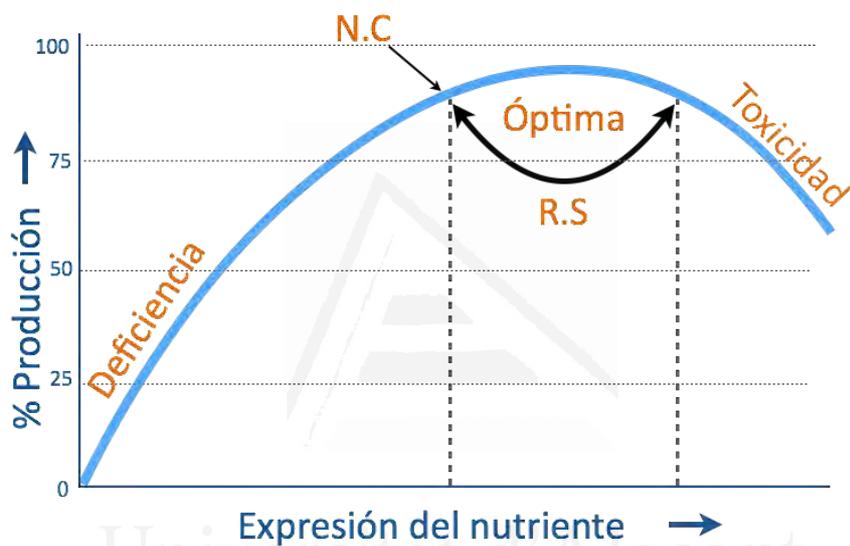


Figura 2.22. Relación entre la producción y la expresión de un nutriente. Nivel Crítico y Rango de Suficiencia.

Los rangos de suficiencia para un nutriente son valores de concentración entre los cuales la planta vegeta y produce con normalidad (Figura 1.22). Cuando el valor crítico para un nutriente ha sido determinado, éste

suele constituir el límite inferior del rango de suficiencia (Barker y Pilbeam, 2007), mientras que el límite superior se sitúa en un valor correspondiente a un valor inusualmente alto o incluso tóxico (Sumner, 1978). A pesar de que estos rangos de suficiencia se idearon para flexibilizar el diagnóstico, se les achaca una menor precisión porque sus límites son, con frecuencia, demasiado amplios (Sumner, 1978).

1.3.3.2.1.3. Desviación del óptimo porcentual (DOP)

El método de cálculo de la Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) fue propuesto en 1991 por la Estación Experimental Aula Dei de Zaragoza, como un método sencillo de estimación del estado nutricional del melocotonero (*Prunus persica* L.), y por ende de otros cultivos (Montañés *et al.*, 1993). De igual modo que en el método de los rangos de suficiencia, el método DOP compara individualmente la concentración de cada nutriente con respecto a su referencia (Romero, 2015).

El índice DOP es definido como la desviación porcentual de la concentración de un elemento (% sobre materia seca) con respecto a la concentración óptima considerada valor de referencia. El signo del DOP para un determinado elemento, será negativo en caso de déficit y positivo en caso de exceso. Cuando el contenido de la muestra coincida con el óptimo de referencia el DOP será igual a cero (Montañés *et al.*, 1993) (Figura 1.23).

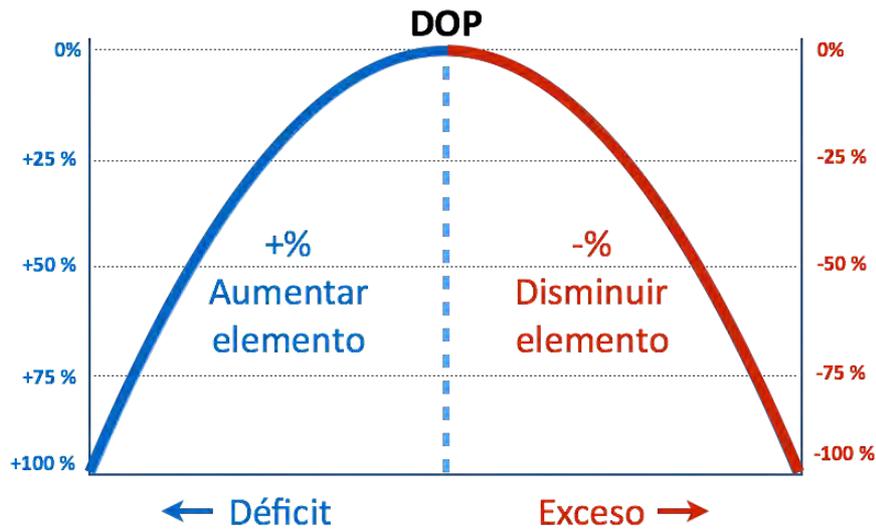


Figura 1.23. Representación visual del DOP (Desviación del Óptimo Porcentual).

El índice de Desviación del Óptimo Porcentual se calcula aplicando la siguiente relación:

$$DOP = \left[(C - C_{ref}) \cdot C_{ref}^{-1} \right] \cdot 100$$

Donde,

C: Es concentración foliar (en porcentaje sobre materia seca) del elemento en la muestra analizada.

Cref: Es el Óptimo del mismo elemento (porcentaje sobre materia seca) definido en las mismas condiciones en que fué tomada la muestra problema y, lógicamente, para el mismo cultivo.

Montañés *et al.* (1993) afirman que esta metodología para la interpretación foliar permite obtener unos índices (DOP) que superan las posibilidades diagnósticas de los métodos más utilizados de los laboratorios especializados.

Asimismo, la metodología DOP permite calcular otro índice más global, representativo del estado nutricional general del cultivo. La suma de los valores absolutos de los índices individuales obtenidos para cada nutriente, ($\sum |DOP_i|$), se considera un índice general que representa el equilibrio nutricional de la planta. Este sumatorio tendrá un valor cercano a cero cuando la muestra corresponda a un cultivo que se encuentre próximo a un adecuado estado nutricional (Romero, 2015).

La metodología DOP cuenta entre sus ventajas con la sencillez del método y con la de obtener resultados similares a los encontrados mediante la metodología DRIS. Además, al tratarse los índices DOP de una medida directa de la desviación frente al óptimo, es fácil cuantificar o extrapolar dichas desviaciones a necesidades fertilizantes, que permitan modificar el estado nutricional del cultivo (Montañés *et al.*, 1993; Monge *et al.*, 1995).

Otra de las ventajas que se atribuye al método DOP es la de evitar algunos de los problemas detectados en la metodología DRIS, como lo es la tendencia de esta última metodología a sobrestimar las necesidades de los nutrientes que se encuentran en situación óptima cuando se constata la presencia de otros nutrientes en niveles excesivos (Romero, 2015). Estas ventajas son las que hacen del método DOP, el

método de rutina elegido para muchos cultivos (Monge *et al.*, 1995; Lucena, 1997; Sanz, 1999).

1.3.3.2.1.4. Índice de Desviación Estándar (IDS)

El método de Desviación estándar es un método estático propuesto por Giménez *et al.* (2004), con el fin de sustituir al método de rangos de normalidad. No obstante, para su cálculo se utilizan los mismos parámetros: La media y la desviación estándar.

Walworth y Sumner (1987) indican que la desviación estándar permite determinar el rango por encima y por debajo de la norma. En dicho rango se considera que el nutriente considerado tiene un balance nutricional correcto.

Este método se puede calcular mediante una sencilla fórmula que permite conocer el estado nutricional del cultivo (Giménez *et al.*, 2004). Es un método extremadamente sencillo y fácil de memorizar por parte del técnico que va a interpretar el análisis; puesto que el IDS presenta una escala entre +10 y -10 para cualquier cultivo, variedad o combinación variedad-portainjerto.

La fórmula empleada es:

$$\text{IDS} = (\text{VALOR}_{\text{muestra}} - \text{VALOR}_{\text{media}}) \cdot (\text{S.D})^{-1} \cdot 10$$

Donde,

VALOR_{muestra}: Es la concentración foliar (en porcentaje sobre materia seca) del elemento en la muestra analizada.

VALOR_{media}: Es el Óptimo del mismo elemento (porcentaje sobre materia seca) definido en las mismas condiciones en que fué tomada la muestra problema y, lógicamente, para el mismo cultivo.

S.D.: Desviación estándar del mismo elemento.

El método IDS es una forma de interpretar el estado nutricional de la planta de forma más sencilla que otros métodos estáticos que presentan muchos más números y normas. Tal y como se recoge en la Tabla 1.6, este método tiene un carácter universal para todos los cultivos y nutrientes (Giménez *et al.*, 2004).

Tabla 1.6. Propuesta de los Índices de Desviación Estándar (IDS). Fuente: (Giménez *et al.*, 2004)

ÍNDICES	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
IDS	< -20	-20 a -10	-10 a 10	10 a 20	> 20

1.3.3.2.1.5. Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) y modificado (MDRIS)

El sistema DRIS (Acrónimo del inglés Diagnosis and Recommendation Integrated System), fue propuesto originalmente por Beaufils (1973), a partir de trabajos sobre fisiología y nutrición vegetal, primero con el cultivo del caucho (Beaufils, 1957) en Indochina (Vietnam), posteriormente con maíz (Beaufils, 1971) y más tarde, en caña de azúcar en Sur África (Beaufils y Sumner, 1976, 1977). La publicación de Beaufils

(1973), constituye un clásico, una obra totalmente original en los estudios sobre nutrición vegetal y con un enfoque holístico de la investigación (Rodríguez *et al.*, 2007).

Beaufils (1973), presenta al DRIS como una alternativa al método clásico experimental de campo consistente en comparar el efecto de varios tratamientos, por las dificultades y limitaciones que tiene desarrollar estos experimentos y la acción de numerosos factores incontrolables y no evaluados, que generalmente son incluidos como estimaciones de error experimental.

El DRIS consiste en la doble relación entre pares de nutrientes (N/P, P/N, N/K, K/N ...) en lugar del uso de la gama de suficiencia o nivel crítico los cuales son llamados métodos univariados, porque sólo se toma en consideración la concentración individual de los nutrientes en el tejido de las hojas, sin proporcionar ninguna información sobre el equilibrio nutricional. El sistema DRIS permite la evaluación del equilibrio nutricional de una planta, ocupando los niveles de nutrientes en el orden relativo, desde los más deficientes a los que se encuentran en concentraciones excesivas.

Con el uso de las relaciones duales en DRIS, el problema del efecto de la concentración o dilución de los nutrientes en las plantas se resuelve (Sumner, 1977a; Walworth y Sumner, 1987; Hallmark y Beverly, 1991; Mourão Filho, 2004). Sin embargo, numerosos estudios consideran adecuado establecer referencias DRIS para diferentes momentos del ciclo de cultivo (Hallmark y Beverly, 1991; Eymar *et al.*, 2001; Mourão Filho, 2004).

El DRIS permite incorporar en el diagnóstico, a la materia seca del cultivo (C, H y O), como otro nutriente (Bell *et al.* 1995; Walworth y Sumner, 1987 y 1988; Hallmark, 1988; Hallmark *et al.*, 1988; Rodríguez y Rodríguez, 2000).

Desde que se propuso la metodología DRIS, se han propuesto referencias para diferentes cultivos herbáceos y leñosos (Beverly, 1987; Walworth y Sumner, 1987). Giménez *et al.* (2004) establecieron los valores de las normas DRIS para la variedad de alcachofa Violeta de Provenza en las provincias de Alicante y Murcia.

Según Baldock y Schulte (1996), el DRIS presenta cuatro ventajas en relación a otros sistemas:

1. La escala de interpretación es numérica, continua y fácil de usar.
2. Ordena los nutrientes de acuerdo a su grado o nivel de limitación del rendimiento del cultivo.
3. Identifica los casos en que el rendimiento de la planta ha sido limitado por el estado nutricional.
4. El índice de balance de nutrientes (NBI) muestra resultados de los efectos combinados de nutrientes.

Sin embargo, la desventaja de esta metodología es que los índices DRIS no son independiente. La concentración de un nutriente puede tener una notable influencia en el índice DRIS de otro nutriente, aunque este problema puede corregirse, en parte, con una selección más discriminante de las relaciones de nutrientes cuando se establecen las normas DRIS.

El primer paso para que sea factible el uso del DRIS en la evaluación del estado nutricional de las plantas, es establecer las normas DRIS estándar. Éstas son el promedio y la desviación estándar de la relación dual entre los nutrientes (N/P, P/N, N/K, K/N, etc.) obtenidos a partir de una población de referencia del cultivo. El banco de datos del que se consiguen las normas es necesario que sea obtenido de plantas con alto rendimiento (Beaufils, 1973). Este método se ha seguido a lo largo de los años (Jones, 1981; Álvarez y Leite, 1999; Silva *et al.*, 2009; Mccray *et al.*, 2010; Serra *et al.*, 2010a y b; Serra *et al.*, 2012).

El DRIS y el M-DRIS (Sistema Integral de Diagnóstico y Recomendación Modificado) son muy similares. El segundo es una mejora del primero; la única diferencia radica en el cálculo de un índice de materia seca (IMS) para el método M-DRIS, procesando éste como si fuese un elemento más. Se han propuesto varios cambios en la metodología de cálculo de los índices DRIS con el fin de aumentar la precisión en el diagnóstico nutricional de los cultivos. El cálculo de las funciones o unidades de desviación estándar puede ser definido por la metodología desarrollada originalmente por Beaufils (1973), Jones (1981) o Elwali y Gascho (1984). Hay algunos resultados contradictorios en la literatura con respecto a la eficacia de cada método. Según Mourão Filho (2004), aún no existe una definición clara de lo que sería la mejor recomendación para el cálculo de las funciones o unidades de desviación estándar para el DRIS.

No es posible evaluar el estado nutricional de las plantas utilizando métodos tradicionales de diagnóstico nutricional como rangos de suficiencia y nivel crítico, porque estos sistemas sólo permiten conocer

las concentraciones individuales de los nutrientes en la planta, sin establecer relaciones entre los mismos. Por otro lado, a pesar que el DRIS puede ser una herramienta útil para indicar situaciones en las que el rendimiento está limitado por factores de nutrición, no discrimina los factores que podrían estar limitando el rendimiento; así en los cultivos que tienen bajo rendimiento y baja NBI cabe esperar que sean otros factores los que limitan la productividad (Beaufils, 1973).

Según Serra *et al.* (2011), el uso de la metodología propuesta por Jones (1981), en comparación con Beaufils (1973) y Elwali y Gascho (1984) mostró una mejor eficacia en el índice de DRIS para el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L. r. *Latifolium* Hutch). La medida de la eficacia utilizado por Serra *et al.* (2011) fue la relación entre el rendimiento y el índice de equilibrio nutricional (NBI). En este estudio se calcularán las normas de referencia según el procedimiento propuesto por Jones (1981).

Beaufils (1973):

For $A/B < a/b$;

$$f\left(\frac{A}{B}\right) = \left[1 - \frac{a/b}{A/B}\right] \cdot \frac{100 \cdot K}{CV\%}$$

$f(A/B)=0$, for $A/B = a/b$

For $A/B > a/b$;

$$f\left(\frac{A}{B}\right) = \left[\frac{A/B}{a/b} - 1\right] \cdot \frac{100 \cdot K}{CV\%}$$

Jones (1981):

$$f\left(\frac{A}{B}\right) = \left[\left(\frac{A}{B}\right) - \left(\frac{a}{b}\right)\right] \cdot \frac{c}{s}$$

Elwali & Gascho (1984):

For $A/B < a/b-1s$

$$f\left(\frac{A}{B}\right) = \left[1 - \frac{a/b}{A/B}\right] \cdot \frac{100 \cdot K}{CV\%}$$

$f(A/B)=0$, to the range between $a/b-1s$ to $a/b+1s$

For $A/B > a/b+1s$

$$f\left(\frac{A}{B}\right) = \left[\frac{A/B}{a/b} - 1\right] \cdot \frac{100 \cdot K}{CV\%}$$

Después de definir las funciones DRIS, se calcula el índice DRIS para cada nutriente, que puede tener valores positivos o negativos, y que representan la media aritmética de las funciones en las que está implicado el nutriente. Cuando el resultado es negativo (por debajo

cero), significa que hay deficiencia del elemento, si el valor es positivo indica exceso, según lo propuesto por Beaufils (1973):

$$DRIS\ Index\ A = \frac{\sum f\left(\frac{A}{B}\right) - \sum f\left(\frac{B}{A}\right)}{n}$$

n = número de funciones DRIS en que un nutriente está involucrado.

La suma del índice DRIS de los nutrientes de una muestra diagnosticada, genera el índice de balance de nutrientes (NBI). Altos valores NBI indican mayor desequilibrio nutricional en las plantas y en consecuencia baja productividad. La correlación entre NBI y el rendimiento se considera una medida de la eficacia del sistema DRIS (Beaufils, 1973; Nachtigall y Dechen, 2007; Guindani *et al.*, 2009).

A pesar del diagnóstico del estado nutricional, el DRIS puede ser una herramienta útil para indicar situaciones en las que el rendimiento está limitado por otros factores de nutrición, sin embargo, no discrimina los factores que podrían estar limitando el rendimiento. En los cultivos que tienen bajo rendimiento y baja NBI se espera que otros factores están limitando la productividad, al no ser una limitación por el estado nutricional de la planta (Beaufils, 1973).

El Índice de balance de nutrientes (NBI) puede ser útil para indicar el estado nutricional de la planta. Cuanto mayor sea el NBI, mayor es el desequilibrio nutricional (Beaufils, 1973; Mourão Filho y Azevedo, 2003).

El promedio de NBI genera NBIa (índice de balance de nutrientes nutricional promedio), de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$NBI = |I DRIS A| + |I DRIS B| + |I DRIS C| + \dots + |I DRIS N|$$

$$NBIa = \frac{NBI}{n}$$

Donde:

n: es el número de índices de DRIS implicados en el análisis.

El NBI se ha utilizado para probar la eficacia del sistema DRIS en el diagnóstico del estado nutricional de plantas; cuanto mayor sea la relación entre NBI, mejor es la respuesta del sistema de diagnóstico (Silveira *et al.*, 2005b).

La interpretación del índice de DRIS es la identificación de los nutrientes que limitan el rendimiento del cultivo, obtenidos de la comparación con un equilibrio nutricional no limitante. El índice DRIS puede tener valores nulos, positivos y negativos. Sin embargo, la probabilidad de que los valores sean cero es baja (Beaufils, 1973). Los valores nulos significan que la desviación media de un determinado nutriente es equidistante y por tanto este nutriente se encuentra en un estado de equilibrio nutricional (Walworth *et al.*, 1986). Los índices DRIS con valores positivos o negativos, indican una situación del nutriente en exceso (+) o deficiencia de (-), respectivamente.

El método habitual que se utiliza para la interpretación de un índice DRIS es el orden de los valores de los mismos, indicando el orden del

más limitante por defecto al más limitante por exceso. Este orden indica que el índice DRIS más bajo y negativo se considera el más limitante, la segunda más baja, será la segunda más limitante y así hasta el exceso más limitante que tendría el índice DRIS mayor y positivo (Walworth y Sumner, 1987; Bataglia y Dos Santos, 1990). Estos criterios son utilizados para evaluar la exactitud del método (Jones, 1981) y para los estudios nutricionales, cuando se utiliza el DRIS como herramienta para identificar el estado nutricional de los cultivos (Beaufils, 1973; Eymar *et al.*, 2001; Hundal *et al.*, 2005, Silva *et al.*, 2009; Sema *et al.*, 2010).

El rendimiento del cultivo se relaciona adecuadamente con el sumatorio de todos los índices en valor absoluto, por lo que este sumatorio se considera un índice de la producción y es representativo del balance global de todos los nutrientes implicados en la nutrición de la planta. En el DRIS, el balance es más importante que mantener cada nutriente individual en un nivel adecuado (Oltra *et al.*, 2007).

El potencial de la interpretación de los índices DRIS para dar respuesta a la aplicación de nutrientes, fue definido por Wadt (1996). Este método de interpretación consiste en agrupar cinco categorías o respuestas para la aplicación potencial de nutrientes (NAPR del inglés, Nutrient Application Potential Response), mediante la comparación del valor de cada nutriente DRIS con el promedio del índice de balance de nutrientes (NBla). El índice NBla se obtiene calculando la media aritmética de todos los índices DRIS; éste valor fue elegido porque refleja el promedio de las desviaciones de cada relación dual con respecto al valor de referencia (Wadt, 1996) (Figura 1.24).

INTRODUCCIÓN

Nutricional		Criterio		Respuesta potencial a la aplicación de nutriente
Deficiencia	→	$I_{DRIS A} < 0$, $ I_{DRIS A} > IBNa^{**}$ y I_A es el índice de menor valor.	→	Positiva alta probabilidad
Propenso a la deficiencia	→	$I_{DRIS A} < 0$ y $ I_{DRIS A} > IBNa$	→	positivo baja probabilidad
Suficiente	→	$ I_{DRIS A} = IBNa$	→	Nulo
Propenso al exceso	→	$I_{DRIS A} > 0$ y $ I_{DRIS A} > IBNa$	→	Negativo baja probabilidad
Exceso	→	$I_{DRIS A} > 0$, $ I_{DRIS A} > IBNa$ y I_A es el índice de mayor valor	→	Negativo alta probabilidad

*La RPAN ha sido calculada según Wadt (1996). **IBNa = Nivel del Índice de Balance de Nutrientes.

Figura 1.24. Criterio para interpretar el DRIS con los índices (I_{DRIS}) para la respuesta potencial a la aplicación de nutrientes (RPAN*) (Wadt, 1996).

El estado de los nutrientes de la "deficiencia más alta" representa cuando existe mayor probabilidad de respuesta positiva al aportar el nutriente al suelo. Ésta respuesta será aumentar la producción o mejorar la calidad del producto agrícola desde el punto de vista comercial. Por otro lado, la condición de "deficiencia" indica que es probable que aumente el rendimiento del cultivo con la aplicación del nutriente, sin embargo, esta probabilidad es menor que en el caso anterior ("deficiencia más alta") (Wadt, 1996). El estado "Suficiente" significa que no se espera la respuesta del cultivo relacionada con la aplicación de nutrientes al suelo. El estado de los nutrientes de "exceso más alto" y "exceso" representa la situación que la aplicación del

nutriente puede producir una respuesta negativa en el rendimiento de los cultivos (disminución de la producción) (Wadt, 1996).

La recomendación de Wadt (1996), es considerar el concepto NAPR como un ajuste de los fertilizantes aplicados al suelo. Por ejemplo, cuando el nutriente es aportado en la fertilización y se encuentra en estado de equilibrio, aumentar la dosis del mismo no va a incrementar el rendimiento, sin embargo, esto no significa que el nutriente se excluya de la recomendación de fertilizantes, sino que debe mantenerse en la fertilización en las mismas dosis que se había utilizado. Éste método de diagnóstico es una herramienta complementaria para la recomendación de las necesidades nutricionales; no es factible dejar de usar los análisis de suelos, puesto que resultan esenciales para comprobar la evolución de la fertilidad y la capacidad de suministrar nutrientes (Wadt, 1996; Serra *et al.*, 2014)

1.3.3.2.1.6. Diagnóstico de la Composición Nutricional (CND)

El método de Diagnóstico de la Composición de Nutrientes (CND) fue desarrollado por Parent y Dafir (1992), siguiendo los estudios precedentes de Aitchison (1982). Con este método se calculan índices para cada nutriente, pero usando su relación respecto a la media geométrica de todos los nutrientes (G) y componentes del material vegetal (R). R indica la cantidad no considerada por los elementos analizados, correspondiente al carbono, oxígeno e hidrógeno, y es un parámetro más significativo que la materia seca utilizada en M-DRIS.

INTRODUCCIÓN

Ambos parámetros tienen mayor importancia que el índice de materia seca incluido en el M-DRIS (Cadahía, 2005).

Al utilizar relaciones respecto a la composición total, el efecto de variabilidad de un simple elemento sobre el resto de nutrientes está considerado como un efecto global, y no como la contribución de varios efectos individuales sobre cada uno de los restantes nutrientes. Por tanto, es una gran ventaja respecto al método DRIS (Rodríguez y Rodríguez, 2000).

Los cálculos son rápidos y sencillos, incluso cuando se utilizan todos los nutrientes esenciales y no esenciales presentes en la planta. Se necesita realizar un cálculo sencillo del índice de cada elemento y del factor G para la muestra (Cadahía, 2005).

La aplicación teórica es la siguiente:

$$S^d = [(N, P, K, \dots, R_d)]$$

Donde $N > 0$; $P > 0$; $K > 0$

$$R_d > 0, \dots, N + P + K + \dots + R_d = 100$$

Siendo 100 la concentración de materia seca (%) y N, P, K... los nutrientes analizados, mientras que R_d serían el resto de nutrientes no analizados:

$$R_d = 100 - (N + P + K + \dots)$$

Estas proporciones se vuelven invariables en escala después de dividir por la media geométrica (G) de todos los componentes, incluido el término Rd:

$$G = [N * P * K * \dots R_d]^{\frac{1}{d+1}}$$

Y para cada observación se determinan los logaritmos:

Definición de logaritmos por nutriente.

$V_{\text{Nitrógeno}}^* = \text{Ln}\left(\frac{N}{G}\right)$	$V_{R_d}^* = \text{Ln}\left(\frac{R_d}{G}\right)$
$V_{\text{Fósforo}}^* = \text{Ln}\left(\frac{P}{G}\right)$	$V_{\text{Magnesio}}^* = \text{Ln}\left(\frac{Mg}{G}\right)$
$V_{\text{Potasio}}^* = \text{Ln}\left(\frac{K}{G}\right)$	$V_{\text{Calcio}}^* = \text{Ln}\left(\frac{Ca}{G}\right)$

Por definición, la suma de los compuestos de un tejido vegetal debe ser el 100%. Por tanto, la suma de todos los logaritmos debe ser cero:

$$V_N^* + V_P^* + V_K^* + V_{Ca}^* + V_{Mg}^* + \dots + V_{R_d}^* = 0$$

Tras definir las normas, los resultados analíticos de nuestra muestra pueden ser interpretados con los índices CND:

$\text{Índice}_{\text{Nitrógeno}} = \left(\frac{V_{\text{Nitrógeno}} - V_{\text{Nitrógeno}}^*}{SD_{\text{Nitrógeno}}^*} \right)$	$\text{Índice}_{\text{Calcio}} = \left(\frac{V_{\text{Calcio}} - V_{\text{Calcio}}^*}{SD_{\text{Calcio}}^*} \right)$
$\text{Índice}_{\text{Fósforo}} = \left(\frac{V_{\text{Fósforo}} - V_{\text{Fósforo}}^*}{SD_{\text{Fósforo}}^*} \right)$	$\text{Índice}_{\text{Magnesio}} = \left(\frac{V_{\text{Magnesio}} - V_{\text{Magnesio}}^*}{SD_{\text{Magnesio}}^*} \right)$
$\text{Índice}_{\text{Potasio}} = \left(\frac{V_{\text{Potasio}} - V_{\text{Potasio}}^*}{SD_{\text{Potasio}}^*} \right)$	$\text{Índice}_{\text{Rd}} = \left(\frac{V_{\text{Rd}} - V_{\text{Rd}}^*}{SD_{\text{Rd}}^*} \right)$



Universitat d'Alacant
 Universidad de Alicante

2. OBJETIVOS

El objetivo del estudio es obtener normas y referencias para realizar un diagnóstico nutricional correcto para la alcachofa de la variedad Blanca de Tudela con sistema de riego por goteo, ya que hasta la fecha, únicamente se habían establecido las normas de interpretación DRIS para la variedad Violeta de provenza, existiendo nula o muy escasa información para la variedad Blanca de Tudela a pesar de ser la más importante en cuanto a superficie cultivada en España.

En este contexto, el presente estudio plantea dos objetivos generales:

1. Evaluar el momento ideal para el diagnóstico nutricional para la alcachofa (*Cynara scolymus*) cv. Blanca de Tudela en ámbito del sureste español, para lo que se proponen los siguientes objetivos específicos:
 - a. Caracterizar la evolución temporal de la concentración de nutrientes en la hoja e identificar períodos de estabilidad.
 - b. Evaluar la variabilidad de los resultados analíticos obtenidos de los análisis foliares.
2. Definición de niveles foliares de referencia para la alcachofa (*Cynara scolymus*) cv. Blanca de Tudela, según cinco metodologías de diagnóstico foliar:
 - a. Definir los rangos de suficiencia (RS).

- b. Definir los valores de referencia para el método de Desviación del Óptimo porcentual (DOP).
- c. Definir los valores de referencia para el método del Índice de Desviación Estándar (IDS).
- d. Seleccionar las relaciones de nutrientes a emplear en el diagnóstico foliar y establecer las normas de referencia para el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS).
- e. Establecer las normas de referencia para el diagnóstico foliar mediante el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS).
- f. Obtener las referencias a emplear para el método de diagnóstico foliar Diagnosis de la Composición Nutricional (CND).

La finalidad de un buen diagnóstico es una adecuada recomendación de abonado que permita la obtención de la máxima producción, con el consiguiente beneficio del agricultor. Estas ventajas justifican el presente trabajo.

Este estudio formará parte una la colección de cientos de normas establecidas por el profesor investigador D. Miguel Giménez Montesinos, quien ha tutelado este estudio y durante su experiencia docente e investigadora ha dirigido más de 150 trabajos final de carrera, en los que personalmente he participado como co-director en multitud

de ellos, desarrollando una gran base de datos para la interpretación foliar de los cultivos más representativos de España.

Estas normas de diagnóstico nutricional no sirven para guardarlas en una biblioteca y que sean leídas únicamente por personal altamente cualificado; serán utilizadas por un sistema informático denominado Orcelis Fitocontrol (www.fitocontrol.com). Este sistema es utilizado en la actualidad por miles de técnicos y agricultores como sistema de ayuda a la toma de decisiones.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. POBLACIÓN MUESTRAL

La investigación se desarrolló durante los años 2006 y 2007 en dos explotaciones comerciales de alcachofa (*Cynara scolymus*) cv. Blanca de Tudela. Una explotación está ubicada cerca de la localidad de San Miguel de Salinas (Alicante) y la otra en Mahoya (Murcia), con coordenadas geográficas 38°12'37.48"N, 1°4'3.84"O, 73°30'01"W y 37°59'48.40"N, 0°49'14.08"O, respectivamente.

San Miguel de Salinas y Mahoya se encuentran a 75 y 390 msnm, respectivamente. Ambas localidades presentan una precipitación anual que oscila entre 300-350 mm, con una distribución de lluvias insuficiente para el desarrollo correcto del cultivo.

3.1.1. Características del cultivo

El cultivo se realizó en dos explotaciones comerciales con sistema de riego por goteo. Cada planta cuenta con dos goteros con un caudal de 2 l·h⁻¹. La fertilización aplicada durante el desarrollo del cultivo fue de 250, 120, 350, 150 y 40 kg·ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, CaO y MgO, respectivamente. Los fertilizantes se aplicaron en el agua de riego mediante fertirrigación desde del trasplante hasta la finalización del cultivo.

3.1.2. Suelo

La textura del suelo, en las parcelas experimentales corresponde a un suelo franco (USDA), siendo las propiedades físico-químicas del perfil las que se indican a continuación: % de materia orgánica menor de 3,55%, pH entre 8,11 y 8,3, carbonatos totales entre 50 y 55%, caliza activa (CaCO_3) entre 11,8 y 15,3%, conductividad eléctrica menor de $2,3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Los métodos de análisis utilizados se describen en los Anexos.

3.1.3. Agua de riego

El agua de riego procede del trasvase Tajo-Segura y de la extracción de pozos. Durante el cultivo es frecuente mezclar el agua para rebajar su salinidad. La conductividad eléctrica (CE) de los análisis realizados indica que se trata de un agua buena para el riego de alcachofa; no resultando un factor limitante en la producción. En las mezclas de agua realizadas la CE resultante no supera $2,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. En el anexo se muestran dos análisis de agua más representativos de las aguas utilizadas durante el cultivo. Sin embargo cabe destacar que el agua utilizada en la finca de Mahoya, en general presentó durante el cultivo una CE ligeramente superior a la de San Miguel de Salinas.

3.1.4. Unidad de muestreo

Se tomaron treinta muestras foliares cada quince días (quince de cada explotación). Las primeras muestras se tomaron el 6 de noviembre y las

últimas el 12 de abril. Se realizaron un total de 298 análisis durante el ensayo (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Fechas de los distintos muestreos foliares llevados a cabo durante el periodo de realización del estudio

Muestreo	Fecha
1	14 noviembre
2	28 noviembre
3	13 diciembre
4	27 diciembre
5	15 enero
6	1 febrero
7	15 febrero
8	1 marzo
9	14 marzo
10	12 abril

Las plantas seleccionadas para las muestras fueron las más representativas del estado general de la plantación, cabe destacar la gran homogeneidad de las plantas en ambas explotaciones. Las muestras se obtienen de acuerdo al criterio utilizado frecuentemente en la toma de muestras foliares de especies hortícolas; en el caso del cultivo de alcachofa veinte hojas jóvenes completamente desarrolladas y totalmente sanas.

3.1.5. Material vegetal

El estudio se ha realizado sobre la alcachofa de la variedad “Blanca de Tudela”. Esta variedad se ha convertido en el material de reproducción

vegetativa más utilizado en España. Se caracteriza por tener un color verde no brillante, forma oval y tener un orificio circular en la parte superior. El fruto es tierno y caracterizado por la ausencia de pelos. Es la variedad dominante en las plantaciones españolas de alcachofa (Gil, 2001).

Se reproducen de forma vegetativa por esqueje, zuecas o tocones. Los mejores clones que se reparten para la producción han sido seleccionados a partir de material originario de Tudela.

El cultivo de la alcachofa de Tudela es anual cuando se trata de producto destinado al consumo en fresco como es el caso de este estudio. Las plantaciones se llevan a cabo entre la segunda quincena de julio y la primera de agosto mediante “zuecas” de un año de la variedad “Blanca de Tudela”. Las “zuecas” son porciones del rizoma de la planta que constan de dos o tres yemas. La densidad de plantación oscila entre las 8.000 y 12.000 plantas por hectárea. Ambas parcelas experimentales presentaban una densidad de 10.000 plantas·ha⁻¹.

La recolección es manual y se realiza, en intervalos de una semana aproximadamente, cuidando al máximo el transporte a los centros de transformación para evitar la deshidratación o el deterioro del producto. La producción de otoño y de marzo a mayo se destina al producto en fresco. La industria aprovecha el creciente volumen de producción desde abril.

3.2. PROCESADO DE LAS MUESTRAS

Una vez tomadas las muestras foliares, se llevaron al laboratorio en recipientes adecuados y preservados de la luz y del calor para evitar que sus propiedades físico-químicas se viesen alteradas, aunque las diferentes técnicas de conservación existentes (frío, etc.) retrasan en parte los procesos de degradación químicos o biológicos que continúan después de la toma de muestras. Cuanto menor sea el intervalo de tiempo transcurrido entre la recogida de la muestra y su análisis, mayor será la fiabilidad de los resultados.

El transporte de las hojas se hizo en bolsas de papel poroso. Cada muestra etiquetó con la identificación de la parcela, repetición y fecha de muestreo. Fue imprescindible una ficha de información con el fin de interpretar a posteriori los resultados de los análisis.

Una vez en el laboratorio, antes de la mineralización, las hojas fueron lavadas, primero con agua corriente para eliminar parte de los residuos acumulados y el polvo de las mismas. A continuación se realizó la misma operación con agua destilada y un detergente no iónico, aclarando dos veces con agua bidestilada y secando suavemente con papel de filtro. Seguidamente fueron desecadas en estufa de aire forzado a 65°C, durante 24 horas. Posteriormente se trituraron en un molinillo de aspas metálicas (a ser posible inoxidable), quedando reducido el material foliar a polvo finamente dividido, con posterior desecación a 105°C hasta peso constante (2 horas). Después, se introdujo la muestra pulverizada en frascos con cierre hermético para su conservación y

posterior digestión previa al análisis elemental (Grier, 1966; Ashby, 1969).



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

3.3. ANÁLISIS MINERAL

A partir de la muestra seca y molida, se realizaron las digestiones de las muestras:

1. Digestión vía húmeda en bloque calefactor, según método Kjeldahl semimicro, aplicada exclusivamente, para la determinación del nitrógeno total (Nt). La muestra seca se introdujo en un tubo de digestión y se adicionó ácido sulfúrico concentrado y mezcla catalizadora compuesta de K_2SO_4 , $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ y selenio metal; se sometió a una rampa de temperatura de 100 hasta $400^\circ C$ con una duración de 2 horas.
2. Digestión vía seca en horno de mufla de la muestra desecada, utilizada más frecuentemente que la vía húmeda, para los restantes elementos minerales (excluido el Nt). Se pesaron con exactitud (0,1 mg) una cantidad aproximada de 0,7 gramos de muestra y se introdujeron en crisol para su calcinación hasta la obtención de cenizas, donde permanecieron los elementos minerales. El material vegetal se sometió a una rampa de temperatura programada incrementándose la misma de forma gradual hasta $480^\circ C$ en 2 horas, manteniéndose constante durante 4 horas (se recomienda no sobrepasar los $500^\circ C$ para evitar pérdidas de elementos por combustión tales como el fósforo y el boro). Una vez que se completó el proceso se realizó la extracción de los elementos minerales contenidos en las cenizas con 25 mL de HNO_3 0,6 N, pasando a continuación el extracto a través de papel de filtro "sin cenizas". El filtrado

resultante se recogió en botes de cierre hermético para su posterior análisis.

Una vez procesado el material vegetal (lavado, secado y molienda), se efectuaron las siguientes determinaciones de los elementos minerales:

Nitrógeno total (Nt). Realizada la digestión en un bloque calefactor según método Kjeldahl semimicro, tuvo lugar la destilación automática por arrastre de vapor de agua del amoníaco desplazado por adición de NaOH (35%) y posterior valoración potenciométrica con ácido clorhídrico 0,1 N del nitrógeno amónico recogido sobre bórico indicador (Tabla 3.3). Fósforo, azufre y boro se determinaron por espectrofotometría VIS-UV. Calcio y magnesio y los oligoelementos hierro, manganeso, cinc y cobre mediante espectrometría de absorción atómica (Tabla 3.2).



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 3.2. Determinación de cationes. Condiciones de trabajo en espectrometría de absorción atómica (E.A.A.). (*): Medida de los extractos en presencia de sales de lantano (0,1 % P/V), en espectrometría de absorción para evitar interferencias de fosfatos. (): Medida de los extractos en presencia de sales de cesio (0,2 % P/V), en espectrometría de emisión para evitar interferencias.**

Elemento	(nm)	Intensidad corriente (mA)	Rendija (nm)	Gas sop. (aire l·min ⁻¹)	Gas comb. (C,H, l·min ⁻¹)	R. Conc. (ppm)
Ca*	442,7	5	0,5	5	1,4-1,5	1,00-15,00
Mg*	285,2	5	0,5	5	0,9-1,2	0,25-1,00
K**	766,5	-	0,5	5	1,1-1,3	1,00-10,00
Na**	589	-	0,2	5	0,9-1,2	1,00-5,00
Fe	248,3	5	0,2	5	0,8-1,0	1,00-6,00
Mn	279,5	5	0,2	5	0,9-1,2	1,00-6,00
Zn	213,9	5	0,5	5	0,9-1,2	0,25-4,00
Cu	324,7	5	0,5	5	0,8-1,1	0,50-4,00

Tabla 3.3. Determinación de nitrógeno total en material vegetal (M. Kjeldahl semimicro)

Peso muestra	0,3-0,5 gramos con exactitud (0,1 mg)
Extractante	5 mL de H ₂ SO ₄ (96 %)
Catalizador	4 g, K ₂ SO ₄ (66,7 %) (fundente, eleva p.e. del H ₂ SO ₄) + CuSO ₄ (23,8 %) (acelera el proceso) + Se metal (9,5 %)
Tª digestión máx.	400°C 30 min/100°C; 15 min/200°C; 15 min/300°C; 1 hora/400°C
Rampa de Tª	
Tiempo digestión	Más de 2 horas, incluida la rampa de temperatura.
Destilación	Arrastre en corriente de vapor de agua, una vez añadida NaOH (35 %)
Bórico indicador	Disolución acuosa 2 % H ₃ BO ₃ y 1% indicador (mL, en exceso)
Indicador	Disolución alcohólica 0,015% verde bromocresol y 0,03 % rojo metilo (mL)
Agente valorante	HCl (0,1 N)

3.4. PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO

3.4.1. Estadística básica

Los parámetros estadísticos empleados son elementales para explicar y entender los distintos métodos de interpretación. Entre los que destacan la Normalidad y el Teorema Central del Límite.

Una técnica estadística muy empleada es el análisis de varianza (ANOVA). Consiste en una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos, siendo su objetivo comparar los distintos valores medios para determinar si alguno de ellos difiere significativamente del resto.

En los análisis, existen otro tipo de datos (parámetros), además de los que ya se han determinado, los cuales van a representar a toda la población o indicar si la población está muy concentrada o por el contrario muy dispersa.

Los parámetros estadísticos son datos que resumen el estudio realizado en la población y pueden ser de dos tipos (Ruiz, 1980):

- Parámetros de centralización: Son datos que representan de forma global a toda la población. Entre ellos se han estudiado la media aritmética, moda y mediana.
- Parámetros de dispersión: Son datos de mayor importancia; informan sobre la concentración o dispersión de los datos respecto de los parámetros de centralización. Por ejemplo, el recorrido, la desviación media, varianza y desviación típica.

3.4.1.1. Parámetros de centralización

Se llaman medidas de posición, tendencia central o centralización a unos valores numéricos en torno a los cuales se agrupan, en mayor o menor medida, los valores de una variable estadística. Estas medidas se conocen también como promedios (Ruiz, 1980).

Para que un valor pueda ser considerado promedio, debe de cumplirse que esté situado entre el menor y el mayor de la serie, y que su cálculo y utilización resulten sencillos en términos matemáticos (Ruiz, 1980).

La mejor medida de los parámetros de centralización, y más común, es la media aritmética. Este valor indica la cantidad total de la variable

distribuida a partes iguales entre cada observación. Es decir, la media resume la información de una distribución suponiendo que, cada observación tendría la misma cantidad de la variable (Massart *et al.*, 1997).

Otra medida de tendencia central es la mediana, que se define como el valor situado en el centro de los elementos cuando éstos son agrupados en orden de magnitud. Si el número de elementos es par, la mediana será el promedio de los valores centrales (Ruiz, 1980).

Finalmente, la moda, relaciona la frecuencia con la que se presenta el dato o los datos con mayor incidencia. Cabe la posibilidad de que exista más de una moda para un conjunto de datos. Cuando un conjunto de datos tiene una moda, la muestra es unimodal, cuando tiene dos modas es bimodal y cuando tiene más modas multimodal. Si ningún dato tiene una frecuencia, se dice que la muestra es amodal (Massart *et al.*, 1997).

3.4.1.2. Parámetros de dispersión

Los parámetros o medidas de dispersión son datos que informan sobre la representatividad de medidas de tendencia central como síntesis de la información. Las medidas de dispersión cuantifican la separación, dispersión y variabilidad de los valores de la distribución respecto al valor central. Hay que distinguir entre medidas de dispersión absolutas y las medidas de dispersión relativas (Ruiz, 1980).

- Las medidas de dispersión absolutas, vienen dadas en las mismas unidades en las que se mide la variable. Se incluye en las medidas de dispersión: recorridos, desviaciones medias, varianzas, desviación típica y media.
- Las medidas de dispersión relativa, informan de la dispersión en términos relativos, como un porcentaje. Se incluyen entre éstas el coeficiente de variación, el coeficiente de apertura, los recorridos relativos y el índice de desviación respecto de la mediana.

Para este trabajo se consideran las siguientes medidas más importantes: La varianza, es una medida absoluta de la dispersión de los valores de la variable respecto de su media. Valora el grado de dispersión de los valores de una distribución permitiendo la comparación con otras distribuciones (Massart *et al.*, 1997).

Otra a destacar es la desviación típica o estándar (σ_X). Se obtiene mediante la raíz cuadrada de la varianza (σ). Cuando los datos se agrupan compactamente alrededor de la media, la desviación típica de la distribución es pequeñísima, mientras que si se hallan dispersos, adquieren valores elevados. Esta medida de dispersión tiene la ventaja de mostrar las mismas unidades que la variable en cuestión, frente a la varianza que muestra dichas unidades al cuadrado (Ruiz, 1980).

El coeficiente de variación permite comparar la dispersión entre dos poblaciones distintas, e incluso comparar la variación producto de dos variables diferentes, que pueden proceder de una misma población. El coeficiente de variación elimina la dimensionalidad de las variables, y

tiene en cuenta la proporción existente entre una medida de tendencia y la desviación típica o estándar (Massart *et al.*, 1997).

Se llama intervalo de confianza a un conjunto de valores alrededor de un parámetro muestral en los que, con una probabilidad o nivel de confianza determinado, se situará el parámetro poblacional a estimar. Este intervalo contiene al parámetro estimado con una determinada certeza o nivel de confianza. Al ofrecer un intervalo de confianza se da por supuesto que los datos poblacionales se distribuyen de un modo determinado. Es habitual que lo hagan mediante la distribución normal (Ruiz, 1980).

Para un determinado nivel de probabilidad, el error estándar de la media permite calcular un intervalo de confianza para ésta. Si se repitiera el ensayo, lo más probable es que se obtuvieran valores semejantes, pero no idénticos a la media. El error estándar de la media mide la variabilidad que cabe esperar para ese valor medio si se repitiera muchas veces el ensayo (Massart *et al.*, 1997).

El tamaño de la muestra representa el número de individuos. Se representa mediante la letra n , estando los valores delimitados por el rango (Massart *et al.*, 1997).

3.4.1.3. Normalidad

Una distribución de frecuencias normalmente representa una parte, una muestra, un total o un conjunto mayor de una población. Dicha muestra

puede ser representativa en su distribución, de igual manera que se distribuye su población total (Ruiz, 1980).

Se denomina normalidad de la distribución o ley de Gauss a la característica para distribuirse de determinadas poblaciones. Hay ciertos valores de la variable que contienen un gran porcentaje de la población total, mientras que con los valores muy pequeños o muy grandes aparecen muy pocos individuos en dichos intervalos (Ruiz, 1980).

Las distribuciones normales se pueden representar mediante la t de Student Pearson o la F de Snedecor (Figura 3.1) (Ruiz, 1980).

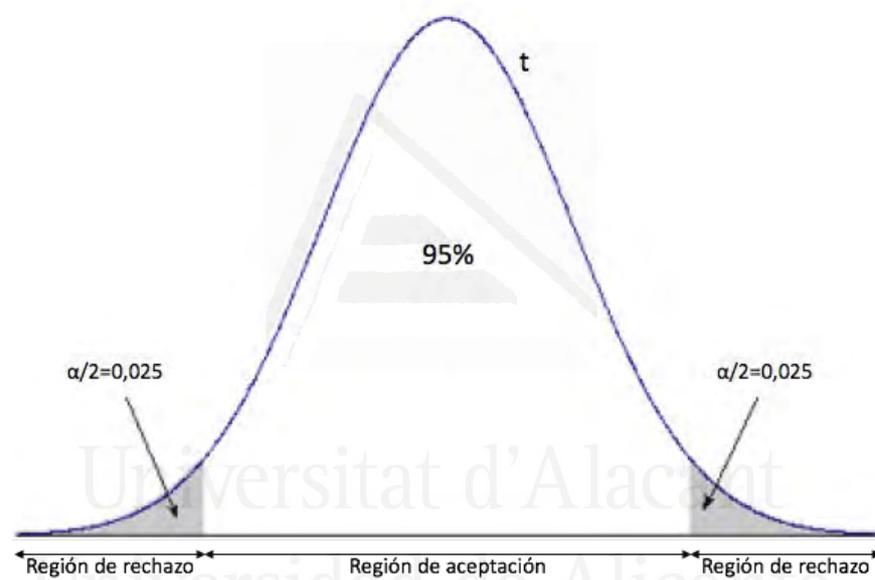


Figura. 3.1. Ejemplo de distribución normal t de Student (Ruiz, 1980)

3.4.1.4. Teorema central del límite

Se define “a” como una variable aleatoria con media α , la misma media que tiene la población de la que se extrae la muestra de tamaño n, y con varianza σ^2/n , la misma varianza poblacional σ^2 pero dividida por el número de elementos de la muestra n (Ruiz, 1980)

Estadístico “a”, medida de la muestra:

$$a = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

Cuando se toma una muestra, el principal problema es inducir de las propiedades de dicha muestra las del colectivo o población básica. Así, cuando se obtiene una muestra de una población normal, o si el tamaño de la muestra es mayor de 30, en virtud del Teorema Central del Límite, el estadístico “a” se distribuye normalmente con media α y desviación típica σ/\sqrt{n} (Massart *et al.*, 1997).

En virtud del Teorema Central del Límite, y para definir el tamaño de una muestra de poblaciones no normales, un tamaño de muestra igual a 30 unidades es suficiente para aproximarse a una distribución normal; y mejora al aumentar el número de muestreos. Para distribuciones normales, con cualquier tamaño de muestra basta para aproximarse a una distribución normal (Triola, 1999).

Si “a” es obtenido a partir de los valores de una muestra extraída de una población normal, en la que se conoce la media (α) pero no la varianza, se demuestra que el estadístico del Teorema Central del Límite es una

variable que, se distribuye con una t de Student y con (n-1) grados de libertad (Ruiz, 1980):

$$\frac{\sqrt{n}(a - \alpha)}{\sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i)^2}{n-1}}}$$

3.4.1.5. Discriminación de varianzas

Las normas DRIS, M-DRIS y CND para muestras vegetales se seleccionan a partir de formas de expresión como cocientes o productos, y se desarrollan a partir de grupos de plantas de referencia. Así, la selección de las normas se basa en la prueba de la discriminación de varianzas, que determina la relación entre la varianza más grande y la más pequeña de un banco de datos de distribución normal (Sumner, 1977b).

Según Jones (1981), la prueba de relaciones de varianza o cocientes entre nutrientes es útil para la selección de normas, siendo necesario que el banco de datos posea una distribución normal (Walworth and Sumner, 1987).

Según Arizaleta *et al.* (2002), Giménez *et al.* (2004), Martínez *et al.* (2004) y Gimeno (2009) se utilizará el criterio de discriminación de varianzas (Figura 3.2) para la selección de las relaciones de nutrientes, seleccionando para ello las relaciones con menor coeficiente de variación.

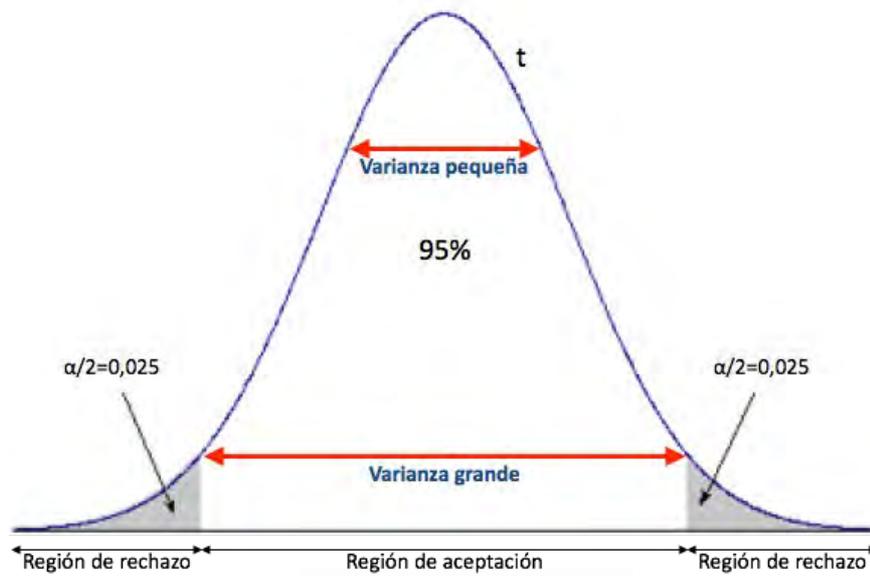


Figura. 3.2. Prueba de discriminación de varianza

3.5. DETERMINACIÓN DE LA FECHA ÓPTIMA DE LA TOMA DE MUESTRA

Como se ha señalado, los métodos estáticos no permiten realizar diagnósticos foliares a lo largo del ciclo del cultivo debido a que las normas se establecen para un momento fijo de la evolución del cultivo. Esto lleva implícito que al recurrir a métodos estáticos, las instrucciones para el muestreo foliar deben ser rigurosamente, las mismas utilizadas por el investigador que generó esos valores de interpretación de análisis químicos de tejidos.

En muchos cultivos anuales, la época de muestreo está generalmente establecida en fechas posteriores a los períodos tope de fertilización, donde ya no es posible hacer correctivos nutricionales durante el mismo

ciclo de cultivo. Esta es probablemente la mayor desventaja que presentan estos métodos.

El procedimiento para establecer la fecha óptima es mediante un estudio estadístico de las series temporales de las muestras. Es decir, se observa la evolución de los contenidos foliares de los macronutrientes y microelementos estudiados a lo largo del tiempo y se selecciona el periodo en el que la planta mantiene una mayor estabilidad. Con este procedimiento se garantiza que puede ser comparado durante esas fechas y a partir de ahí se determinan las normas de interpretación para los sistemas estáticos.

Es importante destacar que, frecuentemente los microelementos no tienen igual comportamiento que los macroelementos y presentan frecuentemente una mayor dispersión, en particular en cultivos como la alcachofa se utilizan compuestos cúpricos u otros con Zn y Mn que pueden falsear los contenidos normales de la planta. Por ello, es importante lavar bien las hojas de la muestra.

3.6. CÁLCULO DE LAS NORMAS: RN, DOP, IDS.

Como se ha descrito, en los métodos estáticos se evalúa el estado nutricional comparando con una concentración que se considera óptima. La concentración de referencia se obtiene de estudiar estadísticamente la población de la base de datos de análisis y obtener el valor medio.

Las **normas de los RN** de los nutrientes se calculan con la media aritmética \pm la desviación típica, es decir, el intervalo donde se encuentra la mayoría de la población y la planta no presenta excesos ni deficiencias nutritivas. Aquellos valores que no estén comprendidos en este intervalo deben ser corregidos siempre que las condiciones del cultivo lo permitan.

Una vez determinada la fecha de la toma de muestras, se utilizan los valores medios de los elementos utilizando los valores de los análisis comprendidos en el periodo de toma de muestras. Este valor medio se determina de los datos de los nutrientes en los que la distribución de su población se ajusta a una curva normal. No obstante, cuando el tamaño de la muestra, como ocurre en este caso, cuenta con un número de muestras igual o superior a 30 unidades, es suficiente para aproximarse a una distribución normal de acuerdo al teorema del límite central (Triola, 1999).

Para el cálculo de los **índices DOP** de los nutrientes se utiliza la media aritmética. Estos valores son utilizados posteriormente en la interpretación. Es importante remarcar que el DOP, al ser un método estático, los análisis utilizados para calcular la media aritmética deben ser de los análisis comprendidos en la fecha óptima para la toma de muestras.

El cálculo de los **valores IDS** de los nutrientes se obtienen utilizando la media aritmética y el coeficiente de variación de cada nutriente, al igual que los anteriores, utilizando los análisis comprendidos en la fecha óptima para la toma de muestras.

3.7. DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES Y CÁLCULO DE LAS NORMAS DRIS Y MDRIS

El banco de datos para componer las normas DRIS se obtiene de cultivos con alto rendimiento y el análisis químico del tejido de la hoja. Ésta información puede obtenerse a partir de cultivos comerciales o de unidades experimentales. El tamaño del banco de datos no está directamente relacionado con la calidad de las normas DRIS (Walworth *et al.*, 1988; Sumner, 1977a). Walworth *et al.* (1988) observaron que al utilizar 10 datos para establecer las normas DRIS, los resultados obtenidos fueron más precisos en comparación con un banco con gran número de datos.

Basándonos en las observaciones que Walworth *et al.* (1988), en este estudio calcularemos las normas DRIS y MDRIS a partir de un banco de datos de 60 muestras obtenidas en la fecha óptima para la toma de muestras, y por otro lado, calcularemos las normas a partir de un banco de datos de 298 muestras obtenidas durante el desarrollo del cultivo. Después se procederá a comparar las normas obtenidas para establecer y justificar posibles diferencias entre ellas, si las hubiese.

Aunque existen numerosos trabajos que utilizan grupos de alto y bajo rendimiento para establecer las normas DRIS, también es frecuente calcular estas normas a partir de poblaciones de alto rendimiento (Giménez *et al.*, 2006). En este estudio se utilizaron grupos de alto rendimiento en producción de alcachofa cv. Blanca de Tudela para la obtención de las normas DRIS.

Las normas DRIS se crean tras definir una población de referencia. Es decir, una vez obtenida la relación entre todos los pares de nutrientes y sus respectivos coeficientes de variación (Mourão, 2004). La ratio entre los pares de nutrientes puede ser inverso o directo, de tal forma que, la relación entre el nitrógeno y el fósforo, por ejemplo, puede expresarse como N/P, P/N o P×N. La elección del tipo de relación dependerá del coeficiente de variación, seleccionando los que tienen menor valor (Giménez *et al.*, 2006).

Cuanto mayor sea el número de datos de alto rendimiento, como es el caso de estudio, mayor será la aproximación a los valores constantes ligados al equilibrio nutricional (cociente A/B). Este fundamento se representa en el área sombreada de la Figura 3.3.

Conforme las plantas se acercan al máximo rendimiento (Figura 3.3), estarán menos afectadas por los factores nutricionales limitantes (n-1 a n-5) y el número de individuos disminuye. El área sombreada de la Figura 3.3, conforme aumenta el rendimiento, está compuesta por un mayor número de plantas equilibradas nutricionalmente en el cociente A/B, donde la falta de factores limitantes, les permite a las plantas expresar los más altos rendimientos en el contexto del equilibrio nutricional.

Por otra parte, las plantas de bajo rendimiento de la Figura 3.3, cercanas al eje x, el número de individuos es proporcionalmente más grande, en los cuales se pueden observar las dos formas del desequilibrio y del equilibrio de A/B (área sombreada), sin embargo ninguna de esas

plantas expresa su mejor rendimiento, como consecuencia de los innumerables (n) factores no nutricionales que les afectan.

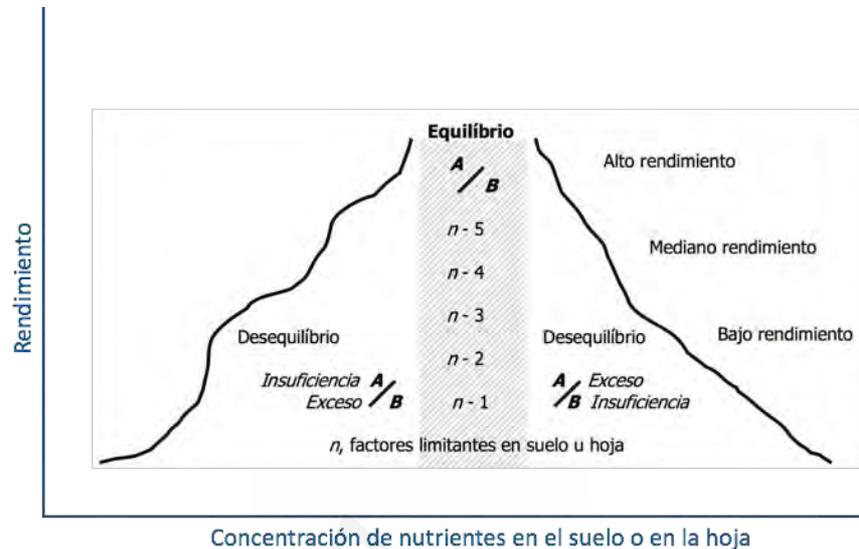


Figura 3.3. Representación esquemática del equilibrio nutricional (A/B), en respuesta de los cultivos, líneas gruesas serpenteantes desde n numerosos factores limitantes a cada vez, menos factores limitantes, de $n-1$ a $n-5$ (Adaptado de Walworth y Sumner, 1987).

Para seleccionar las normas DRIS a partir de las plantas de referencia, se establece el punto de corte. Wadt *et al.* (1999), atendiendo las indicaciones de Beaufils (1973), proponen la población de mediano rendimiento comprendida a partir de la media del rendimiento, ± 1 desviación estándar del mismo. Por otro lado, Evanylo *et al.* (1987) encontraron en el cultivo del tabaco, que con mejor concentración de alcaloides y el valor de la cosecha, se obtienen menor número de normas significativas en comparación a cuando se usó el rendimiento.

Letzsch y Sumner (1984) trabajando con maíz, demostraron que no hubo efecto del punto de corte en el rendimiento sobre la precisión de las normas y por esta razón, propusieron al igual que Walworth y Sumner (1987) y Angeles *et al.* (1990), el criterio económico, cuyo punto de corte puede ser el mejor rendimiento que los agricultores obtienen como rutina en su respectiva zona.

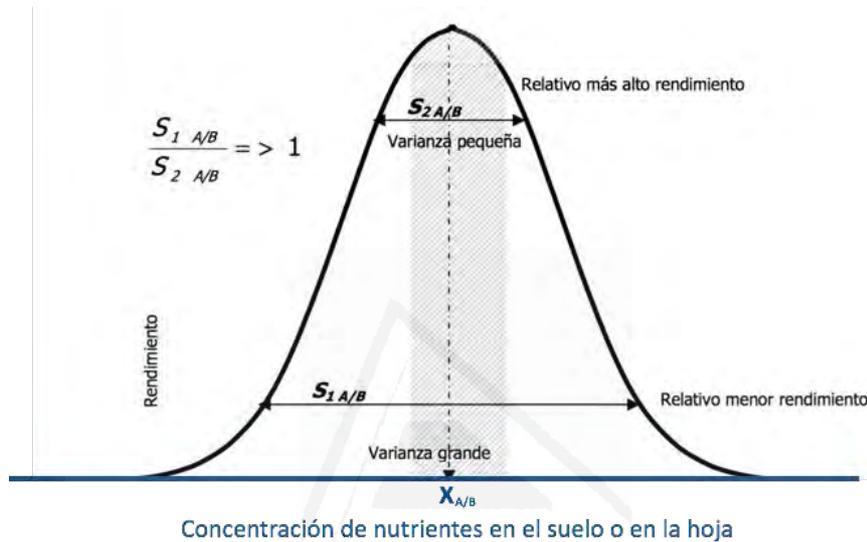


Figura. 3.4. Representación de la prueba de discriminación entre la varianza de la subpoblación de relativo menor rendimiento ($S_1 A/B$) y la de relativo más alto rendimiento ($S_2 A/B$), la cual por ser mayor a 1, también muestra la selección de la media del cociente A/B ($X_{A/B}$) como valor de referencia del óptimo equilibrio nutricional (área sombreada) en el grupo de plantas de máximo rendimiento.

Una vez definido el punto de corte, la selección de las normas DRIS, se basa en la prueba de discriminación de las varianzas, la cual determina la relación entre la varianza más grande ($S_1 A/B =$ subpoblación de

relativo menor rendimiento) y la varianza más pequeña ($S^2_{A/B}$ = subpoblación de relativo más alto rendimiento) de un banco de datos con distribución normal (Sumner, 1977b) (Figura 3.4), donde sus resultados siempre deben ser mayor a 1 (Rodríguez *et al.*, 2007)

Jones (1981), resalta que las relaciones de varianza o cocientes entre nutrientes en poblaciones de alto rendimiento, es menor que el de una población de menor rendimiento. Por lo tanto, la prueba de las relaciones de varianza entre ambas subpoblaciones, es útil para la selección de normas. En consecuencia, Walworth y Sumner (1987), señalan que es importante y deseable, que la selección de las normas, estuviese basada en un banco de datos con normalidad en la distribución de sus datos. De lo contrario, la media calculada para cualquier cociente o producto, podría diferir del valor verdadero que está presente en la plantación de alto rendimiento.

En el caso de las relaciones entre pares de nutrientes (N/P o P/N), ó productos (N x Ca, ó Ca x N), la prueba de discriminación de la varianza califica la mayor relación de varianzas entre el grupo de menor rendimiento y el de mayor rendimiento para cualquier forma de expresión (A/B o B/A) de la siguiente forma:

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Si:

$$\frac{S_{1(A/B)}^2}{S_{2(A/B)}^2} > \frac{S_{1(B/A)}^2}{S_{2(B/A)}^2} \Rightarrow \text{Cociente a utilizarse como norma} \Rightarrow A/B$$

Si:

$$\frac{S_{1(A/B)}^2}{S_{2(A/B)}^2} < \frac{S_{1(B/A)}^2}{S_{2(B/A)}^2} \Rightarrow \text{Cociente a utilizarse como norma} \Rightarrow B/A$$

de los valores de B/A en la subpoblación de altos rendimientos

Donde:

$S_{1(A/B)}^2$ = Varianza de los valores de A/B en la subpoblación de menor rendimiento

$S_{2(A/B)}^2$ = Varianza de los valores de A/B en la subpoblación de máximo rendimiento

$S_{1(B/A)}^2$ = Varianza de los valores de B/A en la subpoblación de menor rendimiento

$S_{2(B/A)}^2$ = Varianza de los valores de B/A en la subpoblación de máximo rendimiento

3.8. DETERMINACIÓN Y CÁLCULO DE LAS NORMAS CND

Para obtener las normas del método CND se utilizaron todas las muestras del estudio. Las variables se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$S^d = [(N, P, K, \dots, R_d)]$$

Donde $N > 0$; $P > 0$; $K > 0$

$$R_d > 0, \dots, N + P + K + \dots + R_d = 100$$

Siendo 100 la concentración de materia seca (%) y N, P, K... los nutrientes analizados, mientras que R_d serían el resto de nutrientes no analizados:

$$R_d = 100 - (N + P + K + \dots)$$

Estas proporciones se vuelven invariables en escala después de dividir por la media geométrica (G) de todos los componentes, incluido el término R_d :

$$G = [N * P * K * \dots R_d]^{\frac{1}{d+1}}$$

Y para cada observación se determinan los logaritmos:

$$V_N = \ln\left(\frac{N}{G}\right)$$



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE POBLACIONES

De acuerdo con los datos recogidos en las Tablas 4.1 y 4.2, el contenido en macro y micronutrientes de la plantas muestreadas en las dos fincas objeto este estudio son estadísticamente igual, encontrando únicamente diferencias significativas en la concentración foliar de B y Na, las cuales probablemente hayan sido ocasionadas por el agua de riego, ya que como se indicó en el apartado 3.1.3 de la sección de materiales y métodos, la CE del agua de riego de la explotación de Mahoya fue ligeramente superior a la de San Miguel de Salinas a lo largo de todo el periodo de muestreo. De estos resultados se deduce que es posible utilizar sin distinción los análisis foliares de ambas explotaciones para el cálculo de las normas para el diagnóstico.

Tabla 4.1. Concentración de los distintos macronutrientes en muestras foliares de alcachofa variedad Blanca de Tudela, procedentes de las fincas situadas en Mahoya y en San Miguel de Salinas.

Fincas	N	P	K	Ca	Mg
MA ¹	3,9±0,5	0,34±0,06	4±1	1,9±0,3	0,39±0,09
SA ²	3,8±0,6	0,35±0,07	3,9±0,9	2,0±0,3	0,41±0,06
Sig. ³	ns	ns	ns	ns	ns
Valor-p (ANOVA)	0,5566	0,6888	0,0706	0,3136	0,0633

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas. ⁽³⁾ns sig>0,05, *0,01<sig<0,05, **0,001<sig<0,01, ***0,001>sig. Cada valor es la media de 150 réplicas para MA y de 148 réplicas para SA. Elementos expresados en (g ·100g⁻¹ m.s)

Tabla 4.2. Concentración de los distintos micronutrientes en muestras foliares de alcachofa variedad Blanca de Tudela, procedentes de las fincas situadas en Mahoya y en San Miguel de Salinas.

Fincas	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Na
MA ¹	223±115	51±45	38±42	10±12	34±8	1,6±0,8
SA ²	258±101	52±87	35±9	11±8	32±6	1,3±0,5
Sig. ³	ns	ns	ns	ns	**	***
Valor-p (ANOVA)	0,050	0,8809	0,3390	0,3692	0,0086	0,0000

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.³ns sig>0,05, *0,01<sig<0,05, **0,001<sig<0,01, ***0,001>sig. Cada valor es la media de 150 réplicas para MA y de 148 réplicas para SA. Elementos expresados en (mg·kg⁻¹ m.s) excepto el Na (g·100g⁻¹ m.s)

4.2. FECHA ÓPTIMA DE LA TOMA DE MUESTRAS

Para la determinación de normas de interpretación de los cultivos es aconsejable que las muestras de tejido vegetal se obtengan en el momento en que su composición química se mantenga lo más estable posible (Giménez *et al.*, 2006).

La comparación con unas referencias requiere que las condiciones de muestreo de muestras y referencias sean similares, para evitar que la desviación temporal entre muestras y referencias produzca grandes errores de interpretación. Conocer el período de vigencia de las referencias, alrededor de las fechas habitualmente recomendadas para llevar a cabo el diagnóstico nutricional, sugerirá un rango de tiempo dentro del cual un muestreo sería comparable estadísticamente con su referencia disponible (Romero, 2015).

El criterio para la identificación de períodos de estabilidad en este estudio fue la existencia de dos muestreos consecutivos que no

presentaran diferencias significativas entre ellos. Como se aprecia en la Figura 4.1, las muestra del 15 de febrero y la del 1 de marzo no presentan diferencias significativas; como cada muestra representa un periodo de 15 días, se deduce que el periodo estable abarca desde la mitad de febrero hasta mediados de marzo.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

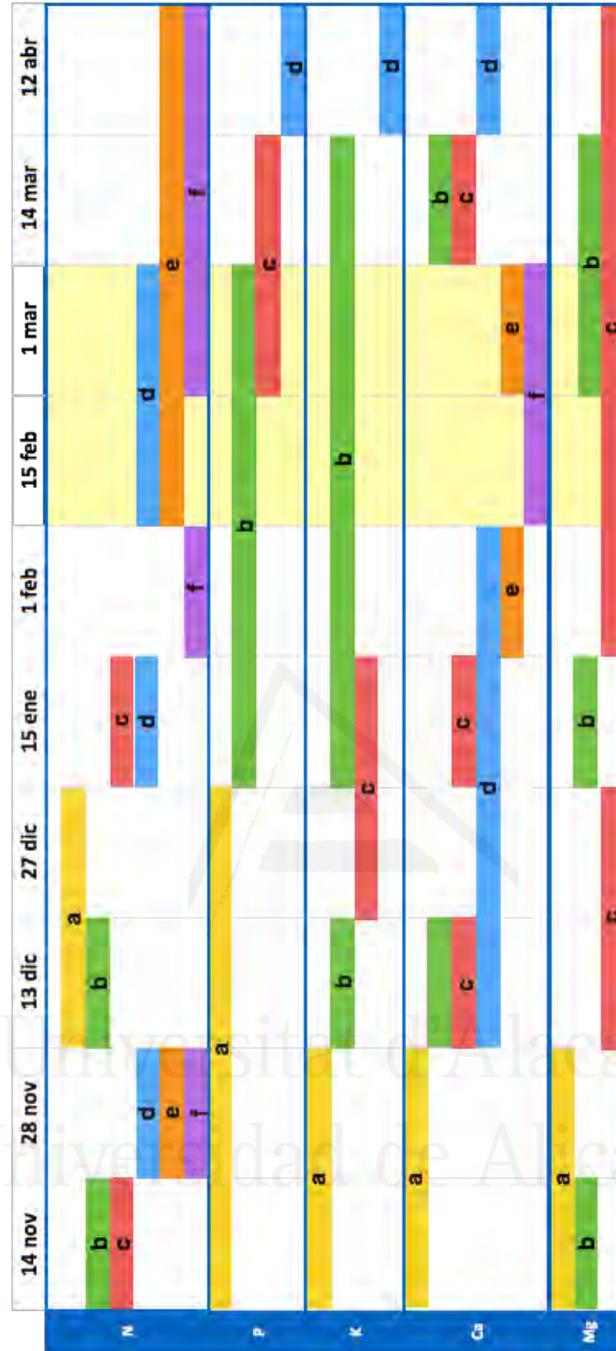


Figura 4.1. Periodos de estabilidad para la concentración de nutrientes en hoja. Letras y colores iguales en horizontal indican subconjuntos homogéneos. Valores expresados en $g \cdot 100g^{-1}$ m.s.

4.3. EVOLUCIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES

4.3.1. Nitrógeno

El nitrógeno desarrolla un papel central en el crecimiento de las plantas, determinando el desarrollo de los cultivos y la capacidad de rendimiento. Por tanto, con el fin de garantizar un rendimiento alto y estable de una manera sostenible, es imprescindible optimizar la eficiencia de la utilización de los fertilizantes nitrogenados en las tierras de cultivo. Según White y Brown (2010), hay dos caminos para alcanzar estos objetivos: el agronómico, mejorando las prácticas de fertilización; y el genético, utilizando genotipos que adquieran los elementos minerales del suelo de manera más eficaz.



Figura. 4.2. Evolución estacional del contenido foliar de nitrógeno en alcachofa variedad Blanca de Tudela cultivada en el sureste español.

En la Figura 4.2 se muestra la variación del contenido de nitrógeno foliar en alcachofa variedad Blanca de Tudela durante un periodo de 6 meses

del desarrollo del cultivo. En ella se observa que este elemento dió unos valores altos en noviembre-diciembre para luego producirse un descenso continuo hasta el final del cultivo, lo que coincide con la tendencia mostrada para este macronutriente en la mayoría de los cultivos hortícolas (Rincón *et al.*, 2007). En este estudio los niveles medios de nitrógeno se situaron en torno a $3,85 \text{ g N}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ m.s.}$ a lo largo del periodo cultivo evaluado, alcanzando el máximo nivel ($4,36 \text{ g N}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ m.s.}$) en el mes de diciembre, y el mínimo ($3,59 \text{ g N}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ m.s.}$) en abril, momento este último que coincide con el final del cultivo (Figura 4.2). Cuando se compara este comportamiento con el encontrado por Giménez *et al.* (2004) para la alcachofa variedad Violeta de Provenza, estos autores fijan el valor medio de nitrógeno foliar en $2,84 \text{ g N}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ m.s.}$, un valor 1,4 veces inferior al encontrado para la variedad Blanca de Tudela, lo que sugiere que la componente genética va a tener una gran influencia a la hora de establecer las necesidades o requerimientos de este nutriente para este cultivo.

4.3.2. Fósforo

Como se observa en la Figura 4.3 el contenido de fósforo en hoja disminuye de forma constante durante el desarrollo del cultivo. La primera muestra de noviembre presenta una concentración en hoja de $0,39 \text{ g P}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ m.s.}$ reduciéndose de forma constante hasta abril ($0,26 \text{ g P}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ m.s.}$).



Figura 4.3. Evolución estacional del contenido foliar de fósforo en alcachofa variedad Blanca de Tudela cultivada en el sureste español.

La concentración media de P es 0,35 g P·100g⁻¹m.s., quedando este valor que por debajo del encontrado para este elemento por Giménez *et al.* (2004) para la alcachofa de la variedad Violeta de Provenza 0,21g·100g⁻¹ m.s. De nuevo parecen establecerse diferencias en función de la variedad, tal y como también se había observado para el nitrógeno.

4.3.3. Potasio

El potasio es el elemento más consumido en el cultivo de alcachofa (Rincón *et al.*, 2007). Para poder evaluar este macronutriente, se debe comprender la fisiología de la planta y las prácticas del cultivo como la recolección, estrechamente relacionadas con el mismo. La recolección del cultivo de la alcachofa la cual se produce desde octubre hasta mayo o junio, varía a lo largo del periodo productivo, diferenciándose dos

etapas: en la primera se recolectan el 25-35%, y en la segunda entre el 65 y 75% de la producción.

En la Figura 4.4 se observa que el valor más alto de potasio en hoja fue 4,71 g K·100 g⁻¹ m.s., alcanzándose este valor durante el mes de noviembre, periodo que coincide con el inicio de la recolección. Durante dicho periodo, no hay mucha demanda de este elemento por la cosecha porque la producción suele ser más baja que hacia el final del cultivo. A partir del mes de diciembre el nivel de K se estabiliza e incluso aumenta sensiblemente hasta el mes de marzo, para luego descender hasta finales del cultivo (a partir de abril) alcanzando su nivel mínimo (2,83 g K·100g⁻¹ m.s.).

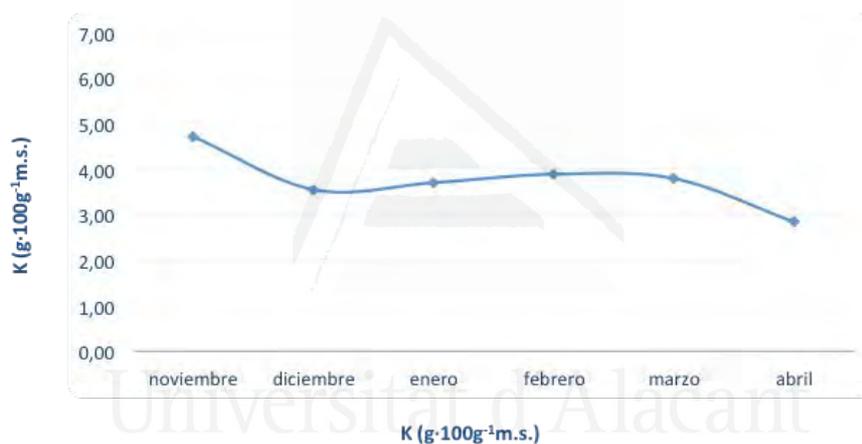


Figura 4.4. Evolución estacional del contenido foliar de potasio en alcachofa variedad Blanca de Tudela cultivada en el sureste español.

El valor medio de la concentración de K durante el cultivo fue 3,84 g K·100g⁻¹ m.s.; valor similar a los 3,82 g K·100g⁻¹m.s. propuesto por Giménez *et al.* (2004) para la alcachofa de la variedad Violeta de Provenza.

4.3.4. Calcio

El contenido de Ca en hoja empieza con el valor más alto 2,21 g Ca·100g⁻¹ m.s. en noviembre (Figura 4.5). A partir de noviembre, el Ca se mantiene entre 1,77 y 1,98 g Ca·100g⁻¹m.s. durante el desarrollo del cultivo. El valor medio de la concentración de Ca durante el cultivo fue 1,95 g Ca ·100g⁻¹m.s.; valor que difiere de 2,75 g Ca·100g⁻¹m.s. que proponen Giménez *et al.* (2004) para la alcachofa de la variedad Violeta de Provenza.



Figura 4.5. Evolución estacional del contenido foliar de calcio en alcachofa variedad Blanca de Tudela cultivada en el sureste español.

4.3.5. Magnesio

El contenido de Mg en hoja empieza con el valor más alto 0,44 g Mg·100g⁻¹m.s. en el mes de noviembre (Figura 4.6). A partir de noviembre, el Mg se mantiene entre 0,37 y 0,43 g Mg·100g⁻¹ m.s.a lo largo del periodo el desarrollo del cultivo evaluado.



Figura 4.6. Evolución estacional del contenido foliar de magnesio en alcachofa variedad Blanca de Tudela cultivada en el sureste español.

El valor medio de la concentración de Mg durante el cultivo fue 0,40 g Mg·100g⁻¹m.s.; valor muy parecido a los 0,39 g Mg·100g⁻¹m.s. propuesto por Giménez *et al.* (2004) para la alcachofa de la variedad Violeta de Provenza.

4.4. NORMAS RN, DOP e IDS

A partir de la fecha en la que existe una estabilidad de la composición de nutrientes de la hoja y con los niveles medios de los macronutrientes establecemos las normas para los diferentes métodos estáticos.

4.4.1. Obtención de las normas RN

La Tabla 4.3 recoge los rangos de normalidad de macroelementos. Estos valores se obtienen de muestras tomadas en la fecha óptima para la toma de muestras, donde el cultivo mantiene estables los niveles de nutrientes (desde mediados de febrero a mediados de marzo). La Tabla 4.4 muestra los rangos de normalidad de microelementos obtenidos a partir de las 60 réplicas.

Tabla 4.3. Rangos de normalidad de macroelementos para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Expresados en $g \cdot 100 g^{-1} m.s.$

	MUY BAJO	BAJO	NORMAL	ALTO	MUY ALTO
N	< 2,65	2,65-3,15	3,15-4,14	4,14-4,63	>4,63
P	< 0,24	0,24-0,28	0,28-0,37	0,37-0,42	>0,42
K	< 2,14	1,14-3,01	3,01-4,75	4,75-5,62	>5,62
Ca	< 1,28	1,28-1,52	1,52-2,00	2,00-2,24	>2,24
Mg	< 0,25	0,25-0,31	0,31-0,43	0,43-0,49	>0,49

Tabla 4.4. Rangos de normalidad de microelementos para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Expresados en mg·kg⁻¹ m.s, excepto para sodio (g·100 g⁻¹ m.s.)

	MUY BAJO	BAJO	NORMAL	ALTO	MUY ALTO
Fe	< 21,23	21,23-130,8	130,8-349,94	349,94-459,51	>459,51
Zn	< 6,01	6,01-17,52	17,52-121,12	121,12-190,18	>190,18
Mn	< 16,07	16,07-5,87	5,87-67,07	67,07-97,67	>97,67
Cu	< 2,92	2,92-5,85	5,85-21,09	21,09-31,26	>31,26
B	< 19,44	19,44-26,3	26,3-40,01	40,01-46,87	>46,87
Na	< 1,41	1,41-8,03	8,03-21,26	21,26-27,88	>27,88

4.4.2. Obtención de las normas DOP e IDS

La Tabla 4.5 muestra los resultados de la media y la desviación estándar para utilizar los métodos: Desviación del óptimo porcentual e Índice de desviación estándar. Estos valores se obtienen de muestras tomadas en la fecha óptima para la toma de muestras, donde el cultivo mantiene estables los niveles de nutrientes.

Tabla 4.5. Media y desviación estándar para las normas DOP e IDS de macroelementos para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Expresados en $g \cdot 100g^{-1}$ m.s.

	MEDIA⁽¹⁾	SD
N	3,65	0,49
P	0,33	0,04
K	3,88	0,87
Ca	1,76	0,24
Mg	0,38	0,06

⁽¹⁾Valor medio obtenido a partir de 60 réplicas en el momento óptimo para la toma de muestras

4.5. NORMAS DRIS y MDRIS A PARTIR DE UN BANCO DE DATOS DE 298 MUESTRAS

Los fórmulas y cálculos utilizados para obtener las normas se especifican en el punto 3.7 de este trabajo. En este apartado se muestran las normas DRIS y MDRIS obtenidas a partir de las 298 muestras recogidas a lo largo del desarrollo del cultivo (Tabla 4.6), así como sus relaciones (Tabla 4.7) y el Índice de Balance de Nutrientes (IBN) (Tabla 4.8). Este último parámetro es una medida del balance relativo de los nutrientes analizados y se calcula a partir de la suma, en valor absoluto, de los índices. Cuando se realiza un diagnóstico, valores cercanos a cero indican un equilibrio nutricional correcto.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 4.6. Normas DRIS y MDRIS para alcachofa cv. Blanca de Tudela.

ELEMENTO	MEDIA ⁽¹⁾	SD	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
N	3,8	0,5	13,4
P	0,34	0,06	18,36
K	4	1	25
Mg	0,40	0,08	19,90
Ca	2,0	0,3	16,3

⁽¹⁾Valor medio obtenido a partir de 298 réplicas

Tabla 4.7. Relaciones de las Normas DRIS y MDRIS para alcachofa cv. Blanca de Tudela.

RELACIÓN	MEDIA ⁽¹⁾	SD	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
N/P	11	2	16
NxK	15	3	22
NxCa	7	1	19
NxMg	1,5	0,3	19,9
P/K	0,09	0,02	30,03
P/Ca	0,18	0,04	23,06
P/Mg	0,9	0,2	19,2
K/Ca	2,0	0,5	23,0
K/Mg	10	2	24
Ca/Mg	5,0	0,8	16,0

⁽¹⁾Valor medio obtenido a partir de 298 réplicas

Tabla 4.8. Índice de Balance de Nutrientes para alcachofa cv. Blanca de Tudela.

IBN				
Muy equilibrado	Equilibrado	Desequilibrado	Muy desequilibrado	Extremadamente desequilibrado
0-23,2	23,2-34,1	34,1-44,9	44,9-55,7	>55,7

4.6. NORMAS DRIS y MDRIS A PARTIR DE UN BANCO DE DATOS DE 60 MUESTRAS OBTENIDAS DURANTE EL PERIODO DE MAYOR ESTABILIDAD DEL CULTIVO.

Las normas se desarrollan a partir de las fórmulas y cálculos expuestos en el apartado 3.7. En este punto se calculan las normas y el IBN de forma equivalente al Apartado 4.2.3 utilizando en este caso 60 muestras obtenidas en la fecha óptima para la toma de muestras, desde mitad de febrero hasta mediados de marzo.

Tabla 4.9. Normas DRIS y MDRIS para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Muestras obtenidas en la fecha óptima de muestreo (mitad de febrero a mediados de marzo).

ELEMENTO	MEDIA ⁽¹⁾	SD	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
N	3,65	0,49	13,6
P	0,33	0,04	13,53
K	3,88	0,87	22,3
Mg	0,38	0,06	16,00
Ca	1,76	0,24	13,7

⁽¹⁾Valor medio obtenido a partir de 60 réplicas

Tabla 4.10. Relaciones de las Normas DRIS y MDRIS para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Muestras obtenidas en la fecha óptima de muestreo (mitad de febrero a mediados de marzo).

RELACIÓN	MEDIA	SD	CV
P/N	0,09	0,01	10,98
NxK	14	2	14
NxCa	6	1	16
NxMg	1,4	0,2	17,
PxK	1,3	0,2	18,7
PxCa	0,58	0,07	12,60
P/Mg	0,9	0,2	19,0
Ca/K	0,47	0,09	20,22
K/Mg	10	2	22
Mg/Ca	0,22	0,04	16,55

Tabla 4.11. Índice de Balance de Nutrientes para alcachofa cv. Blanca de Tudela. Muestras obtenidas en la fecha óptima de muestreo (mitad de febrero a mediados de marzo).

IBN				
Muy equilibrado	Equilibrado	Desequilibrado	Muy desequilibrado	Extremadamente desequilibrado
0-19,6	19,6-29,1	34,1-38,7	38,7-48,2	>48,2

4.7. COMPARACIÓN DE LAS NORMAS DRIS y MDRIS OBTENIDAS CON DIFERENTES BANCOS DE DATOS.

En este apartado se compara las normas DRIS y MDRIS obtenida a partir de las 298 muestras del estudio (calculadas en el Apartado 4.2.3 de la sección de resultados y discusión), con las obtenida a partir de 60 muestras tomadas del periodo de estabilidad de los nutrientes calculado en el Apartado 4.2 de la sección de resultados y discusión.

Al comparar los resultados mostrados en las Tablas 4.6 y 4.9 se puede observar que hay relaciones que cambian al utilizar un número de muestras diferente. Las primeras evidencias sobre las diferencias entre los dos cálculos de las normas aparecen en las relaciones obtenidas, resultando que en el cálculo de las normas con 60 muestras se obtienen otras relaciones a utilizar, permutando: N/P por P/N, P/K por P_xK, K/Ca por Ca/K y Ca/Mg por Mg/Ca. Esto se debe a que, al disminuir el número de muestras, también es menor la dispersión de los datos y por tanto serán menores los coeficientes de variación de las relaciones.

Para evaluar la “mejor” norma para la interpretación foliar de las dos calculadas (con 60 y 298 muestras) estudiaremos el resultado de los IBNs obtenidos en ambos casos y la existencia o no de diferencias significativas entre los IBNs obtenidos en ambos casos (Tabla 4.8 y 4.11).

Como se puede observar en la Tabla 4.12, existen diferencias estadísticas entre los IBNs calculados en ambos casos, lo que indica, en este estudio, que con el segundo método (tomando 60 muestras en el momento nutricional más estable), se obtienen normas más restrictivas

(“mejores”), que al aplicarlas como diagnóstico definirían mejor el estado nutricional del cultivo.

Tabla 4.12. Comparación Índice de Balance de Nutrientes para alcachofa cv. Blanca de Tudela calculados a partir de muestras obtenidas a lo largo del desarrollo del cultivo (298) y durante el periodo de máxima estabilidad del cultivo (60).

Número de muestras	IBN
298	23±11
60	20±10
Sig. ¹	*

¹ns sig>0,05, *0,01<sig<0,05, ** 0,001<sig<0,01, ***0,001>sig.

4.8. NORMAS CND

La Tabla 4.13 recoge las normas CND obtenidas a partir de las 60 muestras tomadas en el momento óptimo para la toma de muestras. En el apartado 3.8 se encuentran las fórmulas a partir de las cuales se han calculado las normas para este método de diagnóstico foliar.

Tabla 4.13. Normas CND (compositional nutrient diagnosis) para alcachofa cv. Blanca de Tudela.

	MEDIA	SD
N	3,65	0,49
P	0,33	0,04
K	3,88	0,87
Ca	1,76	0,24
Mg	0,38	0,06
Rd =	90	1
G=	2,6	0,2
V_{NITRÓGENO}=	0,35	0,15
V_{FÓSFORO}=	-2,04	0,14
V_{POTASIO} =	0,41	0,19
V_{MAGNESIO}=	-0,37	0,12
V_{CALCIO}=	-1,91	0,13
VRD=	3,57	0,05

4.9. EJEMPLO DE DIAGNÓSTICO FOLIAR CON LAS NORMAS OBTENIDAS EN ESTE TRABAJO.

En este apartado se procede a realizar un ejemplo práctico de diagnóstico de un cultivo mediante análisis foliar de macroelementos con el sistema de DRIS-MDRIS, utilizando las normas interpretativas obtenidas con 60 muestras tomadas en el momento óptimo de la muestra.

Lo primero que debemos hacer es disponer de la Tabla con las normas DRIS-MDRIS y del análisis de la parcela que queremos diagnosticar

En la Tabla 4.9, 4.10 y 4.11 aparecen las normas de los elementos DRIS-MDRIS, de las relaciones DRIS-MDRIS y del IBN respectivamente. La Tabla 4.14 muestra el análisis de los macroelementos de la parcela a diagnosticar.

Tabla 4.14. Resultados analíticos de una muestra tomada de una explotación de alcachofa cv Blanca de Tudela. Unidades (% p/p)

Datos del análisis de la parcela	
Nitrógeno (N)	4,21
Fósforo (P)	0,35
Potasio (K)	3,02
Magnesio (Mg)	1,57
Calcio (Ca)	0,32

A continuación, se exponen los pasos necesarios para el diagnóstico mediante el método DRIS y MDRIS.

PASO 1, Cálculo de las relaciones DRIS del análisis a interpretar.

Se realizan los cálculos con los datos de la muestra (parcela) a interpretar (relaciones del análisis).

PASO 2, Cálculo de las funciones DRIS del análisis a interpretar.

$$\frac{P}{N} = 0,0831 \qquad NxK = 12,7142$$

$$NxCa = 6,6097 \qquad NxMg = 1,3565$$

$$PxK = 1,0570 \qquad PxCa = 0,5495$$

$$\frac{P}{Mg} = 1,0863 \qquad \frac{Ca}{K} = 0,5199$$

$$\frac{K}{Mg} = 9,3731 \qquad \frac{Mg}{Ca} = 0,2052$$

$$F(N) = \frac{(N_{Parcela} - N_{Norma})x10}{SD}$$

$$F(N) = \frac{(4,21 - 3,646)x10}{0,4949} = 11,3889$$

$$F(P) = \frac{(P_{Parcela} - P_{Norma})x10}{SD}$$

$$F(P) = \frac{(0,35 - 0,331)x10}{0,0448} = 4,2038$$

$$F(K) = \frac{(K_{Parcela} - K_{Norma})x10}{SD}$$

$$F(K) = \frac{(3,02 - 3,884)x10}{0,8677} = -9,9672$$

$$F(Ca) = \frac{(Ca_{Parcela} - Ca_{Norma})x10}{SD}$$

$$F(Ca) = \frac{(1,57 - 1,765)x10}{0,2413} = -8,0953$$

$$F(Mg) = \frac{(Mg_{Parcela} - Mg_{Norma})x10}{SD}$$

$$F(Mg) = \frac{(0,322 - 0,378)x10}{0,0605} = -9,2591$$

PASO 2. (Bis), Cálculo de las funciones DRIS del análisis a interpretar.

$$F\left(\frac{P}{N}\right) = \frac{(P/N_{Parcela} - P/N_{Norma})x10}{SD}$$

$$F\left(\frac{P}{N}\right) = \frac{(0,0831 - 0,091)x10}{0,0100} = -8,2711$$

$$F(NxK) = \frac{(NxK_{Parcela} - NxK_{Norma})x10}{SD}$$

$$F(NxK) = \frac{(12,7142 - 13,856)x10}{1,9023} = -6,0024$$

$$F(NxCa) = \frac{(NxCa_{Parcela} - NxCa_{Norma})x10}{SD}$$

$$F(NxCa) = \frac{(6,6097 - 6,392)x10}{1,0016} = 2,1698$$

$$F(NxMg) = \frac{(NxMg_{Parcela} - NxMg_{Norma})x10}{SD}$$

$$F(NxMg) = \frac{(1,3564 - 1,369)x10}{0,2394} = -0,5342$$

$$F(PxK) = \frac{(PxK_{Parcela} - PxK_{Norma})x10}{SD}$$

$$F(PxK) = \frac{(1,057 - 1,268)x10}{0,2371} = -8,9166$$

$$F(PxCa) = \frac{(PxCa_{Parcela} - PxCa_{Norma})x10}{SD}$$

$$F(PxCa) = \frac{(0,5495 - 0,578)x10}{0,0729} = -4,0042$$

$$F\left(\frac{P}{Mg}\right) = \frac{(P/Mg_{Parcela} - P/Mg_{Norma})x10}{SD}$$

$$F\left(\frac{P}{Mg}\right) = \frac{(1,0862 - 0,896)x10}{0,1705} = 11,1489$$

$$F\left(\frac{Ca}{K}\right) = \frac{(Ca/K_{Parcela} - Ca/K_{Norma})x10}{SD}$$

$$F\left(\frac{Ca}{K}\right) = \frac{(0,5198 - 0,469)x10}{0,0949} = 5,3034$$

$$F\left(\frac{K}{Mg}\right) = \frac{(K/Mg_{Parcela} - K/Mg_{Norma})x10}{SD}$$

$$F\left(\frac{K}{Mg}\right) = \frac{(9,373 - 10,417)x10}{2,2890} = -4,5638$$

$$F\left(\frac{Mg}{Ca}\right) = \frac{(Mg/Ca_{Parcela} - Mg/Ca_{Norma})x10}{SD}$$

$$F\left(\frac{Mg}{Ca}\right) = \frac{(0,2052 - 0,216)x10}{0,0358} = -3,1406$$

PASO 3, Cálculo de los índices DRIS del análisis a interpretar.

3.a. Índice del nitrógeno.

$$F(N) = 11,3889$$

(Al aparecer N en el numerador, el valor no cambia)

$$F\left(\frac{P}{N}\right) = -8,2711$$

(Al aparecer N en el denominador, cambia de signo quedando positivo:
8,2711)

$$F(NxK) = -6,0024$$

(Al aparecer N en el numerador, el valor no cambia)

$$F(NxCa) = 2,1698$$

(Al aparecer N en el numerador, el valor no cambia)

$$F(NxMg) = -0,5342$$

(Al aparecer N en el numerador, el valor no cambia)

A partir de los cálculos anteriores, procedemos a calcular el índice del nitrógeno:

$$I_N = \frac{11,388 + (8,271) + (-6,002) + (2,169) + (-0,534)}{5} = 3,058$$

3.b. Índice del fósforo.

$$F(P) = 4,2038$$

(Al aparecer P en el numerador, el valor no cambia)

$$F\left(\frac{P}{N}\right) = -8,2711$$

(Al aparecer P en el numerador, el valor no cambia)

$$F(PxK) = -8,9166$$

(Al aparecer P en el numerador, el valor no cambia)

$$F(PxCa) = -4,0042$$

(Al aparecer P en el numerador, el valor no cambia)

$$F\left(\frac{P}{Mg}\right) = 11,1489$$

(Al aparecer P en el numerador, el valor no cambia)

A partir de los cálculos anteriores, procedemos a calcular el índice del fósforo:

$$I_P = \frac{4,203 + (-8,271) + (-8,916) + (-4,004) + (11,148)}{5} \\ = -1,167$$

3.c. Índice del potasio.

$$F(K) = -9,9672$$

(Al aparecer P en el numerador, el valor no cambia)

$$F(NxK) = -6,0024$$

(K = 1/K, por lo que equivale a estar en el denominador, por tanto cambia de signo quedando positivo: 6,0024)

$$F(PxK) = -8,9166$$

(K = 1/K, por lo que equivale a estar en el denominador, por tanto cambia de signo quedando positivo: 8,9166)

$$F\left(\frac{Ca}{K}\right) = 5,3034$$

(Al aparecer K en el denominador, cambia de signo quedando negativo: -5,3034)

$$F\left(\frac{K}{Mg}\right) = -4,5638$$

(Al aparecer K en el numerador, el valor no cambia)

A partir de los cálculos anteriores, procedemos a calcular el índice del potasio:

$$I_K = \frac{-9,967 + (6,002) + (8,9166) + (-5,303) + (-4,563)}{5} = -0,983$$

3.d. Índice del calcio.

$$F(Ca) = -8,0953$$

(Al aparecer Ca en el numerador, el valor no cambia)

$$F(NxCa) = 2,1698$$

(Ca = 1/Ca, por lo que equivale a estar en el denominador, por tanto cambia de signo quedando negativo: -2,1698)

$$F(PxCa) = -4,0042$$

(Ca = 1/Ca, por lo que equivale a estar en el denominador, por tanto cambia de signo quedando positivo: 4,0042)

$$F\left(\frac{Ca}{K}\right) = 5,3034$$

(Al aparecer Ca en el numerador, el valor no cambia)

$$F\left(\frac{Mg}{Ca}\right) = -3,1406$$

(Al aparecer Ca en el denominador, cambia de signo quedando positivo: 3,1406)

A partir de los cálculos anteriores, procedemos a calcular el índice del calcio:

$$I_{Ca} = \frac{-8,0953 + (-2,1698) + 4,0042 + 5,3034 + 3,1406}{5} = 0,436$$

3.e. Índice del magnesio.

$$F(Mg) = -9,2591$$

(Al aparecer Ca en el numerador, el valor no cambia)

$$F(NxMg) = -0,5342$$

(Mg = 1/Mg, por lo que equivale a estar en el denominador, por tanto cambia de signo quedando negativo: 0,5342)

$$F\left(\frac{P}{Mg}\right) = 11,1489$$

(Al aparecer Mg en el denominador, cambia de signo quedando negativo: -11,1489)

$$F\left(\frac{K}{Mg}\right) = -4,5638$$

(Al aparecer Mg en el denominador, cambia de signo quedando positivo: 4,5638)

$$F\left(\frac{Mg}{Ca}\right) = -3,1406$$

(Al aparecer Mg en el numerador, el valor no cambia)

A partir de los cálculos anteriores, procedemos a calcular el índice del magnesio:

$$I_{Mg} = \frac{-9,2591 + 0,5342 + (-11,1489) + 4,5638 + (-3,1406)}{5}$$

$$= -3,69$$

PASO 4, Cálculo de los índices de balance de nutrientes DRIS del análisis a interpretar.

El IBN se calcula a partir de la fórmula que suma los índices de los nutrientes (el valor absoluto) y los divide por el número de nutrientes.

$$IBN = \frac{|3,058| + |-1,167| + |-0,983| + |0,436| + |-3,69|}{5} = 1,867$$

El Índice de Balance de Nutrientes (IBN) obtenido es 1,867 que al interpretarlo con la Tabla 4.11 podemos observar que, en este ejemplo la planta muestra un IBN muy equilibrado.

Como resultado final, vemos la Figura 4.7 donde se muestra gráficamente los excesos y deficiencias de los nutrientes, resultando que todos los nutrientes a excepción del Mg y N están correctos debido a que se ubican dentro de los límites del IBN medio. El orden de los nutrientes sería Mg>N. Por tanto, hay una deficiencia de Mg y un exceso de N.

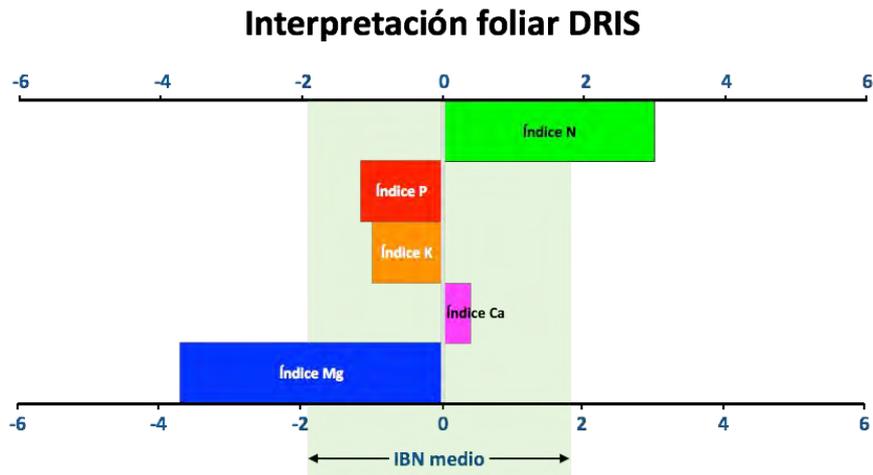


Figura. 4.7. Resultado e Interpretación gráfica del diagnóstico mediante el método DRIS.

Ahora procederemos a calcular el MDRIS de forma análoga.

PASO 5, Cálculo de los índices MDRIS del análisis a interpretar.

En primer lugar, se procede a calcular el IMS (Índice de Materia Seca) mediante la fórmula:

$$IMS = \frac{-f(N) - f(P) - f(K) - f(Ca) - f(Mg)}{5}$$

$$IMS = \frac{-11,388 - 4,203 - (-9,967) - (-8,095) - (-9,259)}{5} = 2,346$$

PASO 6, Cálculo de los índices MDRIS del análisis a interpretar.

Las funciones son similares a las utilizadas hasta ahora en el método DRIS con la excepción que se añade $f(N/MS)$:

$$IMS_{Nms} = \frac{f(N) - \left(f\left(\frac{P}{N}\right) \right) + f(NxK) + f(NxCa) + f(NxMg)}{5} - IMS$$

Esta fórmula se utiliza de forma análoga para el cálculo de los índices de todos los elementos, como se muestra a continuación:

$$IMS_{Nms} = \frac{11,388 - (-8,271) + (-6,002) + 2,169 + (-0,534)}{5} - 2,346 = 0,7124$$

$$IMS_{Pms} = \frac{4,2038 + (-8,2711) + (-8,9166) + (-4,0042) + 11,1489}{5} - 2,346 = -3,513$$

$$IMS_{Kms} = \frac{-9,9672 - (-6,0024) - (-8,9166) - (5,3034) + (-4,5638)}{5} - 2,346 = -3,328$$

$$IMS_{Cams} = \frac{-8,0953 + (-2,1698) - (-4,0042) + (5,3034) - (-3,1406)}{5} - 2,346 = -1,909$$

$$IMS_{Mgms} = \frac{-9,2591 - (-0,5342) - 11,1489 - (-4,5638) + (-3,1406)}{5} - 2,346 = -6,035$$

A continuación calculamos el IBN. Sumando los índices de los nutrientes (en valor absoluto) y el valor resultante del sumatorio de los índices ($\sum Indices$) también en valor absoluto y dividiendo por el número de nutrientes más uno (que corresponde con $\sum Indices$).

$$IBN_{ms} = |0,7124| + |-3,513| + |-3,328| + |-1,909| + |-6,035| + |2,346| = 17,846$$

$$IBNMS_{medio} = \frac{|0,7124| + |-3,513| + |-3,328| + |-1,909| + |-6,035| + |2,346|}{6} = 2,974$$

El Índice de Balance de Nutrientes (IBN) obtenido es 2,974 que al interpretarlo con la Tabla 4.11 podemos observar que, en este ejemplo la planta muestra un IBN muy equilibrado.

Como resultado final, vemos la Figura 4.8 donde se muestra gráficamente los excesos y deficiencias de los nutrientes, resultando que todos los nutrientes a excepción del P, K y Mg están correctos debido a que se ubican dentro de los límites del IBN medio. El orden de los nutrientes sería $Mg > P > K$. Por tanto, hay una deficiencia de los tres elementos.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

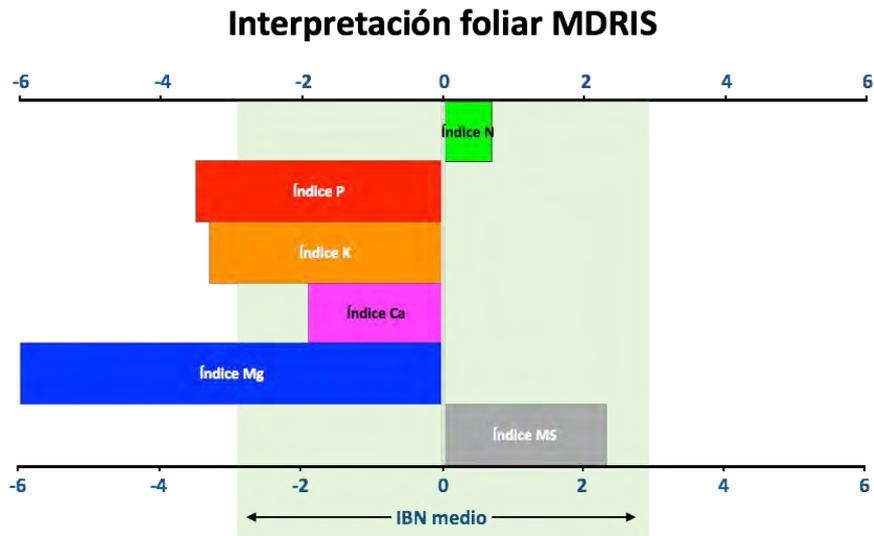


Figura. 4.8. Resultado e Interpretación gráfica del diagnóstico mediante el método MDRIS.

PASO 7, Cálculo de los índices CND del análisis a interpretar.

Las fórmulas utilizadas en este aquí son las descritas en el apartado 1.3.3.2.1.6 y los valores de la norma son los de la Tabla 4.13.

Procedemos a calcular el valor de R.

$$R = 100 - (N_{Norma} + P_{Norma} + K_{Norma} + Ca_{Norma} + Mg_{Norma})$$

$$R = 100 - (3,65 + 0,33 + 3,88 + 1,76 + 0,38) = 90,53$$

Procedemos a calcular el valor de G.

$$G = (N_{Norma} \cdot P_{Norma} \cdot K_{Norma} \cdot Ca_{Norma} \cdot Mg_{Norma} \cdot R)^{\frac{1}{d+1}}$$

$$G = (3,65 \cdot 0,33 \cdot 3,88 \cdot 1,76 \cdot 0,38 \cdot 90,53)^{\frac{1}{6+1}} = 2,425$$

Calculamos los Índices CND de cada uno de los elementos mediante las fórmulas:

$$V_A = \ln \frac{A}{G}$$

$$V_N = \ln \frac{4,21}{2,425} = 0,551$$

$$V_P = \ln \frac{0,35}{2,425} = -1,935$$

$$V_K = \ln \frac{3,02}{2,425} = 0,219$$

$$V_{Ca} = \ln \frac{1,57}{2,425} = -2,018$$

$$V_{Mg} = \ln \frac{0,32}{2,425} = -0,435$$

$$V_{Resto} = \ln \frac{90,5}{2,425} = 3,619$$

$$\text{Indice } \mathit{CND}_A = \frac{V_A - V_{A\text{norma}}}{SD_A}$$

$$\text{Indice } \mathit{CND}_N = \frac{0,551-0,35}{0,15} = 1,28$$

$$\text{Indice } \mathit{CND}_P = \frac{-1,935-(-2,04)}{0,14} = 0,79$$

$$\text{Indice } \mathit{CND}_K = \frac{0,219-0,41}{0,19} = -0,98$$

$$\text{Indice } \mathit{CND}_{Ca} = \frac{-2,018-(-1,91)}{0,13} = -0,54$$

$$\text{Indice } \mathit{CND}_{Mg} = \frac{-0,435-(-0,37)}{0,12} = -0,82$$

$$\text{Indice } \mathit{CND}_{\text{Resto}} = \frac{3,619-3,57}{0,05} = 0,985$$

Ahora procedemos a calcular el IBNCND

$$\mathit{IBN}_{\mathit{CND}} = |1,28| + |0,79| + |-0,98| + |-0,54| + |-0,82| = 5,4$$

$$\mathit{IBN}_{\mathit{CND}\text{medio}} = \frac{|1,28|+|0,79|+|-0,98|+|-0,54|+|-0,82|+|0,985|}{6} = 0,9$$

La fórmula anterior es una adaptación de DRIS y MDRIS al CND (Giménez, 2016).

El Índice de Balance de Nutrientes medio mediante el método CND (IBNCND) es 0,9 que al interpretarlo con la Tabla 4.11 podemos observar que, en este ejemplo, la planta muestra un índice de balance de nutrientes muy equilibrado.

Como resultado final, vemos la Figura 4.9 donde se muestra gráficamente los excesos y deficiencias de los nutrientes, resultando que todos los nutrientes a excepción del N y K están correctos debido a que se ubican dentro de los límites del IBN medio. El orden de los nutrientes sería $N > K$. Por tanto, hay una deficiencia de K y un exceso de N.

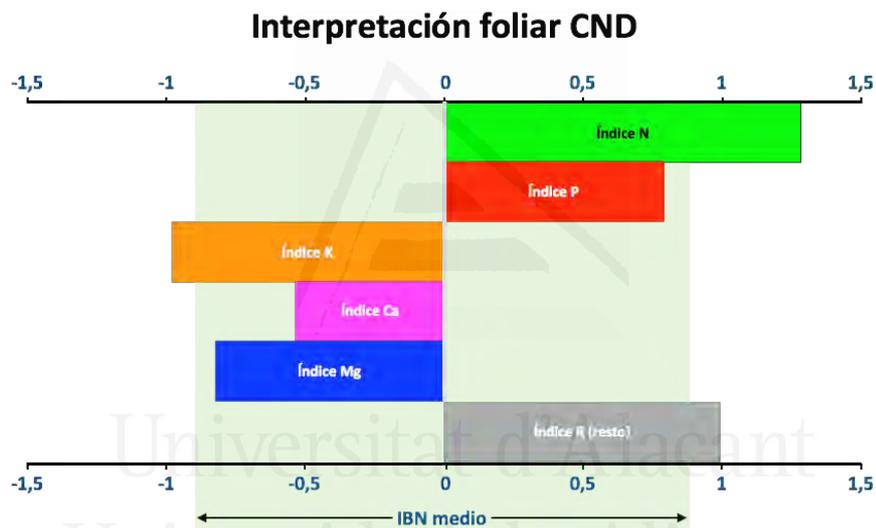


Figura. 4.9. Resultado e Interpretación gráfica del diagnóstico mediante el método CND.

PASO 8, Cálculo por el método de RN del análisis a interpretar.

A partir de los valores de la Tabla 4.3 podemos realizar una interpretación mediante el método de los Rangos de Normalidad como se muestra en la Figura 4.10.

Como puede apreciarse la interpretación por este método resulta muy simple, aunque por el contrario aporta muy poca información respecto a los elementos limitantes.

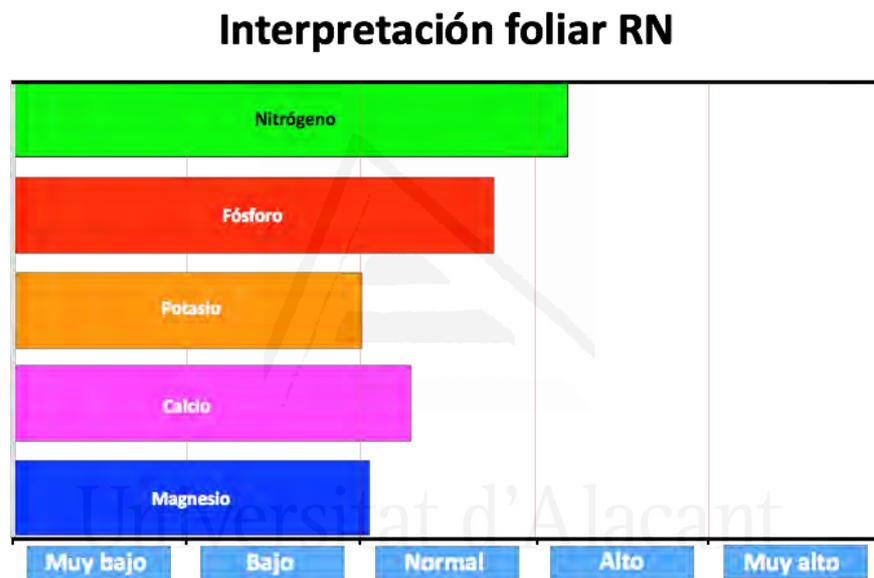


Figura. 4.10. Resultado e Interpretación gráfica del diagnóstico mediante el método RN.

PASO 9, Cálculo por el método de DOP del análisis a interpretar.

En el Apartado 1.3.3.2.1.3 se puede ver la explicación para calcular los índices DOP con la fórmula que aparece a continuación y que se utiliza para calcular los índices.

$$DOP = [(C - C_{norma}) \cdot C_{norma}^{-1}] \cdot 100 =$$

$$DOP_N = [(4,21 - 3,65) \cdot 3,65^{-1}] \cdot 100 = 15$$

$$DOP_P = [(0,35 - 0,33) \cdot 0,33^{-1}] \cdot 100 = 6$$

$$DOP_K = [(3,02 - 3,88) \cdot 3,88^{-1}] \cdot 100 = -22$$

$$DOP_{Ca} = [(1,57 - 1,76) \cdot 1,76^{-1}] \cdot 100 = -11$$

$$DOP_{Mg} = [(0,32 - 0,38) \cdot 0,38^{-1}] \cdot 100 = -16$$

A partir de los valores de la Tabla 4.3 podemos realizar una interpretación mediante el método de la desviación del óptimo porcentual como se muestra en la Figura 4.11. Igual que ocurre con los RS, el uso de los métodos estáticos queda limitado al momento óptimo para la toma de muestras. En las demás etapas del cultivo, frecuentemente puede resultar contraproducente utilizar estos métodos de interpretación.

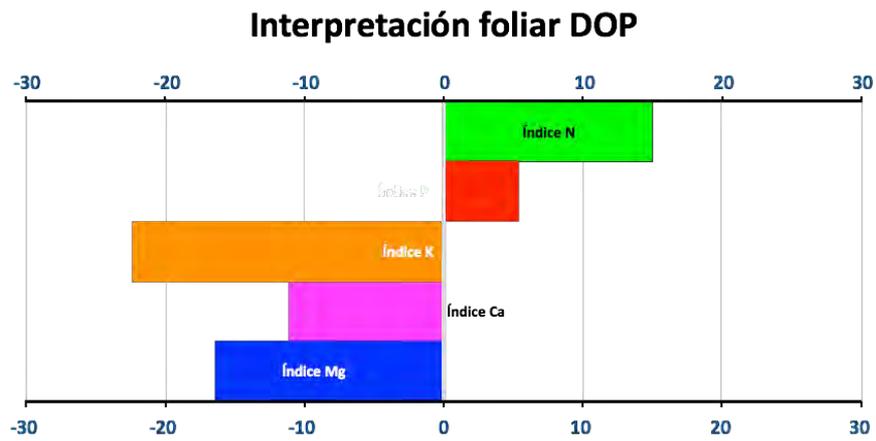


Figura. 4.11. Resultado e Interpretación gráfica del diagnóstico mediante el método DOP.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

5. CONCLUSIONES.

Crear y definir normas que puedan ser utilizadas por miles de personas es el mejor resultado de cualquier investigación y especialmente de una tesis doctoral. De los resultados obtenidos de esta memoria se desprenden las siguientes conclusiones más relevantes:

1. Se proponen Rangos de Suficiencia, normas DOP y valores IDS para el diagnóstico nutricional de alcahofa (*Cynara scolymus* L.), cv. Blanca de Tudela, en las condiciones edafo-climáticas y agroambientales del suereste de España.
2. Los niveles de nutrientes propuestos para el diagnóstico nutricional mediante análisis foliar de la alcachofa de la variedad Blanca de Tudela, difieren claramente de los propuestos por Giménez *et al.* (2004) para la variedad Violeta de Provenza. Por tanto, para un diagnóstico correcto del cultivo de alcachofa deben utilizarse los valores foliares de referencia según la variedad.
3. Se proponen normas para los macronutrientes y sus relaciones, con sus correspondientes coeficientes de variación, para el óptimo diagnóstico foliar de la alcahofa (*Cynara scolymus* L.) cv. Blanca de Tudela, a través de la metodología DRIS y MDRIS obtenidas a partir de 298 muestras recogidas a lo largo del desarrollo del cultivo y de 60 muestras recogidas en el momento óptimo de muestreo (mayor estabilidad del cultivo): N, P, K, Mg, Ca, N/P; NxK; NxCa; NxMg; P/K; P/Ca; P/Mg; K/Ca; K/Mg; Ca/Mg.

5. La obtención de las normas DRIS y MDRIS utilizando 60 análisis realizados en el momento óptimo para la toma de muestras difieren de las obtenidas con 298 análisis realizados durante todo el desarrollo del cultivo; esto se justifica por la mayor dispersión de los resultados cuando se incrementa el número de muestras.

6. Las normas obtenidas por cualquiera de los métodos son válidas para la alcahofa (*Cynara scolymus* L.), cv. Blanca de Tudela, en las condiciones edáficas y agroclimáticas del suereste español. Estas referencias perderán fiabilidad a medida que las condiciones del alcachofar a diagnosticar difieran de aquellas condiciones en las que se obtuvieron, por lo que debe ser tenido en cuenta cuando se empleen en otras zonas o para otra variedad.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

6. ANEXOS



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

MÉTODOS DE ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

Textura:

Se utiliza el método de la pipeta de Robinson, basado en el hecho de que la sedimentación elimina, en una zona de profundidad h y en un tiempo t , todas las partículas cuyas velocidades de sedimentación sean mayores de h/t , mientras que las partículas que tengan velocidades de sedimentación inferiores a la citada se mantienen en dicha zona a la concentración original. Los resultados se expresan en % arena, % limo y % arcilla.

Carbonatos:

Cuando se tratan los carbonatos con ácido clorhídrico (HCl) a temperatura constante en un dispositivo cerrado, el incremento de volumen (a presión constante) o de presión (a volumen constante) es una medida directa del CO_2 desprendido, cuando no se producen otros gases. Los datos obtenidos son % de carbonatos totales.

Caliza activa:

Se calcula por una dosificación gasométrica de CO_2 , del carbonato amónico, formado al reaccionar el carbonato cálcico $[\text{CaCO}_3]$ activo con el oxalato amónico en disolución. Los resultados se expresan en % caliza activa.

Materia orgánica oxidable:

Se determina la materia orgánica del suelo que se oxida con dicromato potásico 1 N. en presencia de ácido sulfúrico. El exceso de oxidante se valora con sulfato ferroso-amónico (sal de Möhr) y la cantidad de materia orgánica se calcula a partir de la cantidad de dicromato reducido, teniendo en cuenta un factor de conversión de carbono a materia orgánica en el supuesto de que la materia orgánica contiene un 58% de carbono y un factor de recuperación considerando que sólo se oxida el 77% de la materia orgánica (M.O.) presente.

Se expresa en % materia orgánica oxidable.

pH:

El pH de las muestras de suelo se determina en agua 1/5. Se pesan 10 g. de suelo y se le añaden 50 mL de agua destilada. En esta suspensión se introducen los electrodos para medir el pH en el líquido sobrenadante.

Conductividad eléctrica:

Se determina en agua 1/5 a 25°C. Los resultados son expresados en $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Capacidad total de cambio, magnesio y calcio asimilable:

Los cationes retenidos en el suelo son intercambiados con los iones de hexamincobalto de la disolución y la capacidad total de cambio es

obtenida por diferencia entre la cantidad inicial de hexaminocobalto en solución y la cantidad restante en el extracto, después de producirse el intercambio de iones.

El reactivo utilizado para la extracción es el Cohex, tricloruro de cobalto examina $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]$. A 2,5 g de suelo se le añaden 50 mL de extractante y, tras una hora de agitación a 20°C, se filtra el extracto, se centrifuga a 2000 rpm durante 5 minutos, y una vez filtrado, se mide la absorbancia a 475 nm. Se expresa en $\text{mmolc}^+ \cdot 100\text{g}^{-1}$ de suelo.

Fósforo, Potasio, Sodio, Magnesio, Calcio, Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, cloruros y sulfatos:

Se realiza una extracción con el reactivo Melhich 3 que contiene: CH_3COOH 0,2 M; NH_4NO_3 0,25 M; NH_4F 0,015 M; HNO_3 0,01 M y EDTA 0,01 M a pH 2,5 con una relación suelo: extractante 1:10 y un tiempo de agitación de 10 minutos. Posteriormente se realiza una determinación mediante ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry).

Resumen estadístico para el nitrógeno.

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA¹	150	3,9+	0,47068	12,1737%	2,83	4,98
SA²	148	3,83122	0,557438	14,5499%	2,24	4,71
Total	298	3,84891	0,515026	13,3811%	2,24	4,98

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

Resumen Estadístico para Fósforo

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA¹	150	0,342133	0,0588889	17,2123%	0,19	0,57
SA²	148	0,345068	0,0672542	19,4901%	0,2	0,47
Total	298	0,343591	0,0630925	18,3627%	0,19	0,57

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

Resumen Estadístico para Potasio

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA¹	150	3,74015	1,01736	27,20%	1,94	7,31
SA²	148	3,94007	0,87813	22,28%	2,47	7,82
Total	298	3,83944	0,95443	24,85%	1,94	7,82

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

Resumen Estadístico para Calcio

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA¹	150	1,93429	0,336087	17,3753%	1,163	3,42
SA²	148	1,9715	0,299004	15,1663%	1,36	3,31
Total	298	1,95277	0,318222	16,2959%	1,163	3,42

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

Resumen Estadístico para Magnesio

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA¹	150	0,390881	0,0946162	24,2059%	0,27	1,13
SA²	148	0,40798	0,0595354	14,5927%	0,3	0,83
Total	298	0,399373	0,0794912	19,904%	0,27	1,13

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

Resumen Estadístico para Hierro

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA ¹	150	222,682	115,191	51,729%	11,37	673,85
SA ²	148	258,299	100,816	39,0306%	119,21	722,03
Total	298	240,371	109,57	45,5837%	11,37	722,03

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

Resumen Estadístico para Zinc

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA ¹	150	51,4586	44,8903	87,2357%	13,06	448,0
SA ²	148	52,6603	87,1465	165,488%	4,37	842,0
Total	298	52,0554	69,0668	132,679%	4,37	842,0

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

Resumen Estadístico para Manganeso

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA ¹	150	38,161	42,1939	110,568%	14,29	525,79
SA ²	148	34,765	9,03252	25,9816%	4,46	53,51
Total	298	36,4744	30,6012	83,8977%	4,46	525,79

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

Resumen Estadístico para Cobre

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA ¹	150	10,4072	12,1448	116,697%	0,28	132,78
SA ²	148	11,4667	7,65893	66,7929%	0,28	42,88
Total	298	10,9334	10,1642	92,9652%	0,28	132,78

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

Resumen Estadístico para Boro

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA ¹	150	34,1951	7,80555	22,8265%	16,71	94,09
SA ²	148	32,1139	5,57181	17,3501%	7,56	46,54
Total	298	33,1615	6,85698	20,6775%	7,56	94,09

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

Resumen Estadístico para Sodio

<i>Finca</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>S.D</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
MA ¹	150	16365,0	7755,76	47,3923%	26,992	45363,3
SA ²	148	12897,4	4626,5	35,8717%	88,08	31134,3
Total	298	14642,8	6617,21	45,1908%	26,992	45363,3

MA¹: Finca Mahoya; SA²: Finca San Miguel de Salinas.

<i>C1</i>	<i>n</i>	<i>Prom</i>	<i>S.D</i>	<i>CV (5)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
IBN298	298	23	11	47	4,00518	80,765	76,759
IBN60	60	20	10	49	6,73434	52,2299	45,495
Total	358	23	114	47	4,00518	80,765	76,759

<i>C1</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
IBN298	8,65766	9,70392
IBN60	3,58338	2,33008
Total	9,40995	10,1645

<i>C1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
IBN60	60	19,6153	X
IBN298	298	23,2834	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
IBN298 - IBN60	*	3,6681	2,95843

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ANALISIS DE AGUA 1

DETERMINACIONES FÍSICAS	VALOR
pH (25º):	7,73
C.E. (dS/m a 25ºC):	1,69
TDS: SOLIDOS DISUELTOS (mg/l):	1002,30
DETERMINACIONES QUÍMICAS	VALOR
CATIONES:	mmoles/l
Calcio (Ca ⁺²):	2,46
Magnesio (Mg ⁺²)	2,14
Sodio (Na ⁺)	6,50
Potasio (K ⁺)	0,44
TOTAL DE CATIONES:	11,54
ANIONES:	mmoles/l
Carbonatos (CO ₃ ⁻²)	0,00
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	3,92
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	2,96
Cloruros (Cl ⁻)	5,80
TOTAL ANIONES:	12,68
MICROELEMENTOS	micromoles/l
Boro (B)	25,60



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ANALISIS DE AGUA 2

DETERMINACIONES FÍSICAS	VALOR
pH (25º):	7,87
C.E. (dS/m a 25ºC):	12,96
TDS: SOLIDOS DISUELTOS (mg/l):	1900,80
DETERMINACIONES QUÍMICAS	VALOR
CATIONES:	mmoles/l
Calcio (Ca ⁺²):	3,98
Magnesio (Mg ⁺²):	4,68
Sodio (Na ⁺):	12,70
Potasio (K ⁺):	0,21
TOTAL DE CATIONES:	21,57
ANIONES:	mmoles/l
Carbonatos (CO ₃ ⁻²):	0,00
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻):	2,84
Sulfatos (SO ₄ ⁻²):	7,99
Cloruros (Cl ⁻):	10,89
TOTAL ANIONES:	21,72
MICROELEMENTOS	micromoles/l
Boro (B):	44,00



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aitchison, J. **1982**. The statistical analysis of compositional data. *J. Royal Stat. Soc. B* 44(2):139-177.
- Aizpurua Intxausti, A.; Besga Salazar, G.; Domingo y Uriarte, M.; Amenabar Arsuaga, R. **1996**. Análisis foliar; normas para el muestreo de hojas en frutales de hueso y pepita. *Sustrai*. 40:36-38.
- Alarcón, A.L. **2001**. El boro como nutriente esencial. Dpto. Producción Agraria Área Edafología y Química Agrícola. ETSIA.
- Alsina, L. **1982**. El cultivo de la alcachofa y del cardo. Editorial Sintés S.A., Barcelona, España, 128p.
- Álvarez Venegas, V.H.; Leite, R.A. **1999**. Fundamentos estadísticos das fórmulas usadas para cálculo dos índices DRIS. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. 24:20-25.
- Ancora, G. **1986**. Globe Artichoke. *Biotechnology in Agriculture and Forestry*. 2:471-484
- Angeles, D. M.; Sumner, M. E.; Barbour, N. W. **1990**. Preliminary nitrogen, phosphorus and potassium DRIS norms for pineapple. *HortScience*. 25: 652-655.
- Aparicio-Tejo, P.M.; Lasa, B.; Frechilla, S.; Muro, J.; Quemada, M.; Arrese-Igor, C.; Lamsfu,s C. **2000**. La nutrición mineral en ecosistemas agrícolas y naturales y el medio ambiente. Actas VIII Simposio Nacional-IV Ibérico sobre Nutrición Mineral de las Plantas.
- Arizaleta, M.; Rodríguez, O.; Rodríguez, V. **2002**. DRIS foliar norms for coffee. *Acta Horticulturae*. 594:405-409.
- Arnon, D.I.; Stout, P.R. **1939**. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol*. 14(2):371–375.

BIBLIOGRAFÍA

Ashby, D.L. **1969**. Washing techniques for the removal of nutrient element deposits from the surface of Apple, cherry and peach leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94:266-268.

Azcón-Bieto, J. y Talón, M. **2000**. Fundamentos de Fisiología Vegetal Interamericana-McGraw-Hill, Madrid.

Azcón-Bieto, J.; Talón, M. **2008**. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2ª edición. Interamericana-McGraw-Hill; Madrid.

Baixauli, C.; Aguilar, J.M.; Giner, A.; Nájera, I.; Pomares, F.; Tarazona, F.; Estela, M. **2015**. Respuesta del cultivo de alcachofa multiplicada por semilla a diferente dosis de riego. XXXIII Congreso Nacional de Riegos. Universitat Politècnica de València.

Baldock, J.O.; Schulte, E.E. **1996**. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. *Agronomy Journal*. 88(3):448-456.

Bar-Yosef, B. **1991**. Fertilization under drip irrigation. En: Fluid Fertilizer Science and Simultaneous effects of ferulic and vanillic acids on peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase in soybean (*Glycine max*) roots. *Phyton*. 43:179-185.

Bar-Yosef, B. **1992**. "Fertilization under drip irrigation". En Fluid Fertilizer. Science and Technology. Ed.: D. A. Palgrave. Marcel Dekker, Nueva York, pp. 285-329.

Barbazán, M. **1998**. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencias de nutrientes. Facultad de Agronomía. Universidad de la república. Uruguay.

Barceló Coll, J.; Nicolás Rodrigo, G.; Sabater García, B.; Sánchez Tamés, R. **2001**. Fisiología Vegetal. Ed. Pirámide. Madrid.

Barker, A. V.; Pilbeam D. J. **2007**. Handbook of plant nutrition. CRC press. Boca Ratón; USA.

Bartual, R. **1985**. IV cursos internacionales de horticultura en climas áridos. Ministerio de Agricultura y Ministerio de Asuntos Exteriores, 5:1-25.

Basnizki, J.; Zohary, D. **1994**. Breeding of seed planted artichoke. *Plant Breeding Reviews*, 12:253-269.

Bataglia, O.C.; Dos Santos, W.R. **1990**. Efeito do procedimento de calculo e da população de referência nos índices do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). *Revista Brasileira da Ciencia do Solo*. 14:339-344.

Bates, T.E. **1971**. Factors affecting critical nutrient concentrations in plant and their evaluation; a review. *Soil Science*. 112:116-130.

Beaufils, E.R. **1957**. Research for rational exploitation of *Hevea brasiliensis* using a physiological diagnosis based on mineral analysis of various parts of the plant. *Fertilite*. 3:27.

Beaufils, E.R. **1971**. Physiological diagnosis. A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Fertilizer Society South Africa Journal*. 1:1-31.

Beaufils, E.R.; Sumner, M.E. **1976**. Application of the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and quality factors of sugarcane. *Proceedings of South African Sugar Technology Association*. 50:118-124.

Beaufils, E.R.; Sumner, M.E. **1977**. Effect of time of sampling on the diagnosis of N, P, K, Ca, and Mg requirements of sugarcane by the DRIS approach. *Proceedings of South African Sugar Technology Association*. 51: 62-67.

Beaufils, E.R. **1973**. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Science Bulletin*. Number 1. University of Natal; Durban; South Africa.

Bell, P.; Hallmark, W.; Sabbe, W.; Dombeck, D. **1995**. Diagnosing nutrient deficiencies in soybean, using M-DRIS and Critical Nutrient Level procedures. *Agronomy Journal*. 87:859-865.

Bertoni, G.; Morard, P.; Soubielle, C.; Llorens, J.M. **1992**. Growth and nitrogen nutrition of garlic (*Allium sativum* L) during bulb development. *Scientia Horticulturae*. 50:187-195.

Beverly, R.B. **1987**. Modified DRIS method for simplified nutrient diagnosis of 'valencia' oranges. *Journal of Plant Nutrition*. 10:1401-1408.

Bianco, V.V. **1990**. Carciofo (*Cynara scolymus* L.). In: Bianco V.V. and Pimpini F.(eds). *Orticoltura*. Patron Editore, Bologna (in Italian). pp. 209-251.

Brar, M.S.; Imas, P. **2009**. Nitrogen Use Efficiency and Potassium. Role of Potassium in Improving Nue. International Potash Institute. Cordination India.

Bremer, K. **1994**. Asteraceae: cladística y clasificación. Portland, Oregon, EE.UU.: Timber Press.

Brown, P.H.; Welch, R.M.; Cary, E.E. **1987**. Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*. 85:801-803.

Brownell, P.F. **1965**. Sodium as an essential micronutrient element for a higher plant. (*Atriplex vesicaria*). *Plant Physiology*. 40:460-468.

Brownell, P.F. **1967**. Sodium as an essential micronutrient element for a higher plants. *Plant Soil*. 28:161-164.

Brownell, P.F.; Bielig, L.M. **1996**. The role of sodium in the conversion of pyruvate to phosphoenolpyruvate in mesophyll chloroplasts of C4 plants. *Australian Journal of Plant Physiology*. 23:171-177.

Brownell, P.F.; Bielig, L.M.; Grof, C.P.L. **1991**. Increased carbonic anhydrase activity in leaves of sodium-deficient C4 plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, 18, 589-592.

Brownell, P.F.; Crossland, C.J. **1972**. The requirement for sodium as a micronutrient by species having the C4 dicarboxylic photosynthetic pathway. *Plant Physiology*, 49, 794-797.

Burt, C.K.; O'Connor, R.; Ruehr, T. **1998**. Fertigation. The irrigation. Training and Research Center. California Polytechnic State University. San Luis Obispo. CA.

Cabezas, A.B. **2013**. Estrategias dirigidas a retrasar el pardeamiento enzimático en productos destinados a la IV gama: alcachofas y patatas.

Cadahía, C. **2005**. Fertirrigación: Cultivos Hortícolas y Ornamentales. 3a Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

Cadahía, C.; Lucena, J.J. **2000**. Diagnóstico de nutrición y recomendación de abonado. En: Fertirrigación de cultivos hortícolas y ornamentales. 2ª edición revisada. Mundi-Prensa; Madrid. pp. 174-246.

Campbell, C.R. **2000**. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>

Cárdenas, G. **2006**. Alcachofa cualidades y producción. Ed. Ripalme. Lima. pp. 7-113.

Carvajal, J. **1978**. El diagnóstico del estado de nutrición de los cultivos. *Agronomía Costarricense*. 2 (2):175-183.

Casas, A. **1995a**. El diagnóstico foliar del pimiento. *H. F. Hortoinformación*. 9: 46-49.

Casas, A. **1995b**. El análisis foliar del pepino. *H. F. Hortoinformación*. 11: 42-46.

Casas, A. **1996**. El análisis foliar del tomate. *H. F. Hortoinformación*. 70: 41-46.

Casas, A. **2000**. El cultivo de Alcachofa. *Agro Enfoque*. 111:13.

Casas, A. **1999**. El análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular. Caja Rural de Almería. Almería.

Centro de Información de Recursos Naturales. **1988**. Requerimientos de clima y suelo: chacras y hortalizas. Santiago, CIREN - CORFO.

Champagnol, F. **1990**. Rajeunir Le Diagnostic Foliare. *Progrès Agriculture Viticulture*. 107: 343- 351.

Chapin III, F.S. **1980**. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematic*. 11:233-260.

Chevallier, A. **1996**. The encyclopedia of medicinal plants. DK Publishing, New York. pp 96–97

Chiriboga, A.B. **2013**. Investigación de la alcachofa, y su aplicación gastronómica. Tesis. Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad De Turismo, Hotelería y Gastronomía. Escuela de Gastronomía. Ecuador.

Clarkson, D.; Hanson, T. **1980**. The mineral nutrition of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 31:239-298.

Cline, M.G. **1944**. Principles of Soil Sampling. *Soil Science*. 58:275-288.

Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM). Anuario de Estadística agraria **2012**. Disponible en: www.carm.es

Curci, P.L.; De Paola, D.; Danzi, D.; Vendramin, G.G.; Sonnante, G. **2015**. Complete chloroplast genome of the multifunctional crop globe artichoke and comparison with other Asteraceae. *PLoS ONE* 10 : e0120589. 10.1371 / journal.pone.0120589

De Falco, B.; Incerti, G.; Amato, M.; Lanzotti, V. **2015** Artichoke: botanical, agronomical, phytochemical, and pharmacological overview.

Phytochemistry Reviews. 14(6):993-1018. DOI. 10.1007/s11101-015-9428-y

De-Miguel, M.D.; Arcas, N.; Molero, J. **2001**. Competitividad en el sector agroalimentario. COEC.

Delas, J. **1990**. Analyse Foliaire, Un Complément Utile. Viti de la Vigne Au Vin. 139: 59-60.

Dellacecca, V. **1990**. Cardo (*Cynara cardunculus* L.) En: Bianco VV, Pimpini M, editores. Orticoltura. Bologna: Patrón. pp. 252-258.

Diputación de Valencia (DIVAL). **2014**. Guía de cultivo para huertos urbanos.

Dow, A. I.; Roberts, S. **1982**. Proposal: Critical nutrient ranges for crop diagnosis. *Agronomy Journal*. 74 :401-403.

Elwali, A.M.O.; Gascho, G.J. **1984**. "Soil testing; foliar analysis and DRIS as guide for sugarcane fertilization". *Agronomy Journal*. 76:466-470.

Epstein, E. **1972**. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Ed: John Wiley and Sons; Inc. Nueva York.

Epstein, E.; Bloom, A. **2006**. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2.ed. Londrina: Editora Planta. 401p.

Escano, C.; Jones, C.; Uehara, G. **1981**. Nutrient diagnosis in corn grown on Hydric Dystrandepths. II. Comparison of two systems of tissue diagnosis. *Soil Science Society of America Journal*. 45:1140-1114.

Eskew, D.L.; Welch, R.M.; Cary, E.E. **1983**. Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly for all higher plants. *Science*. 222:621-623.

Eskew, D.L.; Welch, R.M.; Cary, E.E. **1984**. Nickel in higher plants: Further evidence for an essential role. *Plant Physiology*. 76:691-693.

BIBLIOGRAFÍA

Espelta, J.M.; Isart, J.; Salleras, J.M.; Murull, A.; Nadal, M.; Ros, M.A.; Fábregues, C. **1984**. La alcachofa (I parte): Cultivo; plagas y enfermedades. *Horticultura*. 15:7-14.

Evans, G.C. **1972**. The quantitative análisis of plant growth. En: Studies in ecology. Vol 1. Blackwell Scientific Publication. London. pp. 45-68.

Evanylo, G.; Sumner M.E.; Letsch, W.S. **1987**. Preliminary development and testing of DRIS soil norms for soybean production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 18:1355-1377.

Eymar, E.; Cadahía, C.; Africa, S. **2001**. Foliar nutrient reference levels obtained in hydroponic cultures as preliminary norms for dris to fertigate conifers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32(1):267-282.

Fageria, N.K.; Baligar, V.C. **1999**. Growth and nutrient concentrations of common bean; lowland rice; corn; soybean; and wheat at different soil pH on an inceptisol. *Journal of Plant Nutrition*. 22:1495-1507.

Fageria, V.D. **2001**. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*. 24(8):1269-1290.

Failla, O.; Bogoni, M.; Porro, D.; Stringari, G. **1997**. Soil and Leaf Analysis: Effect of Pedo-Climatic, Cultural and Genetic Factors on Their Calibration and Interpretation. *Acta Horticulture*. 448: 225-232.

Felles Leandro, D.U. **2009**. Determinación de las curvas de extracción de nutrientes N, P y K en dos cultivares de alcachofa sin espinas (*Cyanara scolymus* L.) bajo condiciones del Valle Chancay. Lima (Peru). 145 p.

Ferreira, M. **1993**. Nutrición y Abonamiento de Hortalizas. Brasil. Asociación brasilera para la investigación de potasio y fósforo (POTAFOS). Primera edición. Pág. 179-183.

Fiori, A.; Beguinot, A. **1904**. *Helichrysum*. In Flora Analitica d'Italia. Padova. 3:280-283.

Foury C. **1967**. Study of the floral biology of the artichoke *Cynara scolymus* L. with application to selection. Part I (in French). *Annales De L'amelioration Des Plantes*, 17: 357–373.

Foury, C. **1989**. Recursos genéticos y la diversificación de l'artichaut (*Cynara scolymus* L.) *Acta Horticulturae*. 242 :155-166.

Gálvez, M.I. **2014**. Paquete tecnológico del manejo agronómico del cultivo de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) en condiciones del Valle de Virú.

García, N. **2014**. Nuevas Variedades y Transformados de Alcachofa en la Región de Murcia. Tesis doctoral. Universidad de Murcia.

García-Escudero, E.; Romero, I.; Benito, A.; Domínguez, N.; Martín, I. **2013**. Reference Levels for Leaf Nutrient Diagnosis of Cv. 'Tempranillo' Grapevine (*Vitis Vinifera* L.) In The Rioja Appellation. *Communication in Soil Science Plant Analysis*. 44:645-654.

García-Serrano, P.; Ruano, S.; Lucena, J.J.; Nogales, M. **2010**. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; Madrid. pp.119.

García, J.; Contreras, F.; Andújar, M.; Martínez, F. **2013**. Evaluación económica y de la eficiencia en el uso del agua en el cultivo de la alcachofa. *Vida Rural*. 359:58-63.

Gatto, A.; De Paola, D.; De Bagnoli, F.; Vendramin, G.G.; Sonnante, G. **2013**. Estructura de la población de *Cynara cardunculus* complejo y el origen de la misma especie cultivos de alcachofa y cardo . *Ann Bot*. 112 :855-865

Giaconi, V.; Escaff, M. **1999**. Cultivo de las hortalizas. 14a.ed. Santiago, Editorial Universitaria. 334 p.

Gierth, M.; Mäser, P. **2007**. Potassium transporters in plants: Involvement in K⁺ acquisition; redistribution and homeostasis. *Federation of European Biochemical Societies Letters*. 581:2348-2356.

Gil Ortega, R. **2001**. Alcachofa. En: La Horticultura Española. Eds. F. Nuez y G. Llacer. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas (SECH) y Ediciones de Horticultura, S.L.pp.90-92.

Gil-Albarellos, C.; Monfort, E.; López, E.; Fernández, L.; Gómez, N. **2011**. Normas técnicas de producción integrada. Alcachofa. Conserjería de Agricultura; ganadería y Medio Ambiente. La Rioja. pp.1-14.

Gil-Ortega, R. **1999**. El cultivo de la alcachofa. Variedades de semilla. Hojas Divulgadoras Nº 2097. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. pp.1-47.

Giménez Montesinos, M. **2007**. Toma de muestras en el análisis de suelo e interpretación de los datos. *Vida Rural*. 254:40-43.

Giménez Montesinos, M. **2016**. Comunicación personal.

Giménez, M.; Martínez, J.; Ferrández, M.; Oltra, M.A.; Madrid, R.; Rodríguez, V.; Rodríguez, O. **2004**. Initial values of dris norms for artichoke cv. Violeta de Provenza (*Cynara scolymus* L.) in the provinces of Alicante and Murcia. *Acta Horticulturae*. 660:285-291.

Giménez, M.; Martínez, J.; Ferrández, M.; Oltra, M.A.; Madrid, R.; Rodríguez, V.; Rodríguez, O. **2006**. Análisis foliar; interpretación y normas DRIS para la viticultura en el sureste español. Aplicaciones informáticas. I Congreso Internacional de Uva de Mesa. Ed. Fund. Ruralcaja. Valencia.

Giménez, M.; Martínez, J.; Ferrández, M.; Oltra, M.A.; Madrid, R.; Rodríguez, V.; Rodríguez, O. **2006**. Análisis foliar; interpretación y normas DRIS para la viticultura en el sureste español. Aplicaciones informáticas. I Congreso Internacional de Uva de Mesa. Ed. Fund. Ruralcaja. Valencia.

Gimeno, H. **2009**. Análisis Foliar en cítricos: Resultados preliminares del 'Siddra' (Sistema Integrado de Diagnóstico y de Recomendaciones de

Abonado) en la interpretación foliar de los cítricos en el grupo varietal Navel. *Vida rural*, Nº 300, 2009, pp. 9-11 ISSN 1133-8938.

Giner, J.F. **2015**. Análisis Foliar; Interpretación y Obtención de las Normas DRIS para la Viticultura de la Comarca de Utiel-Requena. Estudio de sus Relaciones con los Parámetros que Caracterizan su Aptitud Enológica. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Grier, J.D. **1966**. Preparation of plant material for plant analysis. *S. Ass. Pffic. Anal. Chem.* 49:292-298.

Grof, C.P.L.; Johnston, M.; Brownell, P.F. **1986a**. In vivo chlorophyll a fluorescence in sodium-deficient C4 plants. *Australian Journal of Plant Physiology*. 13:589-595.

Grof, C.P.L.; Johnston, M.; Brownell, P.F. **1986b**. Free amino acid concentrations in leaves of sodium-deficient C4 plants. *Australian Journal of Plant Physiology*. 13:343-346.

Grof, C.P.L.; Johnston, M.; Brownell, P.F. **1989**. Effect of sodium nutrition on the ultrastructure of chloroplasts of C4 plants. *Plant Physiology*. 89:539-543.

Guindani, R.H.P.; Anghinoni, I.; Nachtigall, G.R. **2009**. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 33:109-118.

Gutiérrez, F.; Rubio, G.; Álvarez, R. **2005**. Diagnóstico de la disponibilidad de nutrientes. En: Fertilización de Cultivos de Granos y Pasturas. Diagnóstico y Recomendación en la Región Pampeana. Ed. Facultad de Agronomía (UBA). Buenos Aires; Argentina. pp.27-36.

Hallmark, W. **1988**. Comparison of DRIS and M-DRIS norms for diagnosing P and K deficiencies in soybeans. *Better Crops with Plant Food*. 72:20-21.

Hallmark, W.; deMooy, C.; Morris, H.; Pesek, J.; Shao, K.; Fontenot, J. **1988**. Soybean phosphorus and potassium deficiency detection as influenced by plant growth stage. *Agronomy Journal*. 80:586-591.

Hallmark, W.B.; Beverly, R.B. **1991**. Review – An update in the use of the Diagnosis and Recommendation Integrated System. *Journal of Fertilizer Issues*. 8:74-88.

Havlin, J.; Beaton, J.; Tisdale, S.; Nelson, W. **2005**. Soil Fertility and Fertilizers. 7th edition. Ed. Pearson Education Inc. Upper Saddle River; New Jersey; EE.UU.

Hernández-Gil, R. **2002**. Nutrición Mineral de las Plantas. En: Libro sobre Botánica On Line. Ed. Fisiología Vegetal; Departamento de Botánica; Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela. <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>

Holland, D. **1969**. Component analysis: An aid to the interpretation of data. *Experimental Agriculture*. 5:151-164.

Hossain, D.; Hanafi, M.; Talib, J.; Hamdan, J. **2010**. Effects of nitrogen; phosphorus and potassium levels on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) growth and photosynthesis under nutrient solution. *Journal of Agricultural Science*. 2:49-56.

Hundal, H.S.; Singh, D.; Brar, J.S. **2005**. Diagnosis and recommendation integrated system for monitoring nutrient status of mango trees in submountainous area of Punjab; India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36(15):2085-2099.

Idrisi, Z. **2005**. La revolución agrícola musulmana y su influencia en Europa. Manchester, Reino Unido: Fundación para la Ciencia, Tecnología y civilización FSTC).

Ierna, A.; Rosario, P.; Mauro, R.P.; Mauromicale, G. **2012**. Improved yield and nutrient efficiency in two globe artichoke genotypes by balancing nitrogen and phosphorus supply. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA. 32(3):773-780.

Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). **2002**. Cultivo de alcachofa sin espinas. Lima, Perú. pp. 20-38.

Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIA). **2001**. Cultivo de Alcachofa sin espinas. Lima, Perú.

Irañeta, J. **1996**. Fertilización de la Alcachofa. I.T.G. Agrícola. Pamplona. I Jornada Técnicas de Alcachofa. Tudela. Navarra. España.

Jara, Y.R. **2013**. Tecnología del procesamiento de Conserva de alcachofa (*Cynara scolymus*). Trabajo final de carrera. Universidad Nacional "Jose Faustino Sanchez Carrion. Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental.

Johnston, M.; Grof, C.P.L.; Brownell, P.F. **1988**. The effect of sodium nutrition on the pool sizes of intermediates of the C4 photosynthetic pathway. *Australian Journal of Plant Physiology*. 15:749-760.

Johnston, M.; Grof, C.P.L.; Brownell, P.F. **1984**. Responses to ambient CO2 concentrations by sodium-deficient C4 plants. *Australian Journal of Plant Physiology*. 11:137-141.

Jones Jr., J.B.; Wolf, B.; Mills, H.A. **1991**. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling; Preparation; Analysis; and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing; Athens; GA.

Jones, C. **1981**. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 12:785-794.

Jones, C.; Jacobsen, J. **2001**. Plant Nutrition and Soil Fertility. En: Nutrient Management Module No. 2. Ed: Montana State University;Extension Service;Montana. USA. pp. 12.

Jones, J. B.; Wolf, B.; Mills H. A. **1991**. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, Georgia. 213p.

Kafkafi, U.; Tarchitzky, J. **2012**. Fertirrigación. Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. 1ª edición. Ed. IFA; París; Francia; e IIP; Horgen; Suiza.

Kalaycia, M.; Torunb, B.; Ekerb, S.; Aydina, M.; Ozturkb, L.; Cakmak, I. **1999**. Grain yield; zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc-deficient calcareous soil in field and greenhouse. *Field Crops Research*. 63:87- 98.

Khayyo, S.; Pérez Lotz, J.; Ramos, C. **2003**. Application of the Nmin; nitrogen fertilizer.

Klein, I.; Strime, M.; Fanberstein, L.; Mani, Y. **2000**. Irrigation and fertigation effects on phosphorus and potassium nutrition of wine grapes. *Journal of Grapevine Research*. 39(2):55-62.

Kovacik, J.; Klejdus, B.; Backor, M.; Repcak, M. **2007**. Phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic compounds accumulation in nitrogen-deficient *Matricaria chamomilla* leaf rosettes. *Plant Science*. 172:393-399.

La Malfa, G.; Foury, C. **1971**. Aspects de la multiplication végétative de l'artichaut dans le bassin occidental de la méditerranée. *Pépiniéristes, Horticulteurs, Maraîchers*. 114: 19-29.

Letzsch, W.S.; Sumner, M.E. **1984**. Effect of population size and yield level in selection of diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15: 997-1006.

Litke, K.M.; Zabowaki, D. **2007**. Influence of calcium fertilization on Douglas-fir foliar nutrition; soil nutrient availability; and sinuosity in coastal Washington. *Forest Ecology and Management*. 247:140-148.

López, J.; González, A.; Vicente, F.E.; Condés, L.F.; Fernández, J.A. **2007**. Artichoke production in the Province of Murcia (SE Spain). *Acta Horticulturae*. 630:223-227.

Lucena, J.J. **1997**. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants. A critical review. *Mineral Nutrition and Fertilizer Use for Deciduous Fruit Crops. Acta Horticulturae*. 448:179-191.

- Macua, J.I.; Arce P.; López B. **1991**. Multiplicación de la alcachofa en el Valle Medio del Ebro. Navarra Agraria. pp.3-5.
- Macua, J.I. **1996**. Colección de variedades de alcachofa. 1ª Jornadas Técnicas de Alcachofa. Tudela. Navarra. pp.151-162.
- Macua, J.I. **2009**. Il carciofo in Spagna. En: R. Angelini, N. Calabrese and I. Ponti (eds.) Il carciofo e il cardo. Script, Bolonia. pp.370-377.
- Macua, J.I.; Arce, P.; López, B. **1991**. Multiplicación de la alcachofa en el Valle Medio del Ebro. Navarra Agraria, 3-5.
- Macua, J.I. **2007**. New Orizons for Artichoke Cultivation. *Acta Horticulturae*. 730:39-48.
- Macy, P. **1936**. The quantitative mineral requirements of plants. *Plant Physiology*. 11:749-764.
- Madrid, R.; Boronat, M.; López, A. **1999**. Ajuste de las disoluciones nutritivas en los cultivos sin suelo. *Informes FEOCAM*. 25:36-40.
- Magnífico, V.; Lattanzio, V. **1979**. Ritmo di asportazione di elementi nutritivi (N, P e K) nelle diverse fasi del ciclo di una cardifolia. *Rivista di Agronomia*. 4: 273-281.
- Malavolta, E. **2006**. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; de Oliveira. S.A. **1997**. Avaliação do estado nutricional das plantas: principios e aplicações. Ed. POTAFOS, 2da ed., rev. e actual. Piracicaba, Brasil.
- Maroto, B. **2003**. El Cultivo de la Alcachofa: Nuevas Tecnologías Productivas. Disponible en: www.eumedia.es/articulos/vr/hortofrut/125alcachofa.htm.
- Maroto, J.V. **1983**. Horticultura herbácea especial. 4ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Maroto, J.V. **1995**. Horticultura herbácea especial. 4ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Marschner, H. **1995**. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Ed:Academic Press. New York.

Marschner, H.V.; Romheld, V.; Horst, W.J.; Martin, P. **1986**. Rootinduced changes in the rhizosphere: importance for the mineral nutrition of plants. *Z Pflanzenemaehr Bodenk.* 149:441-456

Martin-Prevel, P.; Gagnard, J.; Gautier, P. **1987**. Plant Analysis as a Guide to the Nutrient Requirements of Temperate and Tropical Crops. Ed. P. Martinprevel; J. Gagnard; Y P. Gautier. Lavoisier Publishing Inc. New York.

Martínez, J.; Giménez, M.; Ferrández, M.; Oltra, M.A.; Madrid, R.; Rodríguez, V.; Rodríguez, O. **2004**. Initial Values Of Dris Norms For Artichoke Cv. Violeta De Provenza (*Cynara Scolymus* L.) In The Provinces Of Alicante And Murcia. *Acta Hort.* 660:435-441.

Massart, D.L.; Vandeginste, B.M.G.; Buydens, L.M.C.; De Jong, S.; Lewi, P.J.; Smeyers-Verbeke, J. **1997**. Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part A. Elsevier Amsterdam. 886 pp.

Mccray, J.M.; Ji, S.; Powell, G.; Montes, G.; Perdomo, R. **2010** Sugarcane Response to DRIS-Based Fertilizer Supplements in Florida. *Journal of Plant Nutrition.* 196:66-75.

Mengel, K.; Kirkby, E.A. **1987**. Principles of plant nutrition. Fourth edition. International Potash Institute, Berne, Switzerland.

Mengel, K.; Kirkby, E.A. **2001**. Principles of Plant Nutrition. 5th Edition. Ed: Kluwer Academic Publishers. Dordrecht; The Netherland.

Mercader Soto, J. **2015**. Efectos de la aplicación de brasinoesteroides y giberelinas sobre la producción de alcachofa" Blanca de Tudela".

Mercasa, **2011**. Alimentación en España 2011. Disponible en: http://www.mercasa-ediciones.es/alimentacion_2011/pdfs/pag_130-209_Frutas.pdf

Miguel, A.; Baixauli, C.; García, M.; Maroto, J.V.; Pomares, F. **2001**. Cultivo de alcachofa procedente de semilla. Ed. Generalitat Valenciana. CAPA. Valencia. pp.10-20.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente. **2012**. Anuario de Estadística del MAGRAMA 2012. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es>

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente. **2014**. Anuario de Estadística del MAGRAMA 2014. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es>

Monge, E.; Montañés, L.; Val, J.; Sanz, M. **1995**. A comparative study of the DOP and the DRIS methods; for evaluating the nutritional status of peach trees. *Acta Horticulturae*. 383:191-199.

Montañés, L.; Heras, L.; Abadía, J.; Sanz, M. **1993**. Plant analysis interpretation based on a new index. Deviation from optimum percentage (DOP). *Journal of Plant Nutrition*. 16(7): 289-1308.

Montañés, L.; Monge, E.; Val, J.; Sanz, M. **1995**. Interpretative possibilities of plant analysis by the DOP index. *Acta Horticulturae*, v. 383, p. 165-171.

Mortvedt, J.J.; Giordano, P.M.; Lindsay, W.L. **1972**. Micronutrients in agriculture. SSSA, Inc. Madison; Wis.

Mourão Filho, F.A.A. ; Azevedo, J.C. **2003**. DRIS norms for 'Valencia' sweet orange on three rootstocks. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 38:85-93.

Mourão Filho, F.A.A. **2004**. DRIS: Concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. *Scientia Agricola*. 61(5):550-560.

Mulder, D. **1953**. Les elements mineurs en culture fruitiere. Convegno Nazionale Fruitticoltura. Montana de Saint Vincent. pp.118-198.

Munson, R.; Nelson, W. **1990**. Principles and Practices in Plant Analysis. In: Soil Testing and Plant Analysis. 3a ed. SSSA Book Series: 3. *Soil Science Society of America*. Inc. Madison, W.I. (E.U.A.).

Munson, R.D.; Nelson, W.L. **1986**. Principles and Practices in Plant Analysis. En: Soil Testing and Plant Analysis Walsh L.M.; Beaton J.D. (Eds.). 6th Edition. SSSAJ. Madison; Wisconsin; USA. pp. 223-248.

Obiano, M. P. **2015**. Mousse untable de extractos de alcaucil. Universidad FASTA. Licenciatura en nutrición. Argentina.

Oltra Cámara, M.A. **2014**. El nuevo paradigma de la fertirrigación. *Agricultura: Revista agropecuaria*. 978:754-758.

Oltra Cámara, M.A.; Mangas Martín, V.J.; Giménez Montesinos, M.; Ferrández Cámara, J.M.; Giner Gonzálbez, J.F. **2004**. La clorosis férrica en limonero Fino y su diagnóstico visual. Actas del X Simposio Ibérico de Nutrición Mineral de las Plantas. Lisboa; Portugal. ISBN 972-9348-11-1

Oltra Cámara, M.A.; Mangas Martín, V.J.; Martínez Tomé, J.; Ferrández Cámara, J.M.; Gimenez Montesinos, M. **2007**. Normas DRIS para el control nutricional de los cítricos de la variedad Washington Navel. Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT) **2013**. Disponible en: <http://faostat.fao.org>

Osman, K. **2013**. Soils: Principles; Properties and Management. Ed. Osman K.T. Springer Science + Business Media; Dordrecht; The Netherlands.

Parent, L.E.; Cambouris, A.N.; Muhawenimana, A. **1994a**. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. *Soil Science Society of American Journal*. 58:1432-1438.

- Parent, L.E.; Dafir, M.A. **1992**. Theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117:239-242.
- Parent, L.E.; Isfa, D.; Tremblay, N.; Karam, A. **1994b**. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 119, n. 3, p. 420-426.
- Parent, L.E.; Karam, A.; Visser, S.A. **1993**. Compositional nutrient diagnosis of the greenhouse tomato. *HortScience*. 28:1041-1042.
- Parent, L.E.; Poirier, M.; Aselin, M. **1995**. Multinutrient diagnosis of nitrogen status in plants. *Journal of nutrition*. 18(5):103-1025.
- Parry, M.A.; Flexas, J.; Medrano, H. **2005**. Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*. 147:211-226.
- Pérez, C.A., **2006**. Actividad agrícola en el Perú: La alcachofa. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos34/alcachofa-peruana/alcachofa-peruana.shtml>
- Pignone, D.; Sonnante, G. **2004**. Wild artichokes of south Italy: did the story begin here? *Genetic Resources and Crop Evolution*. 51: 577-580.
- Pignone, D.; Sonnante, G. **2009**. Origine ed evoluzione. AA.VV. Il cardofo e il cardo. Coordinamento scientifico N. Calabrese. Collana cultura & coltura. Ed. Script Bologna, pp. 2-11.
- Pimentel Gomes, F. **1957**. Análise conjunta de 38 experimentos de adubação de cana de açúcar. *Rev. Agric.* 32:113-126.
- Piper, C.S. **1942**. Soil and plant analysis. The University of Adelaide, Adelaide, Australia.
- Pomares, F. **1991**. Fertilización nitrogenada, fosforada y potásica en alcachofas en la Comunidad Valenciana. *Agrícola Vergel*. pp.623-626.

Pomares, F.; Baixauli, C.; Aguilar, J.M.; Giner, A.; Tarazona, F.; Gómez, R.; Albiach, R. **2004**. Effects of water and nitrogen fertilization on seed grown globe artichoke. *Acta Horticulturae*. 660:303-305.

Porta J.; López-Acevedo M.; Roquero C. **1994**. Edafología para la Agricultura y el medio Ambiente. Ed. Mundi- Prensa. Madrid, pp. 807.

Portis, E.; Acquadro, A.; Comino, C.; Mauromicale, G.; Saba, E.; Lanteri, S. **2005**. Genetic structure of island populations of wild cardoon [*Cynara cardunculus* L. var. *sylvestris* (Lamk) Fiori] detected by AFLPs and SSRs. *Plant Sci*. 169:199-210.

Prevot, P.; Ollagnier, A. **1956**. Méthode d'utilisation du diagnostic foliaire. *Anal. Phes et Probl. Fum. Min.* R1110 Paris. pp.177-192.

Prevot, P.; Ollagnier, M. **1957**. Methode d'utilisation du diagnostic foliaire. Analyse des Plantes et Problemes des Engrais Mineraux. I.R.H.O. Paris. pp.177-192.

Pyo, Y.; Gierth, M.; Schroeder, J.I.; Cho, M.H. **2010**. High-affinity K⁺ transport in Arabidopsis: AtHAK5 and AKT1 are vital for seedling establishment and postgermination growth under low K⁺ conditions. *Plant Physiology*. 153:863-875.

Rincón L.; Pérez A.; Pellicer C.; Abadía A.; Sáez J. **2007**. Nutrient uptake by artichoke. *Acta Horticulturae*. 730:287-292.

Rincón, L. **1996**. Riego y fertilización de la alcachofa en riego por goteo. I Jornadas Técnicas de alcachofa. Tudela. Navarra. pp. 191-204.

Rincón, L.; Pérez, A.; Pellicer, C.; Abadía, A.; Sáez, J. **2007**. Nutrient Uptake by Artichoke. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA). Murcia.

Rincón, L.; Pérez, A.; Pellicer, C.; Sáez J. **1998**. Crecimiento y absorción de nutrientes de la alcachofa. *Actas de Horticultura*. 26:326-332.

Robinson, J.B. **2005**. Critical Plant Tissue Values and Application of Nutritional Standards for Practical Use in Vineyards. En: Proceedings of the Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium. Eds. L.P. Christensen and D.R. Smart. American Society for Enology and Viticulture; Davis.

Rodríguez, O.; Rodríguez, V. **2000**. Desarrollo; determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 17:449-470.

Rodríguez, V. **2003**. Avaliação do estado nutricional e da fertilidade do solo na cultura do plátano (Musa AAB subgrupo Plátano cv. Hartón). Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Rodríguez, V.; Malavolta, E.; Sánchez, A.; Rodríguez, O.; Lavoranti O.; Guerra, E. **2007**. Soil and plant reference norms for evaluating Horn plantain nutritional status. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 38:1371-1383.

Rojas, C. **2011**. Cultivo de alcachofa (*Cynara cardunculus* sub *scolymus* L.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias; centro de investigación especializado en agricultura del desierto y altiplano (CIE), INIA URURI, Región de Arica y Parinacota. Ministerio de Agricultura. Informativo nº56.

Romero Laibarra, I. **2015**. Análisis de limbo y pecíolo para el diagnóstico nutricional de la vid (*Vitis vinifera* L.); cv. Tempranillo. Tesis doctoral. Universidad de la Rioja.

Rottemberg, A.; Zohary, D. **1996**. The wild ancestry of the cultivated artichoke. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 43: 53-58.

Rottemberg, A.; Zohary, D. **2005**. Wild genetic resources of cultivated artichoke. *Acta Horticulturae*. 681: 307- 301.

Rottenberg, A.; Zohary, D.; Nevo, E. **1996**. Isozyme relationships between cultivated artichoke and the wild relatives. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 43: 59-62.

Ruiz, P. **1980**. Estadística aplicada a la investigación agraria. Serv. Pub. Ministerio Agricultura. Madrid. 369 pp.

Ruiz Hernández, M.V. **2013**. La gestión Sostenible del cultivo de la alcachofa en el Sureste español. Trabajo fin de grado. Universidad Politécnica de Cartagena.

Ryder, E.J.; DeVos, N.E.; Bari, M.A. **1983**. The globe artichoke (*Cynara scolymus* L.). *HortScience*. 18: 646-653.

Sala, F.; Carpintero, C. **1967**. La Alcachofa. Publicaciones del MAPA. Madrid.

Salisbury, F.B.; Ross, C.W. **1992**. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont - California.

Sanz, M. **1999**. Evaluation of interpretation of DRIS system during growing season of the peach tree: Comparison with DOP method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 30:1025-1036.

Sema, A.; Maiti, C.S.; Singh, A.K.; Bendangsengla, A. **2010**. DRIS nutrient norms for pineapple on alfisols of india. *Journal of Plant Nutrition*. 33(9):1384-1399.

Serra, A.; Marchetti, M.; Ensinas, S.; Morais, H.; Conrad, V.; Guimarães, F.; Barbosa, G. **2014**. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) to Assess the Nutritional State of Cotton Crop in Brazil. *American Journal of Plant Sciences*. 5(4):508-516. DOI: 10.4236/ajps.2014.54065.

Serra, A.P.; Marchetti, M.E.; da Silva Candido, A.C.; Dias, A.C.R.; Christoffoleti, P.J. **2011**. "Glyphosate Influence on Nitrogen, Manganese, Iron, Copper and Zinc Nutritional Efficiency in Glyphosate Resistant Soybean." *Ciencia Rural*. 41(1):77-84.

- Serra, A.P.; Marchetti, M.E.; Rojas, E.P.; Vitorino, A.C.T. **2012**. Beaufils ranges to assess the cotton nutrient status in the southern region of Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36(1):171-182.
- Serra, A.P.; Marchetti, M.E.; Vitorino, A.C.T.; Novelino, J.O.; Camacho, M.A. **2010a**. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 34(1):97-104.
- Serra, A.P.; Marchetti, M.E.; Vitorino, A.C.T.; Novelino, J.O.; Camacho, M.A. **2010b**. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos CHM; CND e DRIS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 34(1):105-113.
- Serrano, Z. **2006**. La Alcachofa. Ed. Junta de Andalucía. pp. 49-58.
- Shenker, M.; Plessner, O.E.; Tel-Or, E. **2004**. Manganese nutrition effects on tomato growth; chlorophyll concentration; and superoxide dismutase activity. *Plant Physiology* 161:197-202.
- Silva, H; Rodríguez, J. **1995**. Diagnóstico Del Estado Nutricional. Fertilización De Plantaciones Frutales. En :Agricultura. Facultad De Agronomía; Pontificia Universidad Católica De Chile. Santiago de Chile; Chile.
- Silva, M.A.C.; Natale, W.; Malheiros, E.B.; Pavinato, A. **2009**. Estabelecimento e validação de normas DRIS para a cultura do algodão no centro-oeste do Brasil. *Acta Scientiarum Agronomy*. 31(1):93-99.
- Silveira, C.P.; Nachtigall, G.R.; Monteiro, F.A. **2005**. Testing and validation of methods for the diagnosis and recommendation integrated system for signal grass. *Scientia Agricola*. 62(6):520-527.
- Smith, P.F. **1962**. Mineral Analysis of Plant Tissues. *Annual Review of Plant Physiology*. 13: 81-108.

Sonnante, G.; Pignone, D.; Hammer, K. **2007**. The Domestication of Artichoke and Cardoon: From Roman Times to the Genomic Age. *Annals of Botany*. pp.1-6.

Sumner, M.E; Beaufils, E.R. **1975**. Diagnosis of the N, P and K requirements of sugarcane irrespective of plant age and season using Beaufils system (DRIS). Preliminary observations. *Proceedings of the South African Sugar Technology Association*. 49:137-141.

Sumner, M.E. **1975**. An evaluation of Beaufils Physiological Diagnosis technique for determining the nutrient requirement of crops. Univ. of Natal, Pietermarziburg, Sur África. *Soil Science Bulletin*. 5:437-446

Sumner, M.E. **1977a**. Application of Beaufils diagnostic indices to corn data published in literature irrespective of age and conditions. *Plant and Soil*. 46:359-363.

Sumner, M.E. **1977b**. Preliminary N, P and K foliar diagnosis norms for soybean. *Agronomy Journal*. 69:226-230.

Sumner, M.E. **1978**. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. *Agronomy Journal*. 71:343-348.

Sumner, M.E. **1987**. Field experimentation. Changing to meet current and future needs. In: *Soil Testing: Sampling Correlation, Calibration and Interpretation*, SSSA Special Publication N° 21. *Soil Science Society of America Inc. Madison, W.I. (E.U.A.)*.

Sumner, M.E.; Beaufils, E.R. **1975**. Diagnosis of the N; P and K requirements of sugarcane irrespective of plant age and season using Beaufils' system (DRIS): preliminary observations. *Proceedings of the South Africa Sugar Technologists' Association*. 49:137-141.

Suzuki, L.S.; Herrig, V.; Ferrarese, M.LL.; Rodrigues, J.D.; Ferrarese-Filho, O. **2003**. *Technology*. Ed. Palgrave. D.A. Marcel Dekker. Inc. New York. pp 285-329.

Terry, N.; Zayed, A.M. **1995**. Physiology and biochemistry of leaves under iron deficiency. In Iron Nutrition in Soils and Plants. (J. abadía ed). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. ISBN: 0-7923- 2900-7: 283-294.

Triola, M. **1999**. Introdução à estatística. Ed. LTC. Rio de Janeiro. p 127-129.

Ulrich, A. **1948**. Plant analysis. Methods and interpretation of results. En: Diagnostic Techniques for Soils and Crops. Ed. H. B. Kitchen; Washington; The American Potash Institute. pp. 157-198.

Wadt, P.G.S. **1996**. Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação do estado nutricional de plantios de eucalipto. Viçosa; MG; Universidade Federal de Viçosa; (Tesis doctoral).

Wadt, P.G.S.; Novais, R.F.; Álvarez, V. V.H.; Bragança, S.M. **1999**. Alternativas de aplicação do "DRIS" à cultura de café Conilon (*Coffea canephora* Pierre). *Scientia Agricola*. 56(1):188-199.

Walworth, J.L. **1985**. The development of diagnostic soil and foliar norms for alfalfa. Ph. D. Dissertation. University of Georgia. Athens. Ga. (E.U.A.). 167p.

Walworth, J.L.; Sumner M.E. **1987**. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Advance in Soil Science*. 6:149-188.

Walworth, J.L.; Sumner, M.E. **1988**. Foliar Diagnosis. A Review. *Advances in Plant Nutrition*. 3:139-241.

Walworth, J.L.; Sumner, M.E.; Isaac, R.; Plank, C. **1986**. Preliminary DRIS norms for alfalfa in the Southeastern United States and a comparison with Midwestern norms. *Agronomy Journal*. 78: 1046-1052.

Walworth, J.L.; Woodward, H.J.; Sumner, M.E. **1988**. Generation of corn tissue norms from a small high-yield data base. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 19:563-577.

White, P.J.; Brown, P.H. **2010**. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany*. 105:1073–1080.

Wiklund, A. **1992**. The genus *Cynara* L. (Asteraceae-Cardueae). *Botanical journal of the Linnean Society*. 109: 75–123.

Xiang-wen, P.; Wen-bin, L.; Qiu-ying, Z.; Yan-hua, L.; Ming-shan, L. **2008**. Assessment on Phosphorus Efficiency Characteristics of Soybean Genotypes in Phosphorus-Deficient Soils. *Agricultural Sciences in China*. 7:958-969.

Zhao, D.; Reddy, K.R.; Kakani, V.G.; Read, J.J.; Carter, G.A. **2003**. Corn (*Zea mays* L.) growth leaf pigment concentration; photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil*. 257:205-217.

Zhao, D.; Reddy, K.R.; Kakani, V.G.; Read, J.J.; Koti, S. **2005a**. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. *Agronomy Journal*. 97:89-98.

Zhao, D.; Reddy, KR; Kakani, V.G.; Read, J.J.; Koti S. **2005b**. Nitrogen deficiency effects on plant growth; leaf photosynthesis; and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy*. 22:391-403.