

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Vicerrectoría de Investigación y Extensión**

**DIRECCIÓN DE PROYECTOS**

**Informe final del proyecto:**

**Determinación de la eficiencia de tres fuentes fertilizantes en diferentes dosis sobre la producción de chile dulce y sus curvas de absorción, para Nathalie en invernadero, en Cartago, Costa Rica.**



**ESCUELA RESPONSABLE: INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PARTICIPANTES: Ing. Adrián Enrique Chavarría Vidal**

**Ing. Marvin Villalobos Araya**

**Cartago, mayo 2011**

## I. Índice General

Índice General .....	ii
Índice de Cuadros.....	ix
Índice de figuras .....	xii
I. ÍNDICE GENERAL .....	II
II. LISTA DE CUADROS .....	IX
III. ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
IV. AUTORES Y DIRECCIONES.....	XV
V. RESUMEN .....	16
VI. ABSTRACT.....	18
VII. PALABRAS CLAVES.....	19
VIII. INTRODUCCIÓN .....	1
IX. MARCO TEÓRICO .....	3
4.1. AMBIENTES PROTEGIDOS O INVERNADEROS.....	3
4.2. CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DEL CV. NATHALIE ( <i>CAPSICUM ANUNNUM</i> ).....	5
4.3. EL CULTIVO DE CHILE EN COSTA RICA .....	6

4.4. FERTILIZACIÓN DE CHILE .....	7
4.5. FUENTES FERTILIZANTES .....	11
4.5.1 FERTILIZANTE GRANULAR .....	12
4.5.2 FERTILIZANTE GRANULAR DE LIBERACIÓN LENTA .....	13
4.5.3 FERTILIZANTE HIDROSOLUBLE.....	15
4.6. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE FUENTES FERTILIZANTES .....	16
4.6.1. DOSIS CORRECTA .....	17
4.6.2. FUENTE CORRECTA.....	17
4.6.3. MOMENTO CORRECTO .....	18
4.6.4. UBICACIÓN CORRECTA .....	19
4.7. PARÁMETROS DE LA EFICIENCIA DE FERTILIZACIÓN .....	19
4.7.1. FACTOR PARCIAL DE PRODUCTIVIDAD (FPPFA).....	20
4.7.2 EFICIENCIA AGRONÓMICA (EAFA).....	20
4.7.3 EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN (ERFA).....	21
4.7.4 EFICIENCIA FISIOLÓGICA ( $EF_{FA}$ ) .....	21
4.7.5 EFICIENCIA ECONÓMICA ( $EE_{FA}$ ) .....	22
4.8. ESTIMACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS .....	23
4.8.1. USO DE FERTILIZANTES MARCADOS CON RADIOISÓTOPOS .....	23
4.8.2. ESTUDIOS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS.....	24
4.9. ÍNDICES DE ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO VEGETAL.....	25
4.9.1. ÍNDICES FISIOLÓGICOS .....	27
4.9.2. ÍNDICES MORFOLÓGICOS .....	30
X. METODOLOGÍA.....	33
5.1. UBICACIÓN .....	33

5.2. FACTORES EVALUADOS .....	33
5.2.1. FUENTES FERTILIZANTES.....	33
5.2.2. DOSIS DE LAS FUENTES FERTILIZANTES .....	35
5.3. ACONDICIONAMIENTO DEL SUELO EN EL INVERNADERO.....	36
5.4. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO EN EL INVERNADERO .....	37
5.5. ESTABLECIMIENTO DE LOS TRATAMIENTOS EN EL INVERNADERO.....	37
5.6. MOMENTOS DE APLICACIÓN DEL FERTILIZANTE.....	38
5.7. MANEJO DEL RIEGO Y EL FERTIRRIEGO .....	48
5.8. PLAGAS Y ENFERMEDADES QUE SE PRESENTARON DURANTE EL PERIODO DE EVALUACIÓN .....	49
5.9. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	50
5.10. VARIABLES MEDIDAS .....	51
5.10.1 VARIABLES DE COSECHA .....	51
5.10.2 MEDICIONES DE BIOMASA Y DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CRECIMIENTO POR ETAPAS FENOLÓGICAS DEFINIDAS .....	51
5.10.3. ESTIMACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS Y DE LAS EFICIENCIAS DE LAS FUENTES FERTILIZANTES.....	53
XI. RESULTADOS.....	54
6.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO DEL INVERNADERO .....	54
6.2. ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS.....	56
6.2.1. ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN LA FUENTE HIDROSOLUBLE APLICADA EN FERTIRRIEGO .....	56
6.2.2. ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN LA FUENTE GRANULADO CONVENCIONAL .....	59
6.2.3. ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN LA FUENTE GRANULADA DE LIBERACIÓN LENTA.....	61

6.2.4. ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN EL TRATAMIENTO TESTIGO (SIN FERTILIZACIÓN) .....	63
6.3. VELOCIDAD DE ABSORCIÓN POR ETAPA FENOLÓGICA PARA LAS DIFERENTES FUENTES FERTIZANTES.....	64
6.4. PRODUCCIÓN DE BIOMASA SECA POR ETAPA FENOLÓGICA.....	66
6.4.1. FASE DE ESTABLECIMIENTO Y CRECIMIENTO EXPONENCIAL (65 DDS) .....	66
6.4.2. CRECIMIENTO VEGETATIVO DECRECIENTE, FLORACIÓN E INICIO DE FORMACIÓN DE FRUTOS (93 DDS)68	
6.4.3 FORMACIÓN Y MADURACIÓN DE FRUTOS, FASE INICIAL (113 DDS).....	70
6.4.4. FORMACIÓN Y MADURACIÓN DE FRUTOS, FASE INTENSA (141 DDS) .....	72
6.4.5 FASE DE CRECIMIENTO VEGETATIVO SEGUNDA ETAPA Y DISMINUCIÓN DE FORMACIÓN DE FRUTOS (169 DDS) .....	73
6.5 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO .....	73
EN EL ANEXO 13 SE PUEDE OBSERVAR LAS PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS PARA LOS ÍNDICES MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS.....	73
6.5.1. ÍNDICES FISIOLÓGICOS .....	73
I. ÍNDICE DE CRECIMIENTO RELATIVO (ICR).....	73
II. ÍNDICE DE CRECIMIENTO RELATIVO FOLIAR (ICRF) .....	75
III. ÍNDICE DE ASIMILACIÓN NETA (I.A.N.).....	76
6.5.2. ÍNDICES MORFOLÓGICOS DE CRECIMIENTO.....	78
I. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) .....	78
II. RAZÓN DE ÁREA FOLIAR (RAF) .....	79
III. RAZÓN DE PESO COMERCIAL (RPC) .....	81
IV. RELACIÓN DE RAÍCES A PARTE AÉREA (RRPA).....	82
6.6. ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN CON BASE AL PESO FRESCO TOTAL Y PESO FRESCO DE PRIMERA, SEGUNDA Y TERCERA CALIDAD .....	84

6.7. ANÁLISIS DE LA COSECHA CON BASE AL NÚMERO DE FRUTOS TOTAL Y NÚMERO DE FRUTOS DE PRIMERA SEGUNDA Y TERCERA CALIDAD .....	87
6.8. EFICIENCIA DE LAS FUENTES FERTILIZANTES .....	90
6.8.1 EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN DEL FERTILIZANTE (ERFA) .....	90
6.8.3 EFICIENCIA AGRONÓMICA DE LAS FUENTES FERTILIZANTES (EAFA).....	91
6.8.4. EFICIENCIA ECONÓMICA DE LAS FUENTES FERTILIZANTES (EEFA) .....	92
XII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	94
XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	103
XV. BIBLIOGRAFIA .....	105
XVII. ANEXOS .....	116
ANEXO 1 .....	116
ABSORCIÓN TOTAL DE N, P, CA, MG Y K DE CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO FERTILIZADO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS.....	116
ANEXO 2 .....	120
PESO SECO DE HOJAS, TALLOS, RAÍCES, FRUTOS Y TOTAL DE LA PLANTA EN CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS FERTILIZANTES. ....	120
ANEXO 3.....	124
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PESO SECO DE HOJAS, TALLOS, RAÍCES Y FRUTOS A LOS 65 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS FERTILIZANTES.....	124
ANEXO 4.....	125

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PESO SECO DE HOJAS Y PESO SECO TOTAL DE PLANTA A LOS 93 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA DE CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS FERTILIZANTES .....	125
ANEXO 5.....	127
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PESO SECO DE HOJAS, RAÍCES, FRUTOS Y TOTAL DE PLANTA A LOS 113 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA DE CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS FERTILIZANTES.....	127
ANEXO 6.....	131
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PESO SECO DE HOJAS Y FRUTOS A LOS 141 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA DE CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS FERTILIZANTES.....	131
ANEXO 7.....	133
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PESO SECO DE HOJAS Y DE LA PLANTA TOTAL A LOS 169 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA DE CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS .....	133
ANEXO 8.....	136
ÍNDICES MORFOLÓGICOS DE CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS FERTILIZANTES .....	136
ANEXO 9.....	138
ÍNDICES FISIOLÓGICOS DE CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS FERTILIZANTES .....	138
ANEXO 10 .....	140
PRODUCCIÓN EN PESO FRESCO Y NÚMERO DE FRUTOS DE CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS FERTILIZANTES.....	140

ANEXO 11 .....	142
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PESO FRESCO Y DEL NÚMERO DE FRUTOS DE CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS FERTILIZANTES .....	142
ANEXO 12 .....	145
PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS (PRUEBA DE BARTLETT) PARA LAS VARIABLES DE RENDIMIENTO .....	145
ANEXO 13 .....	146
ANEXO 13 .....	146
PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS (PRUEBA DE BARTLETT) PARA ÍNDICES MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS .....	146
ANEXO 14 .....	149
ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS DIVERSOS TEJIDOS DE LA PLANTA POR MUESTREO EN CHILE DULCE (C.V. NATHALIE) EN INVERNADERO EN DIFERENTES FUENTES Y DOSIS FERTILIZANTES	



## II. Lista de Cuadros

Cuadro 1. Dosis de fertilizante aplicada en riego por goteo por semana para el cultivo de chile dulce en invernadero con área de 680 m <sup>2</sup> . Cartago, Costa Rica. ....	10
Cuadro 2. Fertilización recomendada por etapa fenológica en el cultivo .. de chile en riego por goteo. Culiacan, México. ....	11
Cuadro 3. Características físicas del suelo del sitio experimental del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.....	55
Cuadro 4. Análisis químico del suelo del sitio experimental Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.....	56
Cuadro 5. Fertilizante aplicado (kg . ha <sup>-1</sup> ) de tres fuentes en tres diferentes dosis en el experimento.....	36
Cuadro 6. Total de nutrimentos aplicados (kg . ha <sup>-1</sup> acumulado) en la dosis 1 de la fuente hidrosoluble en fertirriego en el experimento .....	39
Cuadro 7. Total de nutrimentos aplicados (kg . ha <sup>-1</sup> acumulado) en la dosis 2 de la fuente hidrosoluble en fertirriego en el experimento .....	40
Cuadro 8. Total de nutrimentos aplicados (kg . ha <sup>-1</sup> acumulado) en la dosis 3 de la fuente hidrosoluble en fertirriego en el experimento .....	41
Cuadro 9. Total de nutrimentos aplicados (kg . ha <sup>-1</sup> acumulado) en la dosis 1 de la fuente granulado convencional en el experimento .....	42

Cuadro 10. Total de nutrimentos aplicados (kg . ha <sup>-1</sup> acumulado) en la dosis 2 de la fuente granulada convencional en el experimento .....	43
Cuadro 11. Total de nutrimentos aplicados (kg . ha <sup>-1</sup> acumulado) en la dosis 3 de la fuente granulada convencional en el experimento .....	44
Cuadro 12. Total de nutrimentos aplicados (kg . ha <sup>-1</sup> acumulado) en la dosis 1 de la fuente granulada de liberación lenta en el experimento .	45
Cuadro 13. Total de nutrimentos aplicados (kg . ha <sup>-1</sup> acumulado) en la dosis 2 de la fuente granulada de liberación lenta en el experimento .	46
Cuadro 14. Total de nutrimentos aplicados (kg . ha <sup>-1</sup> acumulado) en la dosis 3 de la fuente granulada de liberación lenta en el experimento ..	47
Cuadro 15. Etapas fenológicas donde se realizaron los muestreos de biomasa de chile dulce durante el experimento .....	53
Cuadro 16. Velocidad de absorción de nutrimentos promedio de tres dosis crecientes en la fuente hidrosoluble para fertirriego de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero.....	65
Cuadro 17. Velocidad de absorción de nutrimentos promedio de tres dosis crecientes en la fuente granulada convencional de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero .....	65
Cuadro 18. Velocidad de absorción de nutrimentos promedio de tres dosis crecientes en la fuente granulada de liberación lenta de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero.....	66

Cuadro 19. Eficiencia de recuperación de nutrimentos (kg elemento adicional absorbido . kg <sup>-1</sup> fertilizante aplicado) de tres fuentes fertilizantes en dosis crecientes a las 24 semanas después de la siembra en chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero .....	90
Cuadro 20. Eficiencia agronómica (kg cosecha adicional . kg <sup>-1</sup> nutrimento aplicado) de tres fuentes fertilizantes en dosis crecientes a las 24 semanas después de la siembra en el cultivo de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero .....	92
Cuadro 21. Eficiencia económica (retorno monetario adicional . costo de la fertilización <sup>-1</sup> ) de tres fuentes fertilizantes en dosis crecientes a las 24 semanas después de la siembra de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero .....	93

### III. Índice de figuras

Figura. 1: Matriz de muestreo de plantas con competencia completa utilizado durante el experimento .....	52
Figura.2: Absorción de nutrimentos acumulada (acu) y absorción por etapa_fenológica (ins) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente hidrosoluble en dosis crecientes (D1>D2>D3).....	58
Figura.3: Absorción de nutrimentos acumulada (acu) y absorción por etapa_fenológica (ins) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulado convencional en dosis crecientes (D1>D2>D3).....	60
Figura.4: Absorción de nutrimentos acumulada (acu) y absorción por etapa_fenológica (ins) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente liberación lenta en dosis crecientes (D1>D2>D3) .....	62
Figura. 5: Absorción de nutrimentos acumulada (acu) y absorción por etapa_fenológica (ins) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero sin aplicación de fertilizante (testigo) .....	64
Figura. 6: Peso seco de hojas, tallos, raíces, frutos y total de planta de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente hidrosoluble aplicada en el fertirriego en tres dosis crecientes (D1>D2>D3) .....	67
Figura. 7: Peso seco de hojas, tallos, raíces, frutos y total de planta de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulado .....	69

Figura. 8: Peso seco de hojas, tallos, raíces, frutos y total de planta de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulada de liberación lenta en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).....	71
Figura. 9: Peso seco de hojas, tallos, raíces, frutos y total de planta de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en el tratamiento testigo ....	72
Figura. 10: Variación del índice de crecimiento relativo de chile dulce (c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).....	74
Figura. 11: Variación del índice de crecimiento relativo foliar de chile dulce_(c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).....	76
Figura. 12: Variación del índice de asimilación neta de chile dulce (c.v.Nathalie) en invernader por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).....	77
Figura. 13: Variación del índice de área foliar de chile dulce (c.v.Nathalie)_en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr) granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).....	79

Figura. 14: Variación de la razón de área foliar de chile dulce (c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)..... 80

Figura. 15: Variación de la razón de peso comercial de chile dulce (c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)..... 82

Figura. 16: Variación de la relación de raíces a parte aérea de chile dulce (c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)..... 83

Figura. 17: Variación de la producción total de frutos de peso fresco de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)..... 85

Figura. 18: Variación de la producción de frutos de primera, segunda y tercera clase (peso fresco) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)..... 86

Figura. 19: Variación del número total de frutos de peso fresco de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)..... 88

Figura. 20: Variación del número de frutos de primera, segunda y tercera clase (fruto fresco) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en en tres dosis crecientes (D1>D2>D3) ..... 89

#### **IV. Autores y Direcciones**

Adrián Enrique Chavarría Vidal

Escuela de Ingeniería Agrícola - Instituto Tecnológico de Costa Rica

e-mails: [adchavarria@itcr.ac.cr](mailto:adchavarria@itcr.ac.cr)

Teléfono oficina: 25502271

Marvin Villalobos Araya

Escuela de Ingeniería Agrícola - Instituto Tecnológico de Costa Rica

e-mails: [mwillalobos@itcr.ac.cr](mailto:mwillalobos@itcr.ac.cr)

Teléfono oficina: 25502271

## V. Resumen

En condiciones de invernadero en Cartago, Costa Rica, se determinó la eficiencia de las fuentes fertilizantes hidrosoluble en fertirriego, granulado convencional y granulado de liberación lenta (agrocote) sobre la producción de chile dulce, c.v. Nathalie, por medio de la estimación de los nutrimentos totales absorbidos, análisis del crecimiento y del rendimiento y determinación de los parámetros de eficiencia de la fertilización.

Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con arreglo factorial de tres dosis crecientes en cada fuente fertilizante. Adicionalmente se estableció un tratamiento al cual no se le aplicó fertilizante (testigo).

Las fuentes se formularon tal que las cantidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO y CaO por dosis fueran equivalentes.

Además de los registros de cosecha y de la determinación de la absorción total de los nutrimentos antes citados, se realizaron durante el ciclo de evaluación 5 muestreos de los diferentes componentes de la biomasa de planta, que coincidieron con las principales fases fenológicas del cultivo.

En las fuentes hidrosoluble para fertirriego y granulado de liberación lenta se observó mayor absorción de N, P, Ca, Mg y K en las dosis



mayores, pero en la fuente granulado convencional no se observaron diferencias de absorción por dosis. Además, se observó en promedio mayor absorción de nutrimentos con la fuente granulado de liberación lenta.

Sin embargo, no se determinaron diferencias estadísticas en la producción de frutos debidas a fuentes y dosis. Tampoco se hallaron diferencias estadísticas entre los tratamientos fertilizados en cuanto a la producción de biomasa seca, ni en los índices de crecimiento morfológicos y fisiológicos a través del ciclo de cultivo.

Debe señalarse que los tratamientos fertilizados, independientemente de la fuente o dosis, mostraron estadísticamente a lo largo del periodo de evaluación mayor crecimiento y rendimiento que el tratamiento testigo.

En cuanto a los parámetros de fertilización la mayor eficiencia agronómica y económica se obtuvo con la fuente liberación lenta en la menor dosis evaluada

## **VI. Abstract**

Under greenhouse conditions in Cartago, Costa Rica, we investigated the efficiency of fertigation water-soluble fertilizer sources, conventional granular slow-release pellets (Agrocote) on the production of sweet peppers, cv Nathalie, by estimating the total nutrients absorbed and performance and determine the parameters of efficiency of fertilization.

We used an unrestricted random experimental design with factorial arrangement of three increasing doses of each fertilizer source. Further treatment has been developed which no fertilizer was applied (control). The sources were made such that the amounts of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO and CaO were equivalent dose.

In addition to harvest records and determining the total absorption of the nutrients mentioned above, were made during the evaluation cycle 5 samplings of the different components of plant biomass, which coincided with the main phenological stages.

In water-soluble sources for fertigation and slow release granules showed higher uptake of N, P, Ca, Mg and K in higher doses, but in the conventional grain source showed no differences in absorption per dose. In addition, we observed a higher mean nutrient absorption to the source of slow release granules.

However, no statistical differences were found in fruit production due to sources and rates.

It should be noted that the fertilized treatments, regardless of source or dose showed statistically throughout the period of greatest growth and performance assessment than the control treatment.

As the fertilization parameters of agronomic and economic efficiency was obtained with slow-release source at the lowest dose tested.

## **VII. Palabras claves**

Fuentes, fertilizantes, eficiencia, chile, fertirriego, absorcion, nutrimentos, nathalie, invernadero, absorción, crecimiento, índices, fisiológicos, morfológicos, rendimiento, frutos, asimilación.

## VIII. Introducción

El cultivo de chile dulce, entre las hortalizas de fruto, ocupa el segundo lugar en importancia socioeconómica y de consumo en Centroamérica (MAG, 2007). A éste se le considera una hortaliza de alto valor nutritivo especialmente relacionado con el aporte de vitamina C.

En el Instituto Tecnológico de Costa Rica (I.T.C.R.), ubicado en el cantón central de la provincia de Cartago, se lleva a cabo un programa de investigación en el cultivo de chile dulce en invernadero. Este sistema de producción es frecuente entre los agricultores de la zona hortícola de dicha provincia.

Un aspecto hasta ahora no investigado en chile en condiciones de invernadero, es el referente a la determinación de las eficiencias agronómicas de las fuentes fertilizantes mayormente utilizadas.

El mejoramiento de la eficiencia de uso de los nutrimentos es un factor de importancia a nivel productivo, económico y ambiental. Se debe considerar que un incremento de la eficiencia de fertilización favorece la rentabilidad y sostenibilidad del sistema de producción, pues disminuye el impacto de los fertilizantes sobre los medios a los que no va dirigido (Ciampitti y García 2008, Bruulsema *et al.* 2008).

La determinación de los parámetros de la eficiencia de fertilización requiere de un estimado del consumo de nutrientes por las plantas. Un método al alcance por su sencillez y por su costo no tan elevado respecto a los métodos con radioisótopos, de estimar la absorción de nutrientes es la utilización de la técnica para la confección de "curvas de absorción de nutrientes". Debido a que esta técnica necesita del muestreo de los distintos órganos de las plantas, permite además calcular los índices para análisis del crecimiento, que complementan la valoración de la eficiencia de fertilización basada sólomente en cosecha.

El objetivo de la presente investigación fue determinar mediante la técnica de curvas de absorción la eficiencia de las fuentes fertilizantes granulado convencional, granulado de liberación lenta e hidrosoluble para fertirriego en diferentes dosis, sobre el crecimiento y producción de chile dulce c.v. Nathalie, en siembra en suelo en invernadero en el campus del I.T.C.R. en la provincia de Cartago.

## IX. Marco Teórico

### 4.1. Ambientes protegidos o invernaderos

Todo abrigo o encierro de construcción alta o baja, donde el acondicionamiento puede ser controlado y se siembran cultivos hortícolas u ornamentales, puede considerarse como un invernadero. También se dice que es aquella construcción, donde las cubiertas y paredes son transparentes y dejan pasar la luz, que se emplea para cultivar plantas mediante el control del clima en que se desarrollan (López-Galvez y Zapata 2002). Una de las definiciones que más se usa es: "los invernaderos o abrigos son construcciones agrícolas, que tienen por objeto la producción sistemática y fuera de estación de productos horto - frutícolas, convirtiéndose en instrumentos de trabajo que permiten controlar eficazmente los rendimientos en calidad y cantidad" (Robledo 1981).

El invernadero debe ser un área protegida, establecida para evitar que la plantación se exponga a los factores que pudieran perjudicar su desarrollo tales como: exceso de humedad relativa, altas o bajas temperaturas, lluvia, luz ultravioleta, vientos, plagas, aves y otros depredadores (T.P. Agro 2000). Los invernaderos se pueden construir en madera, caña guadúa, mixtos o metálicos.

Pérez *et al.* (1998) menciona que el control ambiental en un invernadero está íntimamente relacionado con la forma y los materiales. Si se controla en forma eficaz la temperatura, humedad y concentración de gases en el interior del invernadero, se aprovechan en forma adecuada la radiación solar y la ventilación natural (Mateo 2001). La forma del invernadero hace que se aumente o disminuya la radiación incidente, mediante el dimensionamiento de la superficie que capta energía y la utilización de materiales con mayor coeficiente de transmisión (Corrales y Maroto 2009). La altura, superficie y distribución de aberturas determinan el volumen y la tasa de renovación de aire en el interior (Acuña 2003, Villalobos 2010). En el invernadero se aumenta la temperatura interior; esto repercute en un acortamiento del ciclo de la planta, además se modifica la humedad relativa y el contenido de anhídrido carbónico en el aire (Fundacion Universitaria de Bogotá Jorge Tedeo Lozano 1999) . En el trópico los invernaderos no suelen ser climatizados de manera computarizada por su alto costo, por lo que el agricultor debe manejar manualmente, partiendo del diseño, los factores climáticos dentro de sus posibilidades, para permitir que los cultivos se encuentren en las condiciones más favorables posibles (Barquero 2001).

Lo que se debe de conocer para planificar la producción en un invernadero es el pH y conductividad de la fuente de agua disponible, las características físico y químicas del suelo, la temperatura máxima y

mínima, la humedad relativa máxima y mínima, la velocidad y la dirección del viento y la pluviosidad de la zona, además de las características del cultivo seleccionado (Rejobot s.f., Amma *et al.* s.f.). Un invernadero debe ser un espacio con un microclima apropiado para el óptimo desarrollo de una plantación específica. Cuando un cultivo no es productivo es porque se presentan problemas de diseño del invernadero, construcción del invernadero o de manejo de la plantación (Serrano 2002).

#### **4.2. Características generales del cv. Nathalie (*Capsicum anunnum*)**

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG) (2007), el cv. Nathalie es el mayormente sembrado en Costa Rica. Además menciona que el ciclo de producción del cv. Nathalie puede variar de 6 a 12 meses, dependiendo de las condiciones climáticas, incidencia de plagas y manejo del cultivo. El mismo autor (MAG 2007) indica que los rendimientos de producción de fruta fresca oscilan entre 8,18 a 42,94 t . ha<sup>-1</sup> en campo abierto y de 30 a 150 t . ha<sup>-1</sup> bajo ambientes protegidos.

Linares (2004) indica que el cultivar Nathalie tiene una forma de crecimiento indeterminado; la cosecha comienza de los 85 a los 95 días después de la siembra en ambientes abiertos. La forma de los frutos es



cónica, con dos a tres lóbulos y la fructificación es continua. Posee tolerancia al virus "Y" de la papa y al virus del mosaico del tabaco.

#### **4.3. El cultivo de chile en Costa Rica**

De acuerdo con Biamonte *et al.* (1984) el chile dulce es originario de América, principalmente del sur de México y América Central. Existen cinco especies cultivadas: *Capsicum annum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. pubescens*. La especie *C. annum* es la que más se cultiva, tanto por sus variedades dulces como picantes (MAG 1991).

Para Bolaños (1998) la primera clasificación de los chiles cultivados se realiza según el grado de picor o pungencia. Esta división es: el grupo de los chiles dulces y el de los picantes. En cada uno de esos grupos hay diversos tipos, donde cada uno tiene su identidad propia, pero desde el punto de vista genético, es difícil trazar líneas divisorias entre ellos, ya que es muy fácil el cruce de plantas de diferentes especies.

En América Central, *C. annum* es un componente importante de la canasta familiar, con predominio de las formas menos picantes, es decir, el chile dulce (CATIE 1993).

En Costa Rica, se prefieren los chiles dulces tipo "lamuyo" (alargados, terminados en una punta o más pero disminuidas), de tamaño pequeño para el consumo fresco. Además de la semilla importada, también se

siembran los tipos criollos, que son selecciones hechas por los agricultores, a partir de cultivares comerciales (Villalobos *et al.* 2005)

Según Bolaños (1998) las zonas de siembra se hallan prácticamente en todo el territorio nacional, pero se han obtenido mejores rendimientos en los valles Central, del Guarco, del General y Ujarrás; además del cantón de Tilarán en Guanacaste y más recientemente se ha desarrollado la región de Cañas favorecida por el Proyecto de Riego Arenal-Tempisque.

Hay dos épocas de siembra, la primera se extiende desde mayo hasta principios de agosto y la segunda inicia en noviembre (MAG 1991).

Cuando se cuenta con riego y preferentemente con invernadero para suplir las necesidades de la planta se puede sembrar durante todo el año (Bolaños 1998).

#### **4.4. Fertilización de Chile**

Martin-Prével *et al.* (1984) definen la nutrición vegetal como el conjunto de relaciones existentes entre determinados componentes químicos del suelo y la planta, bien en su seno o en sus interfases. Esta concepción contempla los procesos de absorción, transporte, utilización y eliminación de los nutrimentos.

La creación de una nueva célula en una planta requiere del aporte adecuado de nutrimentos para su expansión y funcionamiento

apropiado. Estos nutrimentos pueden provenir de otras partes de la planta, pero el aumento neto en tamaño de la planta, dependerá de la adquisición de cantidades apropiadas de nutrimentos por la raíz y hojas (Salisbury y Ross 2000).

La nutrición mineral se refiere a aquellos elementos que no sean carbono, oxígeno e hidrógeno. La incorporación a la planta tiene lugar mayoritariamente vía absorción radicular y su salida de la planta va solo ligada a la senescencia y abscisión de ciertos órganos (hojas, frutos) (Piaggese 2004).

Zúñiga (2007) menciona que para Costa Rica los requerimientos de fertilización en chile dulce en campo son los siguientes:

Nitrógeno 250-350 kg . ha<sup>-1</sup>

Fósforo 250-400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> . ha<sup>-1</sup>

Potasio 300-400 kg K<sub>2</sub>O . ha<sup>-1</sup>

Magnesio 40-80 kg MgO . ha<sup>-1</sup>

Azufre 30-60 Kg S . ha<sup>-1</sup>

Azofeifa y Moreira (2005) mencionan que para el caso del calcio la fertilización es de 58 kg CaO . ha<sup>-1</sup>

En el Cuadro 1 se presentan las recomendaciones de dosis de fertilizantes aplicados semanalmente con un sistema de riego por goteo para el chile dulce, sembrado en invernadero en Cartago, Costa Rica, con un área de 680 m<sup>2</sup> y 636 plantas según Villalobos *et al.* (2005).

El Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria de México (2003) menciona que el fertilizante puede ser suministrado al cultivo en diferentes frecuencias: diario, cada tercer día o una vez a la semana, dependiendo de las necesidades de riego, características de suelo y otros factores. Además recomienda la forma de dosificar la fertilización en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo de chile (Cuadro 2).

Cuadro 1. Dosis de fertilizante aplicada en riego por goteo por semana para el cultivo de chile dulce en invernadero con área de 680 m<sup>2</sup>. Cartago, Costa Rica.

Fuentes fertilizante	Semanas 4 a 11	Semanas 12 a 17	Semanas 18 en adelante.
Urea (kg)	1,00	1,66	1,90
Nitrato potasio (kg)	0,28	0,70	1,40
Fosfato monoamónico (kg)	0,35	1,40	1,40
Ácido fosfórico (ml)	340	340	340
Sulfato de magnesio (kg)	1,40	2,10	2,10
Sulfato de potasio (kg)	0,70	2,52	2,80
Ácido bórico (g)	7,00	14,00	14,00
Sulfato de zinc (g)	7,00	11,20	11,20
Sulfato de hierro (g)	---	7,00	7,00
Sulfato de cobre (g)	---	5,00	5,00
Sulfato de manganeso (g)	7,00	25,20	25,2
Molibdato de sodio (g)	1,00	1,00	1,00

Tomado de: Villalobos *et al.* (2005). Evaluación de la producción de tres híbridos de chile con dos dosis de fertilización, en dos tipos de invernaderos. Informe de investigación, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cuadro 2. Fertilización recomendada por etapa fenológica en el cultivo de chile en riego por goteo. Culiacan, México.

	Del Transplante a la Floración (40 días)	De plena floración al primer corte (41-91 días)	Del segundo corte al séptimo corte (90-130 días)	Del octavo corte al final del ciclo (131-155 días)	Total por elemento
Nutrientos	Kg . ha <sup>-1</sup>	Kg . ha <sup>-1</sup>	Kg . ha <sup>-1</sup>	Kg . ha <sup>-1</sup>	Kg . ha <sup>-1</sup>
Nitrogeno (N)	35-45	80-90	110-120	35-45	260-300
Fosforo (P)	28-38	65-75	90-100	28-38	211-251
Potasio (K)	20-30	50-60	70-80	20-30	160-200
Calcio (Ca)	0	15-20	40-50	5-10	60-80
Magnesio (Mg)	0	5-10	15-20	5-10	25-40
Azufre (S)	0	10-15	20-25	5-10	35-50

Tomado de: Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria. (2003). Guía para la asistencia técnica agropecuaria para el área de influencia del campo experimental Valle de Culiacán, México.

#### 4.5. Fuentes fertilizantes

Molina (2003) define que los fertilizantes son materiales que contienen nutrientes para las plantas y que son aplicados generalmente a través del suelo, el agua o aspersiones foliares.

Algunos de los beneficios del uso de fertilizantes se resumen a continuación:

- Suplir deficiencias nutricionales de los cultivos
- Restituir nutrientes extraídos por la cosecha

- Mantener o mejorar la fertilidad del suelo
- Mejorar la resistencia de los cultivos a enfermedades
- Mejorar la calidad de las cosechas
- Incrementar los rendimientos
- Aumentar la rentabilidad del cultivo

La mayoría de los fertilizantes que se utilizan en la agricultura moderna y en particular en ambientes protegidos son productos químicos. Entre las presentaciones de los fertilizantes más usuales están los descritos a continuación.

#### **4.5.1 Fertilizante granular**

Fertilizante formado por partículas de tipo gránulo cuyo diámetro oscila entre 1,0 y 4,0 mm. Los macronutrientes son los elementos básicos en los programas de fertilización de la mayoría de los cultivos y generalmente son incluidos en las fórmulas granuladas de fertilizantes (Molina 2003). Según Guerrero (1981) los fertilizantes granulados pueden ser de mezcla física o composición química, donde los de mezcla física son los que provienen de una mezcla mecánica de dos o más materiales y difieren de los fertilizantes de composición química en que no media reacción química alguna. Además este autor define que la solubilidad de los fertilizantes consiste en la capacidad de liberar nutrientes del estado sólido, no aprovechable para la planta, al estado iónico requerido para su absorción. Además, Guerrero (1981) menciona

que la solubilidad de los fertilizantes granulados depende de factores como la disponibilidad de agua en el suelo, las características físicas y químicas del suelo, la temperatura del suelo y la tecnología de los fertilizantes aplicados.

Para las formulaciones de las fuentes granuladas se deben tener en cuenta las propiedades físicas y químicas como lo son el tamaño de las partículas del fertilizante, la segregación, la consistencia del gránulo, la densidad aparente, la humedad relativa, la compactación y la incompatibilidad química, de las cuales, la última se puede presentar por desarrollo de calor, desarrollo de humedad, producción de gas, compactación o aumento de higroscopicidad al realizar las mezclas físicas (Molina 2003, Guerrero 1981).

#### **4.5.2 Fertilizante granular de liberación lenta**

Carrasco (2002) menciona que dentro de las nuevas tecnologías en fertilización se encuentran los fertilizantes con inhibidores de la nitrificación y los fertilizantes de liberación controlada; éstos últimos se dividen en fertilizantes derivados de la condensación de la urea o urea-aldehído recubiertos usualmente por una sal de azufre y los fertilizantes recubiertos o encapsulados. En los fertilizantes recubiertos o encapsulados, los macro y micro nutrientes están en el interior de una cubierta que hace de barrera física para la liberación de los mismos



tanto las características de la cubierta como el tipo de material, grosor, porosidad y otros son los factores que determinan la tasa de liberación de los nutrimentos (FAO 2002). Carrasco (2002) menciona además, que un fertilizante recubierto ideal tiene que disponer de una cubierta que permita la entrada de agua por sus poros para disolver los nutrimentos formando una solución nutritiva concentrada, a partir de la cual posteriormente se liberan los mismos.

En estos fertilizantes recubiertos o encapsulados la tasa de liberación del elemento es lenta a través del tiempo para que los nutrimentos estén disponibles para las plantas por un período más prolongado. Con ello se consigue aumentar la eficiencia del material fertilizante en el tiempo, se reduce el impacto sobre aquellos otros medios a los que no va dirigido, se simplifica su dosificación y se reducen pérdidas por lixiviación y gasificación, (Trenkel 1997, Fan *et al.* 2004, FAO 2002).

Campoés Servicio Integral XXI, S. A. Agrobien. Scotts (2010) menciona dos tecnologías para los fertilizantes recubiertos como son 1- tecnología de resina, la cual consiste en un recubrimiento de resina y dentro de la cápsula los nutrimentos, llamado comúnmente Osmocote y 2- tecnología poly-S que consiste en un primer recubrimiento interno de azufre y un segundo recubrimiento externo de polímero y dentro de los recubrimientos un núcleo de nutrimentos, llamado comúnmente Agrocote.

En ambos casos los elementos incluidos en la cápsula son mayoritariamente el N y el K. Así usualmente las formulaciones granulares llamadas de liberación lenta incluyen materias primas de alta solubilidad, cuando se consideran elementos adicionales a los anteriormente mencionados.

Otra estrategia es la incorporación de inhibidores de la "solubilización" y para el caso del N se usan específicamente dos compuestos: 1- compuestos que retrasan la oxidación bacteriana de los iones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) que impiden durante un período de tiempo la actividades de las bacterias *Nitrosomas* en el suelo. Ellas son responsables de la transformación de amonio en nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) que posteriormente es transformado en nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por las bacterias *Nitrobacter* y *Nitrosolobusy* 2- inhibidores de la ureasa que retrasan la transformación de la amida-N de la urea a hidróxido de amonio y luego a amonio; de esta manera se retrasa la velocidad a la que la urea se hidroliza en el suelo, lo que reduce las pérdidas por volatilización de amoníaco en el aire y de las pérdidas del nitrato producido (Trenkel 1997 y Molina 2003).

#### **4.5.3 Fertilizante hidrosoluble**

La característica principal de los fertilizantes hidrosolubles para fertirriego es que deben ser solubles en agua (Molina 2003). Los

productos mezclados en el agua de riego deben formar una verdadera solución nutritiva. Según Lazcano (1994) los productos hidrosolubles tienen una capacidad máxima de solubilidad en agua, la cual puede aumentar conforme aumenta la temperatura del agua o disminuir si se agregan otros productos en la mezcla. Los productos que se mezclan deben ser compatibles entre sí, para evitar las reacciones químicas entre materiales que causan precipitados y que obstruyen los sistemas de riego. Imas (1999) menciona que la calidad del agua especialmente crítico en los sistemas de riego por goteo, que deben mantenerse libres de sólidos en suspensión y microorganismos que pueden taponar los orificios de los emisores. Con frecuencia se presentan problemas en aguas con contenidos altos de calcio, especialmente cuando los valores son superiores a  $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ; a medida que se incrementa la concentración de calcio, aumenta la probabilidad de precipitación de los fertilizantes fosfatados agregados, los que se depositan en las paredes de los tubos, en los orificios de los goteros y en los aspersores (Molina 2003).

#### **4.6. Factores que afectan la eficiencia de fuentes fertilizantes**

Dibb (2000) y Lora (1984) mencionan que la eficiencia de la fertilización y la viabilidad económica son parte del sistema total de

producción y que cada uno de ellos tiene factores que necesitan ser optimizados para lograr la meta de producción propuesta.

Optimizar la eficiencia de uso de los nutrimentos conlleva la aplicación correcta de fertilizantes, esto es: dosis correcta, fuente correcta, en el momento correcto y en la ubicación correcta (Ciampitti y Garcia (2008), Espinosa y Mite s.f.). Estos cuatro factores interactúan entre si, con las condiciones edafo-climáticas y las prácticas de cultivo (Buresh y Witt 2007, Roberts 2007).

#### **4.6.1. Dosis correcta**

Aplicaciones excesivas o insuficiencia pueden resultar en una deficiencia de uso de los nutrimentos y/o en pérdidas de rendimiento o calidad del cultivo. Los análisis de suelo son la mejor herramienta disponible para estimar la capacidad del suelo de proveer nutrimentos (Ciampitti y Garcia 2008). Es importante conocer el balance de nutrimentos y como estos balances se relacionan con la disponibilidad de los nutrimentos para los cultivos según sus requerimientos (Buresh y Witt 2007, Espinosa y Mite s.f., Roberts 2007).

#### **4.6.2. Fuente correcta**

Las principales fuentes fertilizantes son granular convencional, fertilizantes líquidos, fertilizantes hidrosolubles para fertirriego, granular

de liberación lenta, fertilizantes foliares y abonos orgánicos (Ciampitti y Garcia 2008, Roberts 2007).

El uso correcto de las distintas fuentes implica (Buresh y Witt 2007):

- a) Conocer la disponibilidad de los nutrimentos de las fuentes fertilizantes que son realmente utilizados y conocer la sensibilidad de los cultivos a determinados elementos químicos.
- b) Considerar las propiedades químicas y físicas de los suelos.
- c) Conocer la compatibilidad entre fuentes de fertilizantes.
- d) Tener control de elementos contaminantes, no nutritivos, en las fuentes.
- e) Considerar las interacciones entre fuentes fertilizantes y variables climáticas.

#### **4.6.3. Momento correcto**

Es necesaria la sincronización entre la demanda del cultivo y la disponibilidad de nutrimentos para mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes. Además del fraccionamiento de la fertilización, otra estrategia para mejorar la sincronización entre la aplicación y la absorción es la utilización de productos de menor solubilidad (fertilizantes de liberación lenta) (Buresh y Witt 2007, Espinosa y Mite s.f., Roberts 2007).

#### **4.6.4. Ubicación correcta**

La determinación de una correcta ubicación del fertilizante puede ser tan importante como la determinación de una dosis de aplicación correcta. Existen muchas posibilidades de sitios de ubicación del fertilizante, pero las opciones de colocación más comunes son superficialmente o sub-superficialmente, en bandas o al voleo antes o después del momento de siembra (Ciampitti y Garcia 2008, Roberts 2007).

#### **4.7. Parámetros de la eficiencia de fertilización**

Según Hädter y Fairhurst (2003), Prochnow *et al.* (2009) y Bruuisema *et al.* (2008) los parámetros empleados para determinar la eficiencia en el uso de nutrimentos deben contestar cuatro interrogantes básicas que son:

- 1- ¿Cuánto de los nutrimentos aplicados es tomado por el cultivo?
- 2- ¿Cuánto rendimiento adicional se obtiene por cada unidad de nutrimento aplicado?
- 3- ¿Cuánto puede el cultivo actual beneficiarse de los nutrimentos nativos y residuales de cultivos anteriores?
- 4- ¿Cuál es el retorno monetario de los nutrimentos aplicados?

Los indicadores que pueden ser usados para evaluar la eficiencia del uso de nutrimentos se describen a continuación.

#### 4.7.1. Factor parcial de productividad (FPP<sub>Fa</sub>)

Según Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Atomic Energy Agency (IAEA) (2001) y Dobermann (2007), este parámetro se refiere a ¿cuánto rendimiento se obtiene por cada kilogramo de fertilizante aplicado?. Este parámetro incluye el aporte nativo de nutrientes del suelo.

$$FPP_{Fa} = Y_{0Fa} / Fa + Y_{Fa} / Fa \dots\dots\dots(1)$$

$$o \quad FPP_{Fa} = (Y_{0Fa} + Y_{Fa}) / Fa \dots\dots\dots(2)$$

donde:

FPP<sub>Fa</sub> = Eficiencia del factor parcial de productividad (kg . kg<sup>-1</sup>)

Y<sub>0Fa</sub> = producción sin aplicación de fertilizante (kg)

Y<sub>Fa</sub> = producción con aplicación de fertilizante (kg)

(Y<sub>0Fa</sub> + Y<sub>Fa</sub>) = producción total obtenida

Fa = Cantidad de fertilizante aplicado (kg)

#### 4.7.2 Eficiencia agronómica (EAFa)

Según Scholbewrg *et al.* (2009) y Snyder (2009) esta eficiencia se refiere a ¿cuánto rendimiento adicional se obtiene por cada kilogramo de fertilizante aplicado?

$$EAFa = (Y_{Fa} - Y_{0Fa}) / Fa \dots\dots\dots(3)$$

donde:

EAFa = Eficiencia agronómica del nutriente aplicado (kg . kg<sup>-1</sup>)

Y<sub>0Fa</sub> = producción sin aplicación de fertilizante (kg)

$Y_{Fa}$  = Producción con aplicación de fertilizante (kg)

$Fa$  = Cantidad de fertilizante aplicado (kg)

#### 4.7.3 Eficiencia de recuperación ( $ER_{Fa}$ )

Según Sahrawat *et al.* (2003), Zhao *et al.* (2007) y Dobermann y Fairhurst (2007), este parámetro se refiere a: ¿cuánto del fertilizante aplicado es absorbido por el cultivo?

$$ER_{Fa} = (Ne_{Fa} - Ne_{0Fa}) / Fa \dots\dots\dots(4)$$

o por la comparación de dos tratamientos diferentes

$$ER_{Fa} = (Ne_{Fa2} - Ne_{1Fa}) / (Fa_2 - Fa_1) \dots\dots\dots(5)$$

donde:

$ER_{Fa}$  = Eficiencia de recuperación del fertilizante aplicado ( $kg \cdot kg^{-1}$ )

$Ne_{Fa}$  = es el total de nutrimento extraído por la planta medido en biomasa seca cuando se aplicó fertilizante (kg)

$Ne_{0Fa}$  = es el total de nutrimento extraído medido en biomasa seca sin la aplicación de fertilizante (kg)

$Fa_1$  y  $Fa_2$  = nutrimento adicionado en dos tratamientos diferentes donde  $Fa_2$  recibe mayor dosis de nutrimento que  $Fa_1$  (kg)

#### 4.7.4 Eficiencia fisiológica ( $EF_{FA}$ )

Para Munnrell (2009) y Roberts (2008) esta eficiencia responde al interrogante ¿cuánto rendimiento adicional se produce por cada unidad adicional de nutrimento absorbido?



$$EF_{Fa} = (Y_{Fa} - Y_{0Fa}) / (Ne_{Fa} - Ne_{0Fa}) \dots\dots\dots(6)$$

$EF_{Fa}$  = eficiencia fisiológica del fertilizante aplicado ( $kg \cdot kg^{-1}$ )

$Y_{Fa}$  = rendimiento del tratamiento con aplicación de fertilizante (kg)

$Y_{0Fa}$  = rendimiento del tratamiento sin aplicación de fertilizante (kg)

$Ne_{Fa}$  = es el total de nutrimento extraído por la planta que recibió aplicación de fertilizante (kg)

$Ne_{0Fa}$  = es el total de nutrimento extraído por la planta sin la aplicación de fertilizante (kg).

#### **4.7.5 Eficiencia económica ( $EE_{Fa}$ )**

Buresh y Witt (2007), Clif (2009), Espinosa y García (2009) indican que este parámetro se refiere a: ¿cuánto ingreso adicional se produce por la inversión en la aplicación del fertilizante?

$$EE_{Fa} = (R_{Fa} - R_{0Fa}) / C_{Fa} \dots\dots\dots(7)$$

donde:

$EE_{Fa}$  = Eficiencia económica de la fertilización aplicada (\$/\$)

$R_{Fa}$  = Retorno monetario cuando se aplica fertilizante

$R_{0Fa}$  = Retorno monetario cuando no se aplica fertilizante

$C_{Fa}$  = Costo de la fertilización

#### **4.8. Estimación de la absorción de nutrimentos**

Los dos métodos más utilizados para determinar la absorción de nutrimentos son el uso de fertilizantes marcados con radioisótopos y los estudios de curvas de absorción.

##### **4.8.1. Uso de fertilizantes marcados con radioisótopos**

El uso de fertilizantes marcados con radioisótopos es una técnica que evalúa de manera directa la eficiencia del fertilizante. La ventaja del uso de trazadores reside en la posibilidad de medir la eficiencia del fertilizante en forma independiente de los datos de producción, inclusive cuando todavía no se observan diferencias visibles entre los tratamientos producida por la aplicación del fertilizante (FAO y IAEA 2001).

Calvache y López (2000) indican que el uso de rubidio - 85 ( $^{85}\text{Rb}$ ) permitió determinar cuál fue el mejor sitio de aplicación del fertilizante alrededor del tronco de la palma aceitera y además comparar la eficiencia entre el fraccionamiento de la aplicación de fertilizante respecto de una única aplicación por año.

También Ghelfi *et al.* (1984) evaluaron la eficiencia de diversas fuentes fosfóricas mediante la medición de la relación de las actividades específicas de  $^{32}\text{P}$  y  $^{33}\text{P}$  (radiactividad  $\cdot \text{mg}^{-1} \text{P}$ ) previamente enriquecidas con dichos radioisótopos.

Además se han desarrollado estrategias para medir la eficiencia del uso de los fertilizantes nitrogenados en sorgo (Espinosa *et al.* 2002), vid (Pino *et al.* 2002) y cítricos (Quiñones s.f.); así como para la caracterización de necesidades nutricionales de variedades de maíz (Bayardo *et al.* 2002) y estimaciones de la dinámica del nitrógeno en diferentes sistemas de labranza de conservación (Grageda s.f.) mediante la técnica isotópica  $^{15}\text{N}$ .

#### **4.8.2. Estudios de absorción de nutrimentos**

Según Bertsch (1998 y 2003) estudios de absorción son todos aquellos que tratan de contabilizar en alguna forma los requerimientos, la extracción o el consumo de nutrimentos que realiza un cultivo para completar su ciclo de vida. Éstos permiten conocer la cantidad de nutrimentos que es absorbida por un cultivo para producir un rendimiento en un tiempo definido.

La aplicación de los estudios de absorción se da principalmente en la estimación de la extracción total de nutrimentos, la estimación de la extracción por cosecha y la confección de las curvas de absorción. La extracción total del cultivo se utiliza principalmente para estimar el consumo de nutrimentos por rendimientos. La extracción por cosecha se utiliza principalmente para estimar la necesidad de restitución de las cantidades de nutrimentos exportadas. Las curvas de absorción

permiten conocer la acumulación de nutrimentos en el tiempo en los diferentes tejidos (Salguera 2006).

Si se relacionan las cantidades de nutrimentos absorbidos provenientes de los fertilizantes con rendimientos, entonces las técnicas de confección de curvas de absorción pueden ser utilizadas para la estimación de eficiencias de la fertilización.

El procedimiento general para confeccionar curvas de absorción es el siguiente (Bertsch 1998 y 2003):

- 1- Definir los periodos de muestreo según las etapas fenológicas del cultivo
- 2- En cada muestreo por etapa fenológica determinar la biomasa de cada tejido referida a una unidad de área
- 3- Determinar la concentración de nutrimentos totales por tejido y muestreo
- 4- Calcular la cantidad de nutrimentos absorbidos por tejido y muestreo a una unidad de área.

#### **4.9. Índices de análisis del crecimiento vegetal**

Las técnicas de curvas de absorción generan información que permiten el análisis del crecimiento (Azofeifa y Moreira 1998), lo cual permite completar los estudios de eficiencia de la aplicación de fertilizantes basado solamente en cosecha.

Medina (1977) indica que medir la distribución de los recursos energía, biomasa y minerales a intervalos consecutivos por parte de las plantas, permite distinguir comportamientos que reflejan la adecuación morfofuncional a condiciones ambientales específicas. Así, el desarrollo y crecimiento de una planta muestra relaciones cuantitativas que permiten comprender su capacidad de producción de biomasa.

Para el análisis de crecimiento de una plantación dada se imponen ciertos requisitos de homogeneidad, pues la medición del incremento en peso requiere la destrucción del individuo. Por ello la técnica del análisis de crecimiento se aplica a plantas cultivadas homogéneas (Azofeifa y Moreira 1998 y 2004, Rodríguez y Leihner 2006).

Para Demolon (1972) y Watson (1967), citados por Salguera (2006), el aumento de la materia seca está en función de la actividad asimiladora de la planta y del área foliar, la cual mide la eficiencia productiva de la planta. El incremento en la acumulación de materia seca puede describirse en función de las variables de área foliar e índice de asimilación neta, siendo el área fotosintética activa la principal responsable de las variaciones en la producción de materia seca (Salguera 2006).

Según Medina (1977) los índices empleados en el análisis del crecimiento de una planta pueden ser clasificados en dos tipos:

- a) Los que describen el proceso de crecimiento en términos fisiológicos, que se denominan índices fisiológicos
- b) Los que describen un estado de la distribución de la biomasa en el organismo de la planta en un momento dado, denominados índices morfológicos

Medina (1977), Bertsch (1998) y Rodríguez y Leihner (2006) describen según la clasificación anterior los índices para el análisis de crecimiento y las expresiones matemáticas para su cálculo conforme se muestra a continuación:

#### **4.9.1. Índices fisiológicos**

Los índices fisiológicos estiman la eficiencia del aparato fotosintético y la ganancia de materia seca en las plantas a través del tiempo.

##### **a. Índice absoluto de crecimiento (I.A.C.)**

El índice absoluto de crecimiento describe el aumento de materia seca en peso en un periodo de tiempo determinado. Se expresa en unidades de peso por unidad de tiempo (peso . tiempo<sup>-1</sup>).

$$IAC = (P_2 - P_1) / (t_2 - t_1) \dots\dots\dots 9$$

Donde :

$P_2$  = peso final en el tiempo  $t_2$

$P_1$  = peso inicial en el tiempo  $t_1$

$t_2$  = tiempo final

$t_1$  = tiempo inicial

### **b. Índice de crecimiento relativo (I.C.R.)**

Este índice expresa el incremento de peso (materia seca de un órgano o de la planta en total) por unidad de peso presente por unidad de tiempo determinado. Generalmente se utilizan las unidades gramos . gramos<sup>-1</sup> . semana<sup>-1</sup> (peso . peso<sup>-1</sup> . tiempo<sup>-1</sup>). El valor del índice de crecimiento relativo en un instante dado del crecimiento de la planta se calcula mediante la siguiente relación

$$\text{ICR} = (\text{Ln } (P_2) - \text{Ln } (P_1)) / (t_2 - t_1) \dots\dots\dots 10$$

Donde:

$\text{Ln } (P_2)$  = logaritmo natural del peso final

$\text{Ln } (P_1)$  = logaritmo natural del peso inicial

$t_2$  = tiempo final

$t_1$  = tiempo inicial

$(t_2 - t_1)$  = duración del periodo de estimación

### **c. Índice de crecimiento relativo foliar (I.C.R.F.)**

El índice de crecimiento relativo foliar se considera como el aumento de superficie foliar por unidad de área foliar ya existente en una unidad de tiempo específica. Generalmente se utilizan las unidades m<sup>2</sup> . dm<sup>-2</sup> . semana<sup>-1</sup> (área . área<sup>-1</sup> . tiempo<sup>-1</sup>).

$$\text{ICRF} = (\text{Ln}(A_2) - \text{Ln}(A_1)) / (t_2 - t_1) \dots\dots\dots 11$$

Donde:

$\text{Ln}(A_2)$  = logaritmo natural del área foliar final

$\text{Ln}(A_1)$  = logaritmo natural del área foliar inicial

$t_2$  = tiempo final

$t_1$  = tiempo inicial

#### **d. Índice de asimilación neta (I.A.N)**

Este índice describe el incremento de materia seca en peso de la planta por unidad de área foliar a través del tiempo. Normalmente se expresa en gramos de materia seca producida por  $\text{dm}^2$  de área foliar por semana,  $(\text{g} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{semana}^{-1})(\text{peso} \cdot \text{área}^{-1} \cdot \text{tiempo}^{-1})$ .

$$\text{IAN} = [(P_2 - P_1) / (t_2 - t_1)] * \{[\text{Ln}(A_2) - \text{Ln}(A_1)]\} / (A_2 - A_1) \dots\dots\dots 12$$

Donde:

$t_2$  = tiempo final

$t_1$  = tiempo inicial

$P_2$  = peso final en el tiempo  $t_2$

$P_1$  = peso inicial en el tiempo  $t_1$

$A_2$  = área foliar final

$A_1$  = área foliar inicial

$\text{Ln}(A_2)$  = logaritmo natural del área foliar final

$\text{Ln}(A_1)$  = logaritmo natural del área foliar inicial



#### 4.9.2. Índices morfológicos

##### a. Índice de área foliar (I.A.F.)

Se considera una medida del sistema asimilatorio. Describe la razón de la superficie foliar respecto a la superficie del suelo ocupada por la planta (área . área<sup>-1</sup>)

$$\text{IAF} = (\text{área foliar total}) \cdot (\text{área del suelo ocupado por la planta})^{-1};$$

(m<sup>2</sup> . m<sup>-2</sup>).....13

##### b. Razón de área foliar (R.A.F.)

Describe la relación de la superficie foliar respecto al peso seco total de la planta, para lo cual usualmente se utilizan las unidades de cm<sup>2</sup> . g<sup>-1</sup> (área/peso). Permite estimar cuánta área foliar fotosintética corresponde a cada gramo de materia seca de la planta total.

$$\text{RAF} = (\text{área foliar total}) \cdot (\text{peso seco de la planta total})^{-1} \dots\dots\dots 14$$

##### c. Razón de peso foliar (R.P.F.)

Describe la proporción de tejido foliar en peso respecto al peso total de la planta (peso/peso).

$$\text{RPF} = (\text{peso seco del follaje}) \cdot (\text{peso seco de la planta total})^{-1};$$

(g . g<sup>-1</sup>).....15

**d. Área foliar específica (A.F.E.)**

Describe la relación entre el área fotosintética respecto a su masa.

$$AFE = (\text{área foliar total}) \cdot (\text{peso seco del follaje})^{-1}; (\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}) \dots \dots \dots 16$$

**e. Razón de peso comercial (R.P.C.)**

Describe la proporción de biomasa que la planta ha invertido en sus frutos respecto al peso total de biomasa.

$$RPC = (\text{peso seco parte comercial}) (\text{peso seco de la planta total})^{-1};$$

$$(\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) \dots \dots \dots 17$$

**f. Razón de peso radical (R.P.R.)**

Describe la proporción de biomasa que la planta ha invertido en el sistema radical respecto a la biomasa total de la misma.

$$RPR = (\text{peso seco de raíces}) \cdot (\text{peso seco de la planta total})^{-1}$$

$$(\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) \dots \dots \dots 18$$

**g. Relación de raíces a hojas (R.R.H.)**

Describe la proporción de asimilados invertidos en la formación de los órganos subterráneos respecto a los órganos foto asimiladores.

$$RRH = (\text{peso seco de las raíces}) \cdot (\text{peso seco de follaje})^{-1}$$

$$(\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) \dots \dots \dots 19$$

**h. Relación de raíces a parte aérea (R.R.P.A.)**

Describe la proporción de asimilados invertidos en la formación de los órganos subterráneos respecto a los asimilados invertidos en la formación de órganos de la parte aérea.

RRPA = (peso seco de raíces) . (peso seco de parte aérea)<sup>-1</sup>

(g . g<sup>-1</sup>).....20

## X. Metodología

### 5.1. Ubicación

La investigación se llevó a cabo en el cantón Central de la provincia de Cartago; específicamente en un invernadero ubicado en los campos del Instituto Tecnológico de Costa Rica, con coordenadas planas Latitud 261500 y Longitud 410500 Lambert Norte y elevación de 1400 msnm.

### 5.2. Factores evaluados

#### 5.2.1. Fuentes fertilizantes

Se evaluaron las siguientes fuentes fertilizantes:

a. Granulado convencional (Gr): la fórmula aplicada fue 13,1 (N) – 10,4 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 15,8 (K<sub>2</sub>O) – 2,1 (MgO) – 3,2 (CaO) – 4,6 (S). La formulación fue física fue a partir de las siguientes materias primas: NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (33,5 % N), (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (21 % N; 23,7 % S), Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (15 % N; 27,1 % CaO), M.A.P. (10 % N, 50 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), KCl (60 % K<sub>2</sub>O), K-Mag (22% K<sub>2</sub>O, 18% MgO, 22 % S) y CaSO<sub>4</sub>.MgSO<sub>4</sub>(22 % CaO, 17% MgO, 19 % S).

b. Granulado de liberación lenta (LL): la fórmula aplicada fue 13,0 (N) – 10,6 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 15,8 (K<sub>2</sub>O) – 2,1 (Mg) – 3,1 (CaO) – 4,5 (S). La formulación física a partir de las siguientes materias primas de liberación lenta: 37-0-0 (agrocote), 38-0-0 (agrocote), 0-0-10

(agrocote) y 0-0-51 (agrocote). Además, en la formulación se emplearon las fuentes convencionales M.A.P., K-Mag, KCl,  $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$  y  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . La estructura de la mezcla dió como resultado un 76,64 % de N y un 56,56 % del  $\text{K}_2\text{O}$  en forma de liberación lenta.

La empresa Scotts Co. – Costa Rica suministró las materias primas de liberación lenta (agrocote, también conocido como poly-s); además se encargó de elaborar las fórmulas físicas del granulado convencional y del granulado de liberación lenta.

c. Hidrosoluble para fertirriego (Fr): se emplearon las siguientes materias primas, todas en formulación hidrosoluble: urea (46% N),  $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$  (21 % N; 23,7 % S), M.A.P. (12 % N, 61 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ),  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (50 %  $\text{K}_2\text{O}$ , 17 % S), KCl (62 %  $\text{K}_2\text{O}$ ),  $\text{MgSO}_4$  (17 % MgO, 14 % S) y  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (15 % N, 18 % CaO).

Con estas materias primas se elaboraron dos formulaciones, que se aplicaron separadamente:

Fórmula 1: 7,9 (N) – 10,5 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) – 15,6 ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 0 (MgO) – 0 (CaO) – 2,8 (S).

Fórmula 2: 5,1 (N) – 0 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) – 0 ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 2,1 (MgO) – 3,2 (CaO) – 1,7 (S).

Fórmula sumariada: 13 (N) – 10,5 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) – 15,6 ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 2,1 (MgO) – 3,2 (CaO) – 4,5 (S).

### **5.2.2. Dosis de las fuentes fertilizantes**

Las tres fuentes fertilizantes fueron formuladas tal que las cantidades de los nutrimentos aplicados por dosis fueron equivalentes (sección 3.4.1.). Esta condición se logró para N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO y CaO; elementos que se contemplaron en la investigación.

Para la selección de las dosis a evaluar se tomó como referencia la cantidad media de fertilizante aplicado por el productor, en iguales sistemas de producción en la región de estudio. A esta cantidad se le designó dosis 2 (D2); luego la dosis 1 (D1) correspondió a un 25 % más de fertilizante y la dosis 3 (D3) correspondió a un 25 % menos de fertilizante sobre la dosis 2.

La fertilización aplicada (kg . ha<sup>-1</sup>) con las diferentes dosis para cada fuente se presenta en el cuadro 5.

La fuente granulado convencional se aplicó cada 15 días; la cantidad de fertilizante respectiva por dosis y planta se aplicó en círculo alrededor de la misma.

La fuente granulado de liberación lenta se aplicó en dos fracciones iguales, a los 28 y 98 D.D.S., también en círculo alrededor de la planta.

La fuente hidrosoluble se aplicó junto con el riego por goteo cada semana, en este caso se aplicó la fórmula 1 (7,9 – 10,5 – 15,6 – 2,8

(S)) un día y al siguiente se aplicó la fórmula 2 (5,1 – 0 – 0 – 2,1 (MgO) – 3,2 (CaO) – 1,7 (S)).

Cuadro 5. Fertilizante aplicado ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) de tres fuentes en tres diferentes dosis en el experimento

<b>Fuente Fertilizante Dosis 1</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>MgO</b>	<b>CaO</b>
Convencional granulada	286,60	344,28	333,45	37,59	58,89
Liberación Lenta	287,69	344,28	334,09	38,06	53,21
Hidrosoluble	287,82	344,40	335,27	37,74	54,55
<b>Fuente Fertilizante Dosis 2</b>					
Convencional granulada	227,97	297,27	263,11	28,20	44,17
Liberación Lenta	228,79	297,27	263,59	28,54	39,90
Hidrosoluble	228,88	297,36	264,48	28,31	40,91
<b>Fuente Fertilizante Dosis 3</b>					
Convencional granulada	169,34	250,26	192,77	18,79	29,44
Liberación Lenta	169,89	250,26	193,09	19,03	26,60
Hidrosoluble	169,95	250,32	193,68	18,87	27,28

### 5.2.3 Tratamiento testigo

Se estableció un tratamiento adicional para cada una de las fuentes fertilizantes con cero fertilización al cual se le llamó testigo.

### 5.3. Acondicionamiento del suelo en el invernadero

Dentro del invernadero se pasó un rotador a una profundidad de 20 cm en promedio, luego se confeccionaron los surcos. Se tendieron las líneas de riego por goteo sobre los surcos, se extendieron los plásticos sobre las camas, se instalaron las tuberías, las válvulas de paso tipo "bola" y el respectivo "venturi" para los tratamientos con fertirriego.

#### **5.4. Establecimiento del cultivo en el invernadero**

El invernadero tiene 42,52 m de largo y 15,45 m de ancho. Se establecieron 12 surcos a lo largo del invernadero con 80 plantas cada uno, con una distancia de 48 cm entre plantas y 120 cm entre surcos. Para estas distancias de siembra la densidad fue de 17361 plantas por hectárea.

#### **5.5. Establecimiento de los tratamientos en el invernadero**

Los 12 surcos se dividieron en 3 grupos de 4 surcos cada uno y de manera aleatoria se ubicaron las fuentes fertilizantes hidrosoluble para fertirriego, granulado convencional y granulado de liberación lenta. Dentro de cada grupo se establecieron 10 subparcelas, cada una con 8 plantas a lo largo de los 4 surcos para un total de 32 plantas por cada unidad experimental. A las subparcelas se les asignó de manera aleatoria las 3 diferentes dosis, cada una con 3 repeticiones dejando la décima subparcela para el tratamiento testigo.

El periodo de evaluación fue de febrero a julio del 2009. Durante este periodo se registro en el invernadero una temperatura máxima de 28 oC, una temperatura mínima de 16 oC y una humedad relativa promedio del 86 %.



## 5.6. Momentos de aplicación del fertilizante

Al momento de la siembra se aplicó fertilizante de fórmula física 10-30-10 granulado (fertilización de arranque) en todos los tratamientos, excepto el testigo. Las cantidades aplicadas al momento de la siembra fueron:  $52,08 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $156,25 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$  y  $52,08 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Estas cantidades fueron incluidas como parte de la fertilización total en cada dosis y fuente.

De la semana 4 en adelante la fertilización se continuó con las diversas fuentes conforme lo previsto (sección 3.4.2.) (Cuadros del 6 al 14).

Cuadro 6. Total de nutrimentos aplicados ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  acumulado) en la dosis 1 de la fuente hidrosoluble en fertirriego en el experimento

Semana	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
0	52,08	156,25	52,08	0,00	0,00
1					
2					
3					
4	94,94	190,46	103,57	6,86	9,92
5	105,66	199,01	116,44	8,58	12,40
6	116,37	207,56	129,32	10,29	14,88
7	127,09	216,12	142,19	12,01	17,36
8	137,81	224,67	155,06	13,72	19,84
9	148,52	233,22	167,93	15,44	22,32
10	159,24	241,77	180,81	17,16	24,80
11	169,95	250,32	193,68	18,87	27,28
12	180,67	258,88	206,55	20,59	29,76
13	191,38	267,43	219,42	22,30	32,23
14	202,10	275,98	232,30	24,02	34,71
15	212,81	284,53	245,17	25,73	37,19
16	223,53	293,08	258,04	27,45	39,67
17	234,24	301,64	270,91	29,16	42,15
18	244,96	310,19	283,78	30,88	44,63
19	255,67	318,74	296,66	32,59	47,11
20	266,39	327,29	309,53	34,31	49,59
21	277,10	335,85	322,40	36,03	52,07
22	287,82	344,40	335,27	37,74	54,55

Cuadro 7. Total de nutrimentos aplicados ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  acumulado) en la dosis 2 de la fuente hidrosoluble en fertirriego en el experimento

Semana	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
0	52,08	156,25	52,08	0,00	0,00
1					
2					
3					
4	84,23	181,91	90,70	5,15	7,44
5	92,27	188,32	100,35	6,43	9,30
6	100,30	194,73	110,01	7,72	11,16
7	108,34	201,15	119,66	9,01	13,02
8	116,37	207,56	129,32	10,29	14,88
9	124,41	213,98	138,97	11,58	16,74
10	132,45	220,39	148,63	12,87	18,60
11	140,48	226,81	158,28	14,15	20,46
12	148,52	233,22	167,93	15,44	22,32
13	156,56	239,63	177,59	16,73	24,18
14	164,59	246,05	187,24	18,01	26,04
15	172,63	252,46	196,90	19,30	27,90
16	180,67	258,88	206,55	20,59	29,76
17	188,70	265,29	216,20	21,87	31,61
18	196,74	271,70	225,86	23,16	33,47
19	204,78	278,12	235,51	24,45	35,33
20	212,81	284,53	245,17	25,73	37,19
21	220,85	290,95	254,82	27,02	39,05
22	228,88	297,36	264,48	28,31	40,91

Cuadro 8. Total de nutrimentos aplicados ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  acumulado) en la dosis 3 de la fuente hidrosoluble en fertirriego en el experimento

Semana	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
0	52,08	156,25	52,08	0,00	0,00
1					
2					
3					
4	73,51	173,35	77,83	3,43	4,96
5	78,87	177,63	84,26	4,29	6,20
6	84,23	181,91	90,70	5,15	7,44
7	89,59	186,18	97,14	6,00	8,68
8	94,94	190,46	103,57	6,86	9,92
9	100,30	194,73	110,01	7,72	11,16
10	105,66	199,01	116,44	8,58	12,40
11	111,02	203,29	122,88	9,44	13,64
12	116,37	207,56	129,32	10,29	14,88
13	121,73	211,84	135,75	11,15	16,12
14	127,09	216,12	142,19	12,01	17,36
15	132,45	220,39	148,63	12,87	18,60
16	137,81	224,67	155,06	13,72	19,84
17	143,16	228,94	161,50	14,58	21,08
18	148,52	233,22	167,93	15,44	22,32
19	153,88	237,50	174,37	16,30	23,56
20	159,24	241,77	180,81	17,16	24,80
21	164,59	246,05	187,24	18,01	26,04
22	169,95	250,32	193,68	18,87	27,28

Cuadro 9. Total de nutrientes aplicados ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  acumulado) en la dosis 1 de la fuente granulado convencional en el experimento

Semana	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
0	52,08	156,25	52,08	0,00	0,00
1					
2					
3					
4	94,72	190,44	103,24	11,68	10,71
5					
6	116,04	207,53	128,82	17,52	16,06
7					
8	137,36	224,62	154,40	23,36	21,41
9					
10	158,68	241,72	179,98	29,20	26,77
11					
12	180,00	258,81	205,56	35,04	32,12
13					
14	201,32	275,91	231,14	40,88	37,47
15					
16	222,64	293,00	256,71	46,71	42,83
17					
18	243,96	310,09	282,29	52,55	48,18
19					
20	265,28	327,19	307,87	58,39	53,54
21					
22	286,60	344,28	333,45	64,23	58,89

Cuadro 10. Total de nutrimentos aplicados ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  acumulado) en la dosis 2 de la fuente granulado convencional en el experimento

Semana	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
0	52,08	156,25	52,08	0,00	0,00
1					
2					
3					
4	84,06	181,89	90,45	8,76	8,03
5					
6	100,05	194,71	109,64	13,14	12,05
7					
8	116,04	207,53	128,82	17,52	16,06
9					
10	132,03	220,35	148,00	21,90	20,08
11					
12	148,02	233,17	167,19	26,28	24,09
13					
14	164,01	245,99	186,37	30,66	28,11
15					
16	180,00	258,81	205,56	35,04	32,12
17					
18	195,99	271,63	224,74	39,42	36,14
19					
20	211,98	284,45	243,93	43,79	40,15
21					
22	227,97	297,27	263,11	48,17	44,17

Cuadro 11. Total de nutrimentos aplicados ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  acumulado) en la dosis 3 de la fuente granulado convencional en el experimento

Semana	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
0	52,08	156,25	52,08	0,00	0,00
1					
2					
3					
4	73,40	173,34	77,66	5,84	5,35
5					
6	84,06	181,89	90,45	8,76	8,03
7					
8	94,72	190,44	103,24	11,68	10,71
9					
10	105,38	198,98	116,03	14,60	13,38
11					
12	116,04	207,53	128,82	17,52	16,06
13					
14	126,70	216,08	141,61	20,44	18,74
15					
16	137,36	224,62	154,40	23,36	21,41
17					
18	148,02	233,17	167,19	26,28	24,09
19					
20	158,68	241,72	179,98	29,20	26,77
21					
22	169,34	250,26	192,77	32,12	29,44

Cuadro 12. Total de nutrientes aplicados ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  acumulado) en la dosis 1 de la fuente granulada de liberación lenta en el experimento

Semana	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
0	52,08	156,25	52,08	0,00	0,00
1					
2					
3					
4	169,89	250,26	193,09	30,84	26,60
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14	287,69	344,28	334,09	61,69	53,21
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					



Cuadro 13. Total de nutrimentos aplicados ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  acumulado) en la dosis 2 de la fuente granulado de liberación lenta en el experimento

Semana	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
0	52,08	156,25	52,08	0,00	0,00
1					
2					
3					
4	140,44	226,76	157,84	23,13	19,95
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14	228,79	297,27	263,59	46,26	39,90
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					

Cuadro 14. Total de nutrimentos aplicados ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  acumulado) en la dosis 3 de la fuente granulado de liberación lenta en el experimento

Semana	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
0	52,08	156,25	52,08	0,00	0,00
1					
2					
3					
4	110,99	203,26	122,59	15,42	13,30
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14	169,89	250,26	193,09	30,84	26,60
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					

## 5.7. Manejo del riego y el fertirriego

El sistema de riego por goteo se construyó con tubería Naam Paz<sup>®</sup> de diámetro interno de 15,60 mm, con goteros cada cuarenta centímetros y con un caudal de 1,66 litros por hora. Las tuberías distribuidoras fueron de PVC de 24 mm de diámetro, a las cuales se le instalaron válvulas de 24 mm de diámetro también de PVC a la entrada de cada subparcela donde se aplicó fertirriego. Además se instaló al inicio de la tubería distribuidora un inyector de fertilizante del tipo venturi Mazzei 283<sup>®</sup> de 25,4 mm.

Anteriores investigaciones en la misma área demostraron que riegos de 1,0 hora todos los días fueron suficientes para cubrir las necesidades hídricas del cultivo de chile dulce, por lo cual el fertilizante soluble se aplicó en dicha hora de riego. Se realizaron los riegos de las seis a las siete de la mañana. Los fertirriegos se realizaron en dos aplicaciones siendo una los jueves y la otra los viernes. En este segundo día se realizó la aplicación de calcio y magnesio, y en el primer día citado los otros nutrimentos; lo anterior con el fin de evitar insolubilización (precipitación) de elementos. Las aplicaciones se realizaron en 40 minutos las tres repeticiones a la vez con 20 minutos de lavado de tuberías.

## **5.8. Plagas y enfermedades que se presentaron durante el periodo de evaluación**

Algunos patógenos se presentaron con mayor intensidad de los 65 a los 113 días después de la siembra (DDS) con alguna importancia en el crecimiento foliar y la producción como lo fueron mildiu polvoso (*Leveillula taurina*) y el moho gris (se presentó principalmente en la flor causado por el hongo *Botritis cinerea*) respectivamente. Mildiu polvoso (*Leveillula taurina*) se controló con myclobutanil (Ralli 40-W) a 60 gramos en 200 litros de agua y folpet (Folpan 50 WP) (protector de contacto) a medio litro por cada 200 litros de agua, cada 7 días toda vez que se presentó y el Moho gris se combatió con iprodione (Rovral FLO) con dosis de medio litro en 200 litros de agua, mezclada con el fungicida dinocarbomato propineb (Antracol 70 WP) con dosis de 750 gramos en 200 litros de agua.

A continuación se indican enfermedades y plagas que se presentaron sin incidencias importantes: bolsa de agua en el fruto (producida por la bacteria *Erwinia carotovora*), pudrición basal del tallo (producida por los hongos *Phytophthora capsici* y *Fusarium sp*), Picudo (*Anthonomus eugenii*), Thrips (*Thrips palmi*), Ácaro (*Poliphagotarsonemus latus*), Mosca Blanca (*Bemisia tabasi*) y Minador de la hoja (*Liriomiza sativa*)

## 5.9. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con arreglo factorial de tres dosis crecientes en cada fuente fertilizante. Adicionalmente, se estableció un tratamiento al cual no se le aplicó fertilizante (testigo).

$$Y_{ij} = F_i + D_j + F_{Dij} + \text{Err}$$

Donde:

$F_i$  : fuentes

$D_j$  : dosis

$F_{Dij}$ : interacción de fuentes por dosis

Err : error

La separación de medias en el caso de hallarse diferencias estadísticas, se realizó mediante la prueba D.M.S. al 1 y 5 % . Adicionalmente se realizó una prueba de balance ortogonal que valoró las diferencias entre los tratamientos fertilizados y el tratamiento testigo.

El análisis de varianza se aplicó a las variables de producción de materia seca, a los indicadores de crecimiento fisiológicos y morfológicos y a las variables de cosecha. Además se realizó prueba de homogeneidad de varianzas (Bartlett) a los indicadores de crecimiento fisiológicos y morfológicos y a las variables de cosecha. Respecto a los valores de absorción de nutrimentos y los parámetros de eficiencia de la

fertilización no fue posible el análisis de varianza, debido a que el análisis químico de los distintos tejidos se realizó en muestras compuestas de las repeticiones.

## **5.10. Variables medidas**

### **5.10.1 Variables de cosecha**

Se identificaron tres plantas en los surcos centrales de cada unidad experimental para realizar las medidas de cosecha, estas representaron el 25 % del total de plantas de la parcela útil. Las cosechas se realizaron semanalmente a partir de la semana 12 hasta la 24. En cada cosecha se obtuvo el número y peso fresco de los frutos. Estas mediciones se realizaron dentro de una clasificación de calidad establecida previamente, en la cual se definieron tres grupos de calidad. La calidad 1 incluyó todos los frutos con peso mayor a 120 g, la calidad 2 a los frutos que se encontraron entre los pesos de 80 a 120 g y la calidad 3 a los frutos con pesos menores a 80 g. Estos ámbitos de calidad se asemejan a aquellos con que se comercializa esta hortaliza en la región de estudio.

### **5.10.2 Mediciones de biomasa y determinación de los índices de crecimiento por etapas fenológicas definidas**

De cada unidad experimental se muestrearon 2 plantas con competencia completa para un total de 6 plantas por cada tratamiento

(Fig.1). Los muestreos de plantas se realizaron a los 65, 93, 113, 141 y 169 días después de la siembra que correspondieron a diferentes etapas fenológicas del cultivo (Cuadro 15). Estos muestreos se realizaron siguiendo el procedimiento general para confección de curvas de absorción descrito en el punto 2.7.2. Se definieron los tejidos más importantes a saber raíces, hojas y flores, tallos y frutos y se cosecharon separadamente. Luego se determinaron los pesos secos para lo cual los tejidos se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron en una estufa a 70 °C hasta que alcanzaron peso constante. Previo al secado de las hojas se midió el área foliar total, para lo cual se utilizó un medidor de área foliar portátil (Area Meter 300 de ADC Bioscientific Ltd).

Con los datos anteriores se estimaron los índices morfológicos I.A.F. (ecuación 13), R.A.F (ecuación 14), R.P.C. (ecuación 17) y R.R.P.A.( ecuación 20). Además se estimaron los índices fisiológicos I.C.R. (ecuación 10), I.C.R.F. (ecuación 11) e I.A.N. (ecuación 12).

Parcela total				Bordes y muestreos			
c1	d1	e1	f1	c1, d1, e1 y f1 son borde			
c2	d2	e2	f2	c3 y e7 primer muestreo a las 65 días			
c3	d3	e3	f3	c5 y f2 segundo muestreo a las 93 días			
c4	d4	e4	f4	c7 y f6 tercer muestreo a las 113 días			
c5	d5	e5	f5	d2 y d6 cuarto muestreo a las 141 días			
c6	d6	e6	f6	e3 y f4 quinto muestreo a las 169 días y final de evaluación			
c7	d7	e7	f7	d4, e4 y e5 muestreo de producción			
c8	d8	e8	f8	c8, d8, e8 y f8 son borde			

Fig. 1: Matriz de muestreo de plantas con competencia completa utilizado durante el experimento

Cuadro 15. Etapas fenológicas donde se realizaron los muestreos de biomasa de chile dulce durante el experimento

<b>Muestreo</b>	<b>DDS</b>	<b>Descripción Etapa Fenológica</b>
1	0 - 65	Establecimiento y crecimiento vegetativo exponencial
2	65 - 93	Crecimiento vegetativo decreciente, floración e inicio de formación de frutos
3	93 - 113	Formación y maduración de frutos, fase inicial
4	113 - 141	Formación y maduración de frutos, fase intensa
5	141 - 169	Crecimiento vegetativo (2da etapa) y disminución de formación de frutos

### **5.10.3. Estimación de la absorción de nutrimentos y de las eficiencias de las fuentes fertilizantes**

Después de proceder con lo descrito en el punto 3.11.2 se molieron los diferentes tejidos secos para formar una muestra compuesta de las 6 plantas extraídas y que se llevó al Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica para su análisis químico. Con los resultados de las concentraciones de los elementos en las muestras (anexo 12) y los pesos secos referidos a hectárea, se estimó la absorción de nutrimentos por etapa fenológica y total.

Con la información anterior se calculó la eficiencia de recuperación del fertilizante por elemento valorado (ERFa, ecuaciones 4 y 5). Además con los datos de cosecha se determinó la eficiencia agronómica de las distintas fuentes evaluadas (EAFa, ecuación 3) y con los registros de costos e ingresos se calculó la eficiencia económica (EEFa, ecuación 8).



## **XI. Resultados**

### **6.1. Caracterización física y química del suelo del invernadero**

El suelo del invernadero no presentó horizonte A debido a su pérdida anterior por erosión. Los horizontes presentes son Bw, Cg y Cg2 hasta 100 cm de profundidad, cuya textura es arcillosa (> 84 % de arcilla). Los contenidos de humedad total que el suelo retiene son altos, pero el agua útil para las plantas es bajo, lo que concuerda con la cantidad de arcilla presente. Se manifiestan colores grisáceos tanto a nivel de moteos como de matriz en el horizonte C, que indican una aereación restringida en el perfil del suelo (Cuadro 3).

Si bien el suelo taxonómicamente se ubica en el orden Inceptisol (Gran grupo Eutrudepts), se determinó una reacción positiva a la prueba de NaF, lo que indica presencia de arcillas alofánicas.

El pH del suelo es ligeramente ácido y el porcentaje de saturación de acidez indica que no tiene problemas con la acidez intercambiable.

Además, el suelo según el análisis químico no mostró problemas de deficiencias nutricionales tanto en macroelementos como en microelementos (Cuadro 4).

Cuadro 3. Características físicas del suelo del sitio experimental del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

Horizontes	A*	Bw	Cg	Cg2
Profundidad (cm)	-	0 - 28	28 - 38	38 - > 100
% Arenas	-	0	0	0
% Arcillas	-	84,45	89,45	94,45
% limos	-	15,55	10,55	5,55
Nombre Textural	-	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Estructura	-	Bloques Subangulares. Mediana a muy fina	Masivo	Masivo
Kh (m/día)	-	0,33	0	0
Da (g/cm <sup>3</sup> )	-	1,14	1,23	1,08
%HV CC	-	47,25	51,27	56,50
%HV PMP	-	37,84	46,10	51,02
%HV AU	-	9,41	5,17	5,48
Macroporos	-	9,73	2,32	2,74
Mesoporos	-	9,41	5,17	5,49
Microporos	-	37,84	46,10	51,02
Porosidad	-	56,98	53,59	58,83
Táxonómia	Eutrudepts			
Color matriz	-	Gris rojizo oscuro (2,5 YR 4/1)h Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3)s	Pardo rojizo (5 YR 4/4)h Rojo amarillento (5 YR 5/8)s	Gris verduzco oscuro (Gley 4/1 5GY)h Gris (Gley 6/1 N)s
Color moteos	-	-	Gris verduzco oscuro (Gley 4/1 10GY)h Gris (Gley 5/1 10GY)s	Amarillo rojizo (5 YR 6/6)h Amarillo rojizo (5 YR 6/8)s

A\*: no se encuentra presente por erosión, h: color en húmedo, s: color en seco, Kh: conductividad hidráulica, Da: densidad aparente, %HVCC: porcentaje de humedad volumétrica a capacidad de campo, %HVPMP: porcentaje de humedad volumétrica a punto de marchitez permanente, %HVAU: porcentaje de humedad volumétrica de agua útil

Cuadro 4. Análisis químico del suelo del sitio experimental

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

Soluciones Extractoras: KCl y Olsen Modificado		pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
		H <sub>2</sub> O	ACIDE Z	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
		5,5	0,5	4	1	0,2	5			10	3	1	10
INVERNADERO 1	S-09- 09173	5,5	0,26	10,4 0	4,7 9	0,5 8	16,0 3	2	34	7,2	22	106	230

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los valores críticos generales para las soluciones extractoras usadas

**SA = Porcentaje de Saturación de Acidez = (Acidez/CICE)\*100**

**CICE = Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva = (Acidez+Ca+Mg+K)**

## 6.2. Absorción de nutrientes

### 6.2.1. Absorción de nutrientes en la fuente hidrosoluble

#### aplicada en fertirriego

Cuando se aplicó la fuente hidrosoluble la tendencia de absorción de los elementos N, P, Ca, Mg y K fue similar en el tiempo independientemente de la dosis aplicada (Fig. 2). Sin embargo, se observó una mayor absorción total en la dosis mayor (D1) para todos los elementos valorados.

En las dosis 1 y 2 se encontró la mayor absorción de nutrientes de los 0 a los 65 DDS que incluye las fases de establecimiento y crecimiento exponencial y de los 113 a los 141 DDS, periodo de máxima producción de fruto (Fig. 2).

En el caso de la dosis 3 (menor dosis) la absorción se comportó de forma similar de los 0 a los 65 DDS, pero a partir de esa edad se observó una absorción homogénea a través del desarrollo del cultivo (Fig. 2).

En general, se observó el siguiente orden de absorción:  $K > N > Ca > Mg \approx P$ .

Los ámbitos de absorción total que mostraron los elementos evaluados con la fuente hidrosoluble para las distintas dosis fueron: N = 112,59 (D2) a 160,93 (D1); P = 15,21 (D2) a 18,44 (D1); Ca = 41,93 (D3) a (D1) 54,50; Mg = 17,07 (D2) a 20,54 (D1) y K = 176,19 (D3) a 225,47 (D1)  $kg \cdot ha^{-1}$  (Cuadros 1.1, 1.2 y 1.3 del anexo).

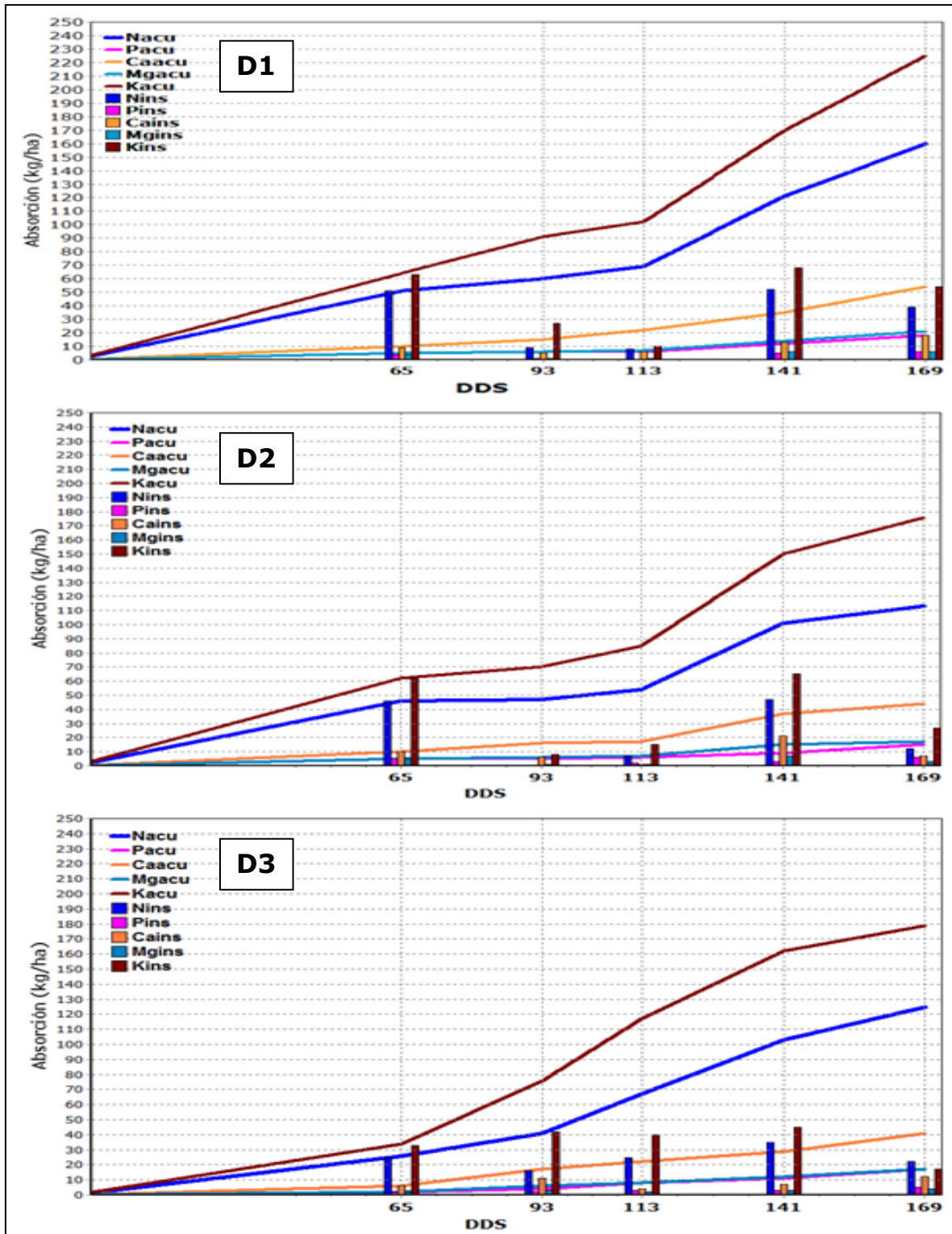


Fig.2: Absorción de nutrientes acumulada (acu) y absorción por etapa fenológica (ins) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente hidrosoluble en dosis crecientes (D1>D2>D3)

### **6.2.2. Absorción de nutrimentos en la fuente granulado convencional**

Con la fuente granulado convencional la tendencia de absorción de los elementos N, P, Ca, Mg y K fue similar en el tiempo para todas las dosis (Fig. 3). Para esta fuente las cantidades absorbidas de los nutrimentos entre dosis fueron similares.

En las dosis 1 y 2 se observó una mayor absorción de nutrimentos de los 0 a los 65 DDS y a partir de los 113 días hasta el último muestreo hecho (169 DDS). En la dosis 3 se observó una absorción más homogénea a través de todo el periodo evaluado, comportándose de manera similar a la fuente hidrosoluble en la misma dosis (Fig. 3).

En general se presentó una tendencia de absorción en el siguiente orden  $K > N > Ca > Mg \approx P$ , igual orden al que se presentó en la fuente hidrosoluble.

Los ámbitos de absorción total que presentaron los elementos nutritivos en la fuente granulado convencional en los diferentes dosis fueron N = 129,59 (D2) a 141,58 (D1); P = 13,03 (D2) a 16,42 (D3); Ca = 35,51 (D2) a 45,70 (D1); Mg = 14,71 (D2) a 18,52 (D1) y K = 163,42 (D2) a 188,63 (D3)  $kg \cdot ha^{-1}$  (Cuadros 1.4, 1.5 y 1.6 del anexo).

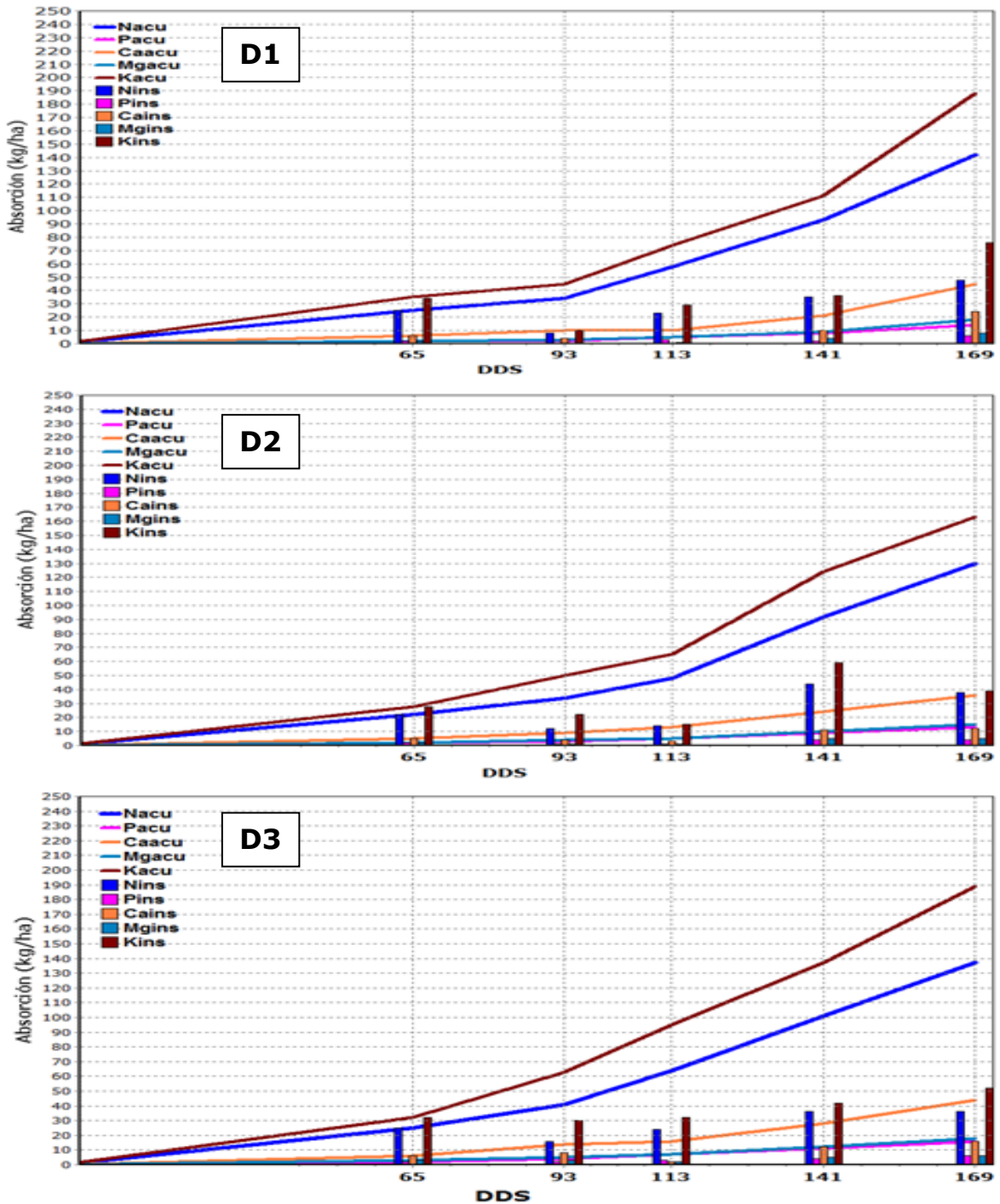


Fig.3: Absorción de nutrientes acumulada (acu) y absorción por etapa fenológica (ins) de Chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulado convencional en dosis crecientes (D1>D2>D3)

### **6.2.3. Absorción de nutrimentos en la fuente granulada de liberación lenta**

Cuando se aplicó la fuente granulada de liberación lenta la tendencia de absorción de los elementos N, P, Ca, Mg y K fue similar en el tiempo en las tres dosis evaluadas (Fig. 4). En esta fuente la dosis 2 (intermedia) produjo la mayor absorción de todos los elementos evaluados. En las tres dosis evaluadas se observó la mayor absorción de nutrimentos entre los 0 y los 65 DDS y de los 113 DDS hasta el último muestreo hecho (169 DDS). Comportamiento similar al hallado en las otras fuentes evaluadas.

Se observó en general una tendencia de absorción en el siguiente orden  $K > N > Ca > Mg \approx P$ , tal como se presentó con las fuentes granulada convencional e hidrosoluble.

Los ámbitos de absorción total que presentaron los elementos nutritivos en la fuente liberación lenta fueron N = 145,17 (D3) a 160,50 (D2); P = 16,48 (D1) a 20,85 (D2); Ca = 44,42 (D1) a 59,48 (D2); Mg = 19,05 (D1) a 23,29 (D2) y K = 201,89 (D1) a 240,55 (D2) kg . ha<sup>-1</sup> (Cuadros 1.7, 1.8 y 1.9 del anexo).



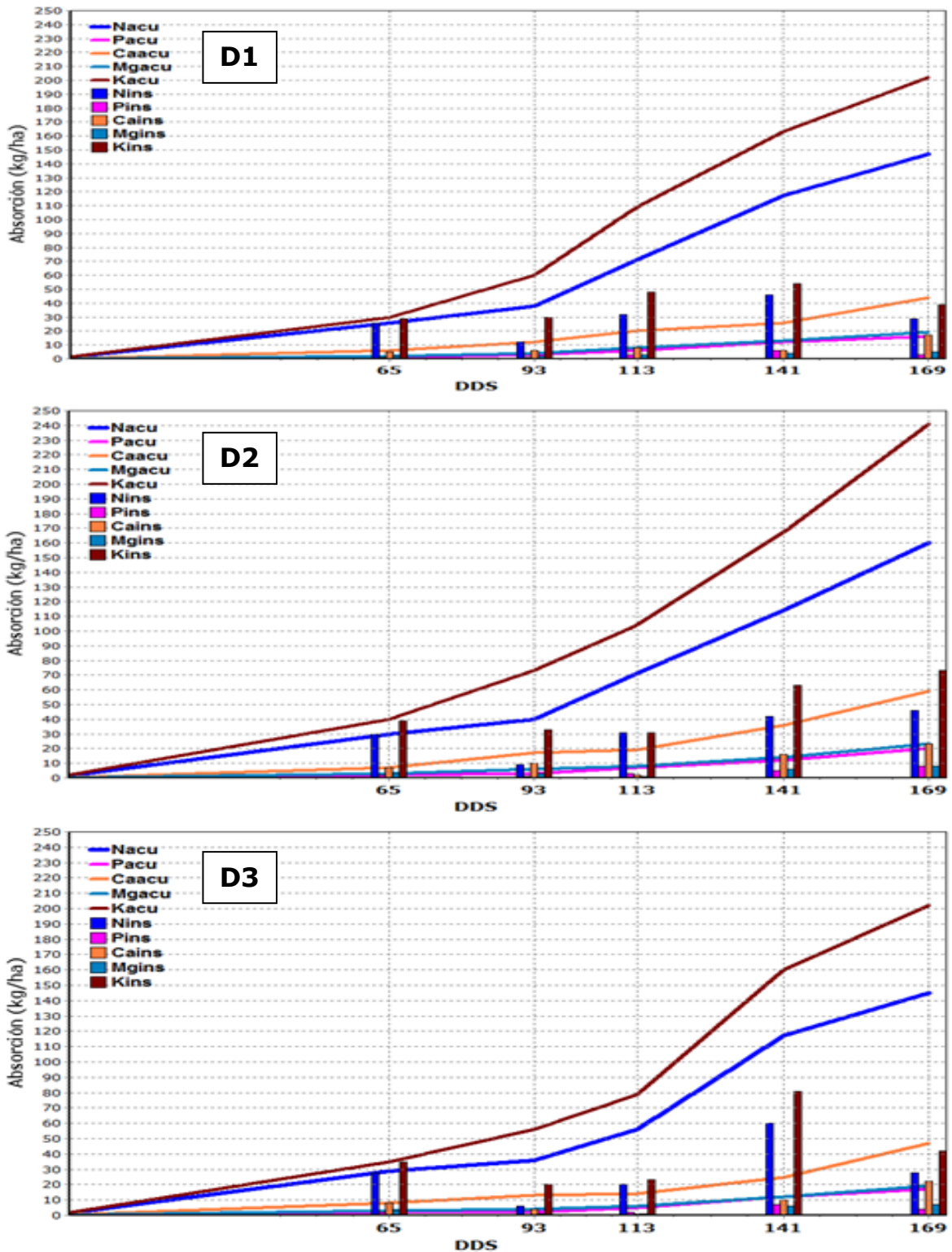


Fig.4: Absorción de nutrientes acumulada (acu) y absorción por etapa fenológica (ins) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente liberación lenta en dosis crecientes (D1>D2>D3)

Considerando las tres fuentes, la mayor absorción promedio de los nutrimentos, en particular de N y K, se observó con el fertilizante de liberación lenta.

#### **6.2.4. Absorción de nutrimentos en el tratamiento testigo (sin fertilización)**

La absorción de nutrimentos en el tratamiento sin fertilización presentó tendencias similares a las halladas con las fuentes fertilizantes, pero las cantidades absorbidas fueron menores (Fig. 5).

En general se observó una tendencia de absorción con el siguiente orden  $K > N > Ca > Mg \approx P$ . La absorción de los nutrimentos evaluados en el tratamiento sin fertilizar fue de 39,7 para N; 5,99 para P; 13,38 para Ca; 4,76 para Mg y 54,0 para K  $kg \cdot ha^{-1}$  (Cuadro 1.10 del anexo).

Las mayores absorciones de nutrimentos se presentaron de los 0 a los 65 DDS y de los 113 DDS hasta la fecha del último muestreo realizado (169 DDS), tal como ocurrió cuando se fertilizó con las diversas fuentes.

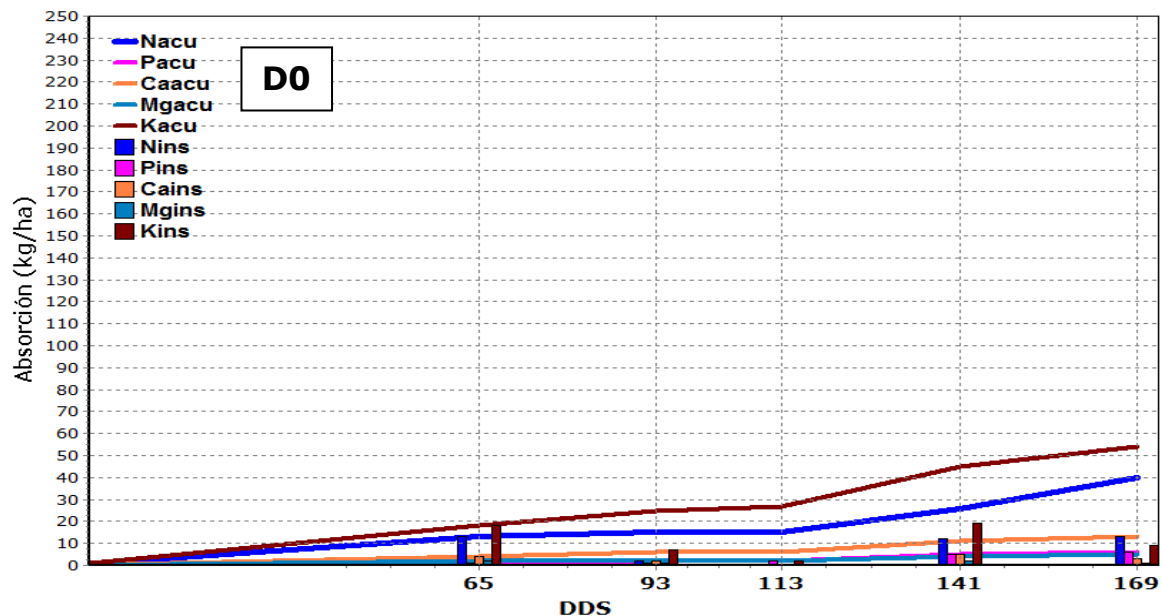


Fig. 5: Absorción de nutrientes acumulada (acu) y absorción por etapa fenológica (ins) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero sin aplicación de fertilizante (testigo)

### 6.3. Velocidad de absorción por etapa fenológica para las diferentes fuentes fertilizantes

Con la finalidad de reconocer aquellos periodos de mayor absorción de nutrientes, se dividió la cantidad del elemento absorbido entre el periodo de muestreo; a este índice se le llamó velocidad de absorción.

Las mayores velocidades de absorción se presentaron a partir de los 93 DDS en todas las fuentes, periodo que correspondió a la mayor producción de frutos.

Para los nutrimentos N, P, Ca, Mg y K la fuente que presentó la mayor velocidad de absorción fue liberación lenta (Cuadros 16, 17 y 18).

El orden de la velocidades de absorción promedio en las tres fuentes fertilizantes fue  $K > N > Ca > Mg \approx P$ , lo que concordó con las cantidades absorbidas totales.

Cuadro 16. Velocidad de absorción de nutrimentos promedio de tres dosis crecientes en la fuente hidrosoluble para fertirriego de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero

Elemento absorbido ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ )					
DDS	N	P	Ca	Mg	K
65,00	0,63	0,06	0,14	0,06	0,82
93,00	0,31	0,03	0,27	0,08	0,93
113,00	0,68	0,09	0,20	0,08	1,10
141,00	1,61	0,15	0,50	0,21	2,12
169,00	0,87	0,22	0,44	0,17	1,18
<b>Promedio</b>	<b>0,82</b>	<b>0,11</b>	<b>0,31</b>	<b>0,12</b>	<b>1,23</b>

Cuadro 17. Velocidad de absorción de nutrimentos promedio de tres dosis crecientes en la fuente granulado convencional de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero

Elemento absorbido ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ )					
DDS	N	P	Ca	Mg	K
65,00	0,37	0,04	0,09	0,04	0,49
93,00	0,43	0,04	0,19	0,06	0,74
113,00	1,01	0,12	0,10	0,08	1,28
141,00	1,38	0,12	0,40	0,17	1,64
169,00	1,46	0,20	0,62	0,23	2,00
<b>Promedio</b>	<b>0,93</b>	<b>0,10</b>	<b>0,28</b>	<b>0,12</b>	<b>1,23</b>

Cuadro 18. Velocidad de absorción de nutrimentos promedio de tres dosis crecientes en la fuente granulado de liberación lenta de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero

Elemento absorbido (kg . ha <sup>-1</sup> . día <sup>-1</sup> )					
DDS	N	P	Ca	Mg	K
65,00	0,44	0,04	0,11	0,04	0,54
93,00	0,34	0,04	0,25	0,09	1,00
113,00	1,40	0,15	0,20	0,12	1,71
141,00	1,78	0,23	0,40	0,20	2,37
169,00	1,25	0,20	0,75	0,26	1,84
<b>Promedio</b>	<b>1,04</b>	<b>0,13</b>	<b>0,34</b>	<b>0,14</b>	<b>1,49</b>

#### 6.4. Producción de biomasa seca por etapa fenológica

Los valores del peso seco de los distintos órganos de la planta por fase fenológica, se hallan en el Anexo 2.

##### 6.4.1. Fase de establecimiento y crecimiento exponencial (65 DDS)

A los 65 DDS se determinaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) sólo en el peso seco total de planta. Dichas diferencias se presentaron entre el tratamiento sin fertilización respecto a los tratamientos fertilizados, específicamente en la fuente hidrosoluble. Cabe indicar que entre dosis de la fuente hidrosoluble no hubo diferencias estadísticas en el peso total (Fig. 6, 7, 8 y 9; Cuadros del anexo 3).

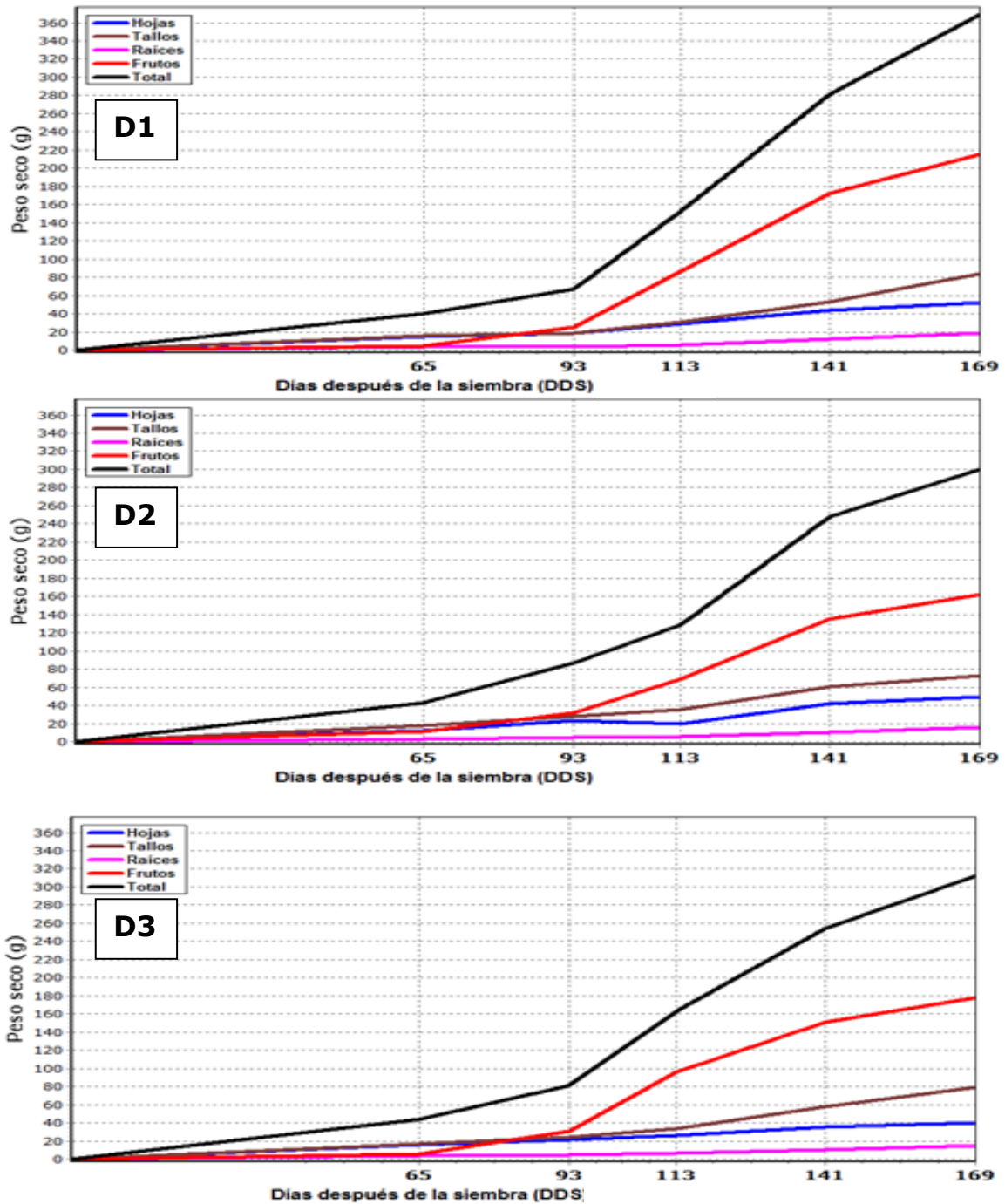


Fig. 6: Peso seco de hojas, tallos, raíces, frutos y total de planta de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente hidrosoluble aplicada en el fertirriego en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)

#### **6.4.2. Crecimiento vegetativo decreciente, floración e inicio de formación de frutos (93 DDS)**

Los pesos secos de las hojas y de la planta total en esta fase presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) debido a dosis, pero no así a fuentes fertilizantes, ni a la interacción de fuentes fertilizantes con las dosis (Fig. 6, 7, 8 y 9, Cuadros del anexo 4).

En el peso de hojas y peso seco total de planta se determinaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el tratamiento sin fertilización respecto a los tratamientos fertilizados, pero únicamente en la fuente hidrosoluble para fertirriego. No obstante, entre dosis de esa fuente no se determinaron diferencias estadísticas en ambas variables.

Los resultados anteriores indican que inicialmente la fuente hidrosoluble aplicada por fertirriego fue mayormente absorbida, hecho que se reflejó en una mayor producción de materia seca.

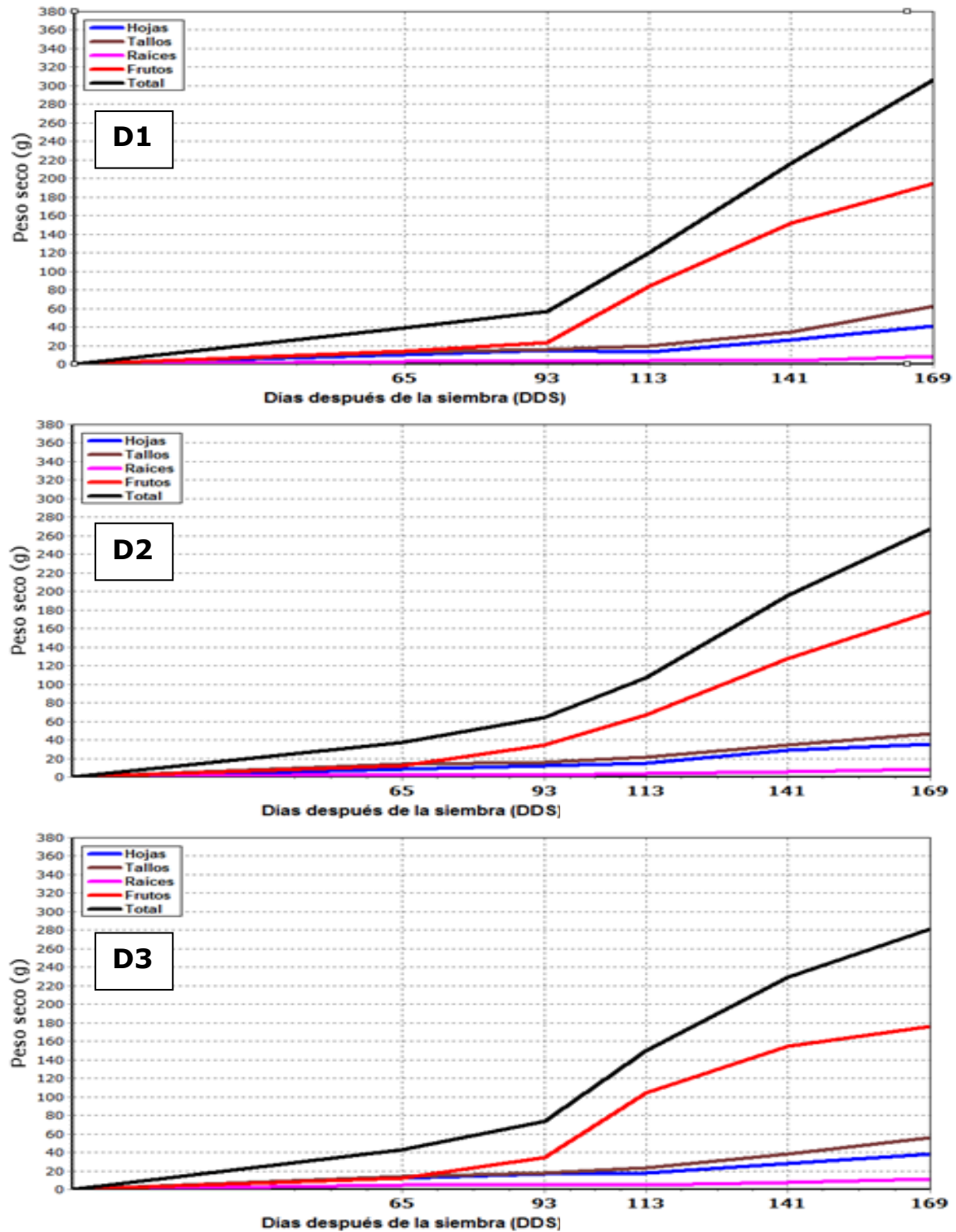


Fig. 7: Peso seco de hojas, tallos, raíces, frutos y total de planta de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulado convencional en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)



### **6.4.3 Formación y maduración de frutos, fase inicial (113 DDS)**

En esta fase las biomásas secas de hojas, de frutos y de planta total mostraron diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) debida sólo a dosis y la biomasa seca de raíz varió estadísticamente ( $p < 0,05$ ) debido a la interacción fuente por dosis.

En cuanto a la biomasa seca de hojas, frutos y de planta total se hallaron diferencias estadísticas únicamente entre el tratamiento sin fertilización y los tratamientos fertilizados independientemente de la fuente. En todos los casos los mayores pesos secos se encontraron en los tratamientos fertilizados, sin mostrar diferencias estadísticas entre sí (Fig. 6, 7, 8 y 9, Cuadros del anexo 5).

El menor peso de raíz se encontró en el tratamiento granulado convencional con la mayor dosis. Este efecto pudo ser causado por toxicidad o un aumento excesivo del potencial osmótico en la región radical que afectara la absorción de agua. Debe acotarse que este efecto se observó solamente en esta fase de crecimiento.

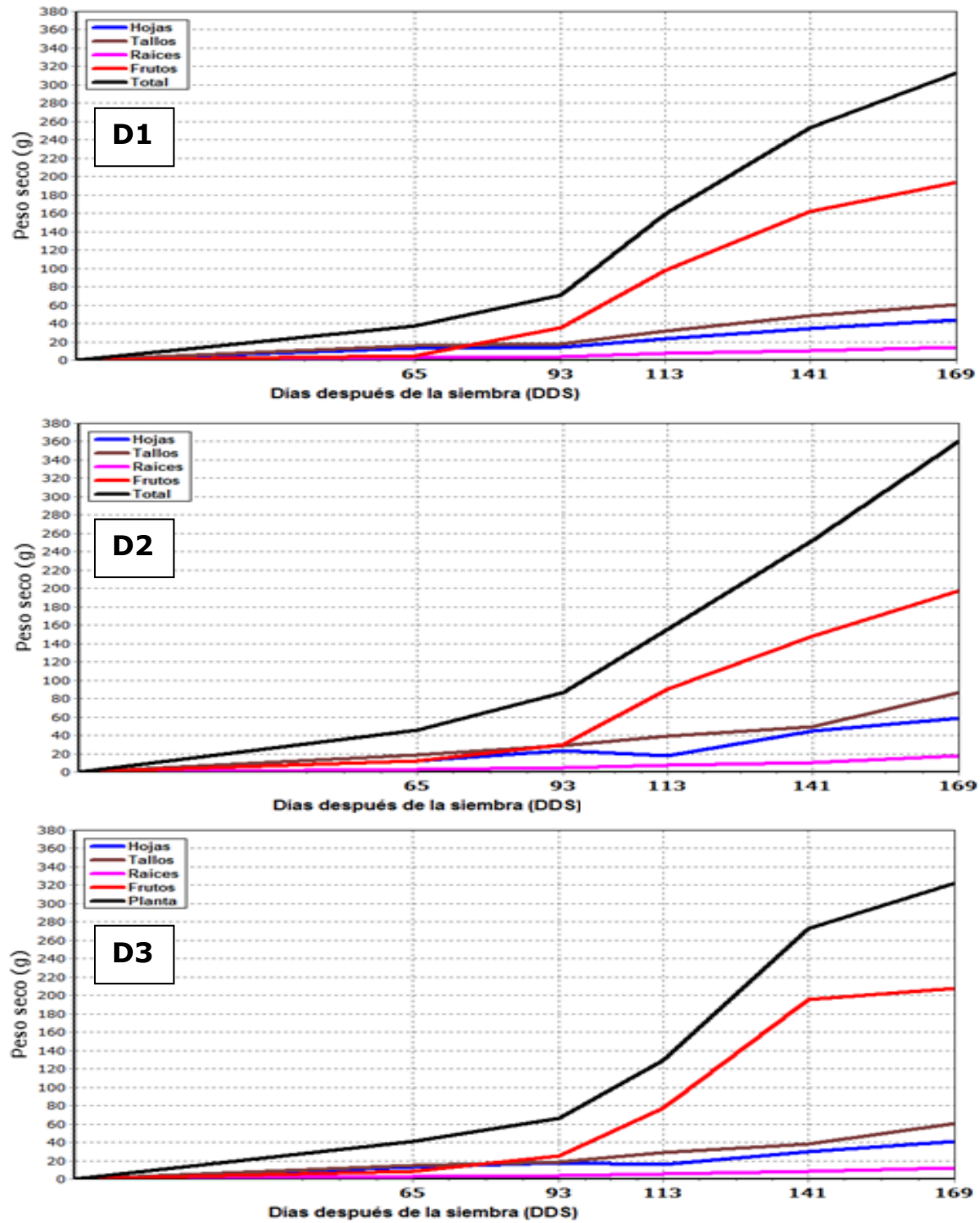


Fig. 8: Peso seco de hojas, tallos, raíces, frutos y total de planta de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulada de liberación lenta en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)

#### 6.4.4. Formación y maduración de frutos, fase intensa (141 DDS)

A los 141 DDS las biomásas secas de hojas y frutos mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) debidas a dosis. Se determinó mayor peso seco de ambos órganos cuando se aplicó fertilizante respecto al tratamiento no fertilizado, independientemente de la fuente (Fig. 6, 7, 8 y 9; Cuadros del anexo 6).

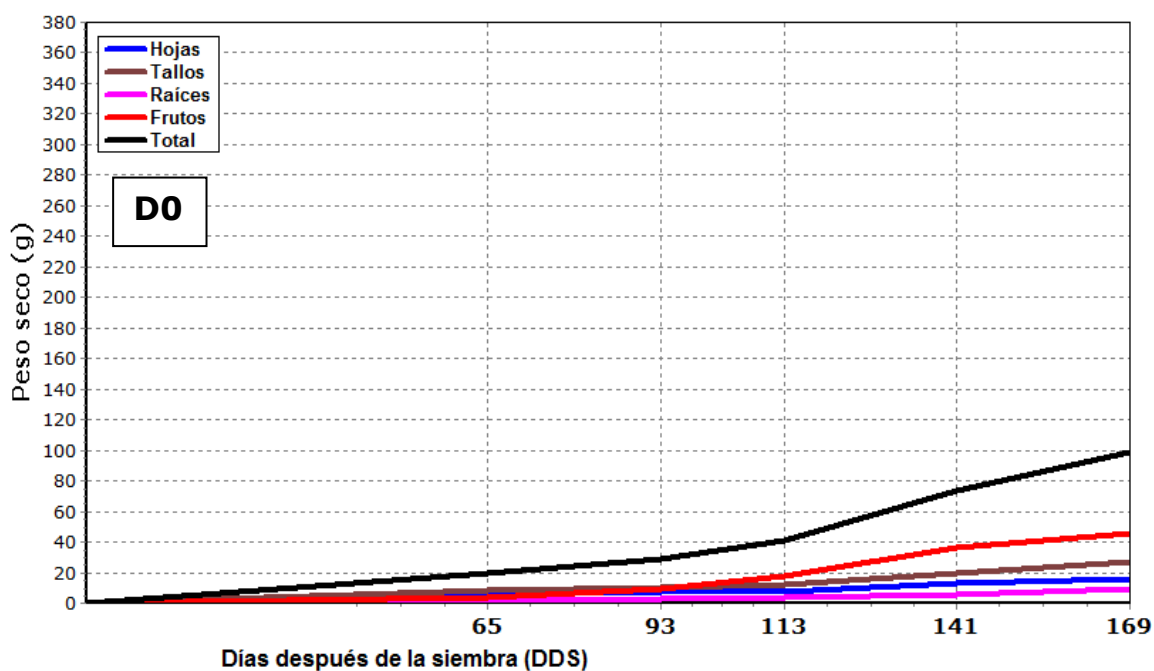


Fig. 9: Peso seco de hojas, tallos, raíces, frutos y total de planta de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en el tratamiento testigo

#### **6.4.5 Fase de crecimiento vegetativo segunda etapa y disminución de formación de frutos (169 DDS)**

En esta fase la biomasa seca de hojas, frutos y total de planta presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) debidas a dosis, independientemente de las fuentes, pero únicamente respecto al tratamiento no fertilizado, que mostró los menores valores de biomasa (Fig. 6, 7, 8 y 9, Cuadros del anexo 7). En todos los casos no hubo diferencias entre dosis de las distintas fuentes evaluadas.

### **6.5 Análisis de crecimiento**

En el anexo 13 se puede observar las pruebas de homogeneidad de varianzas para los índices morfológicos y fisiológicos.

#### **6.5.1. Índices fisiológicos**

##### **i. Índice de crecimiento relativo (ICR)**

Las curvas del índice de crecimiento relativo del chile fueron similares entre fuentes fertilizantes y dosis durante el periodo de evaluación, sin mostrar diferencias estadísticas. Sin embargo el tratamiento testigo mostró en los primeros 65 DDS ( fase de crecimiento exponencial) valores de ICR significativamente menores ( $p < 0,01$ ) respecto de los tratamientos fertilizados (Fig. 10, Cuadros anexo 9).

Se observó durante el periodo antes indicado el mayor incremento del índice de crecimiento relativo, que alcanzó un valor promedio para los tratamientos fertilizados de  $0,061 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$  a los 65 DDS. Luego se determinó otro incremento de este índice de los 93 a los 113 DDS de menor magnitud ( $0,039 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$  promedio para los tratamientos fertilizados a los 113 DDS) que correspondió al aporte de biomasa de los frutos para esa fecha ya formados.

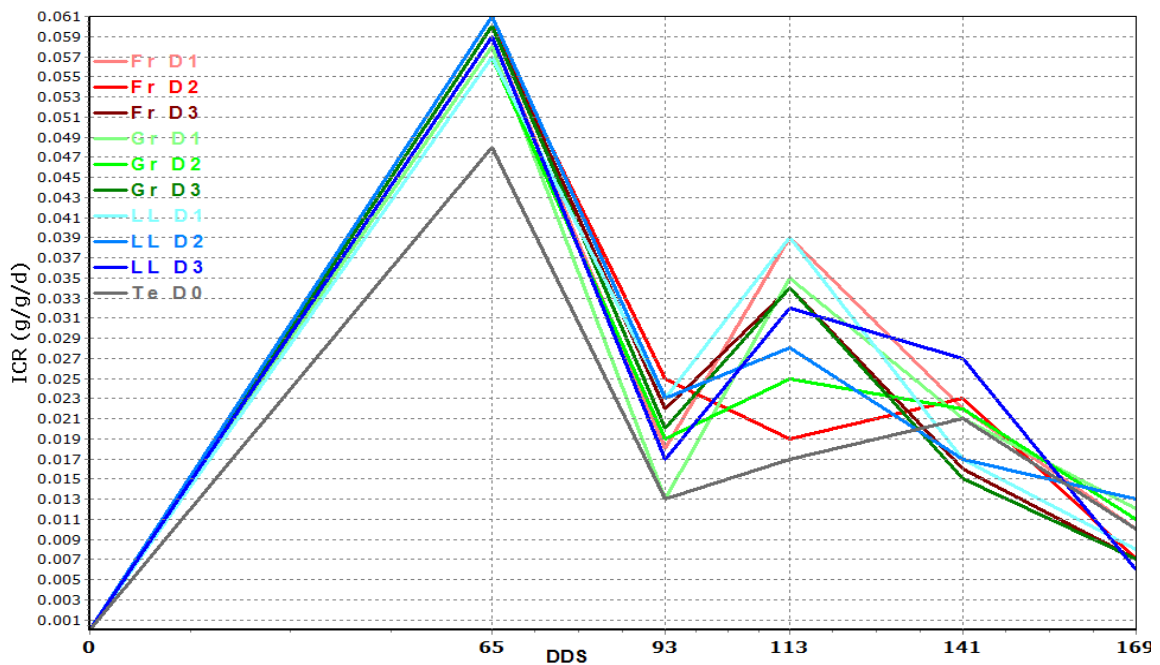


Fig. 10: Variación del índice de crecimiento relativo de chile dulce (c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)

## ii. Índice de crecimiento relativo foliar (ICRF)

Las curvas del índice de crecimiento relativo foliar del cultivo mostraron un comportamiento similar entre tratamientos fertilizados a través del periodo de evaluación, sin mostrar diferencias estadísticas debidas a fuentes fertilizantes o dosis. No obstante el tratamiento testigo mostró un valor de ICRF estadísticamente menor ( $p < 0,01$ ) respecto de los tratamientos fertilizados a los 65 DDS (Fig. 11, Cuadros anexo 9).

El mayor incremento del índice de crecimiento foliar relativo se observó en el periodo de la 0 a los 65 DDS (fase de crecimiento exponencial), que alcanzó un valor promedio para los tratamientos fertilizados de  $0,125 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$  a los 65 DDS.

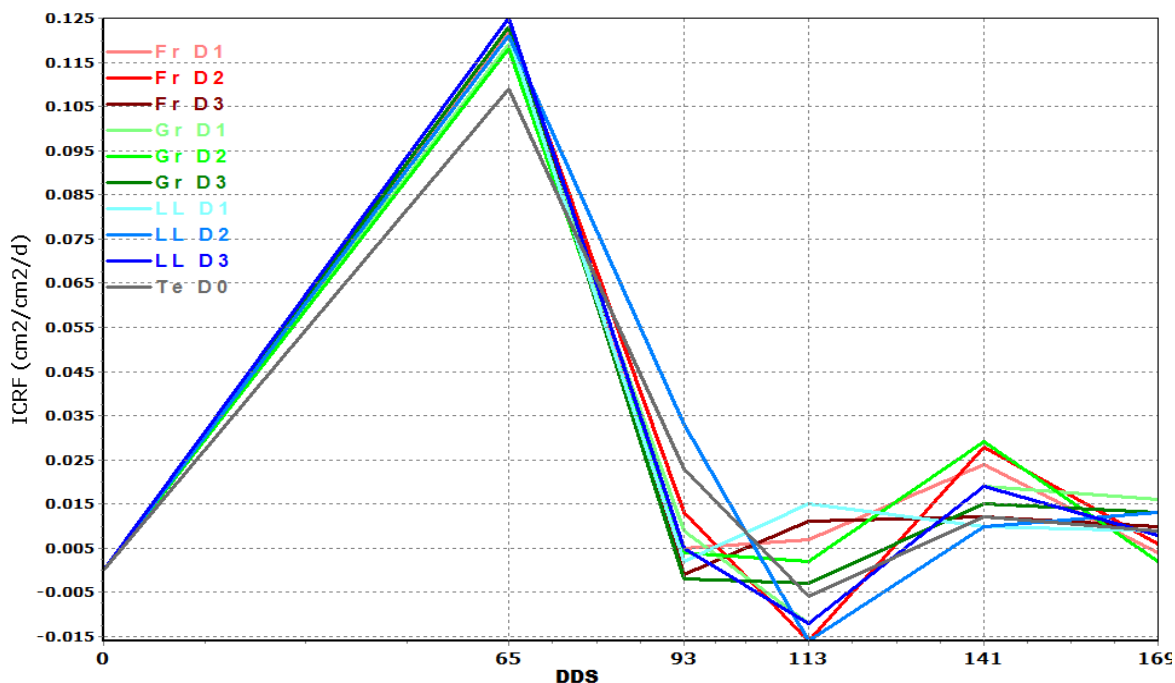


Fig. 11: Variación del índice de crecimiento relativo foliar de chile dulce (c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)

### iii. Índice de asimilación neta (I.A.N.)

Las curvas del índice de asimilación neta del chile fueron similares entre fuentes y dosis durante el periodo de evaluación, sin mostrar diferencias estadísticas a excepción del testigo en la semana 16 (Fig. 12, Cuadros anexo 9).

Se observó durante el periodo de las 0 a los 9 SDS (semanas después de la siembra) (fase de crecimiento exponencial) un crecimiento significativo del IAN en todos los tratamientos, debido a un aumento significativo de la biomasa aérea. Luego de los 16 a los 20 SDS (fase

intensa de formación de frutos) se determinó un segundo incremento de este índice asociado al aporte de biomasa por parte de los frutos formados, de manera similar al comportamiento encontrado en el índice de crecimiento relativo. Debe señalarse que en el segundo periodo antes citados el tratamiento testigo mostró estadísticamente ( $p < 0,05$ ) menores valores de IAN respecto a los tratamientos fertilizados.

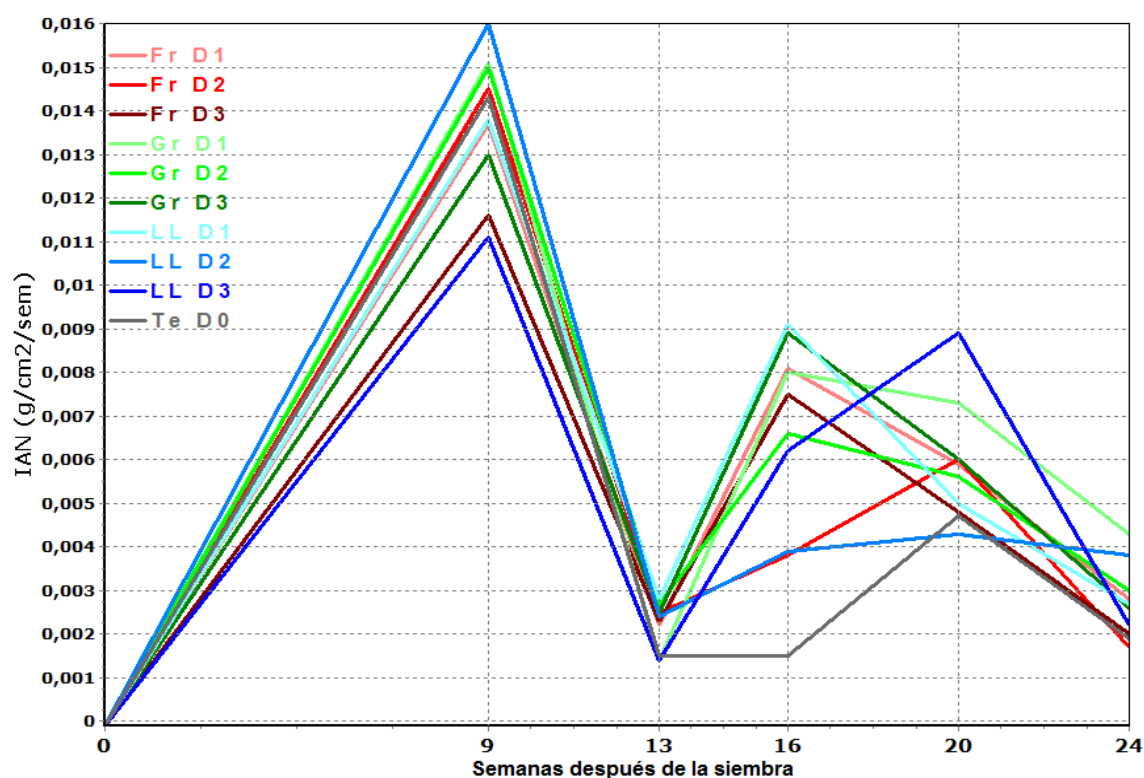


Fig. 12: Variación del índice de asimilación neta de chile dulce (c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes ( $D1 > D2 > D3$ )



## **6.5.2. Índices morfológicos de crecimiento**

### **i. Índice de área foliar (IAF)**

Las curvas del índice del área foliar mostradas por el cultivo fueron similares entre fuentes fertilizantes y dosis durante el periodo de evaluación, sin mostrar diferencias estadísticas. Sin embargo, el tratamiento testigo mostró a lo largo del ciclo del cultivo valores de IAF significativamente menores ( $p < 0,01$ ) respecto de los tratamientos fertilizados (Fig. 13, Cuadros anexo 8).

Se observó durante el periodo de los 93 a los 113 D.D.S. una disminución del IAF en todos los tratamientos, que coincidió con la mayor incidencia de plagas y enfermedades en el cultivo. Aparte de este evento, el índice de área foliar mostró un comportamiento de crecimiento lineal en el tiempo.

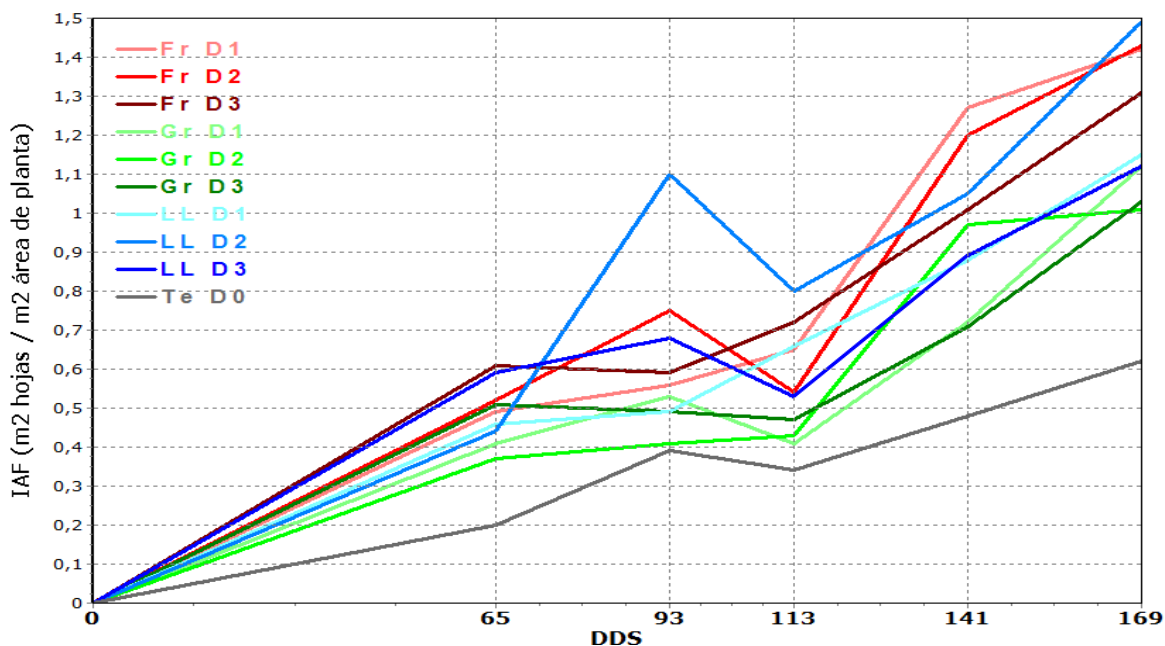


Fig. 13: Variación del índice de área foliar de chile dulce (c.v.Nathalie)

en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr) granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).

## ii. Razón de área foliar (RAF)

Las curvas de la razón de área foliar del chile mostraron un comportamiento similar entre tratamientos fertilizados a través del periodo de evaluación, sin mostrar diferencias estadísticas debidas a fuentes fertilizantes o dosis. No obstante, el tratamiento testigo mostró valores de IAF estadísticamente mayores ( $p < 0,01$ ) respecto de los tratamientos fertilizados, a partir de los 93 DDS y hasta el final del ciclo (Fig. 14, Cuadros anexo 8)

Si bien en el tratamiento testigo se afectó negativamente tanto el peso de la biomasa total de planta como el del área foliar, el primer parámetro se vió mayormente disminuido; además debe considerarse la menor formación de frutos en este tratamiento. Así al calcular el RAF se obtuvo relativamente mayores valores que en los tratamientos fertilizados.

El mayor incremento de la razón de área foliar se observó en el periodo de los 0 a los 65 DDS (fase de crecimiento vegetativo exponencial). Luego este índice disminuyó debido mayoritariamente al aporte de biomasa por parte de la formación de frutos.

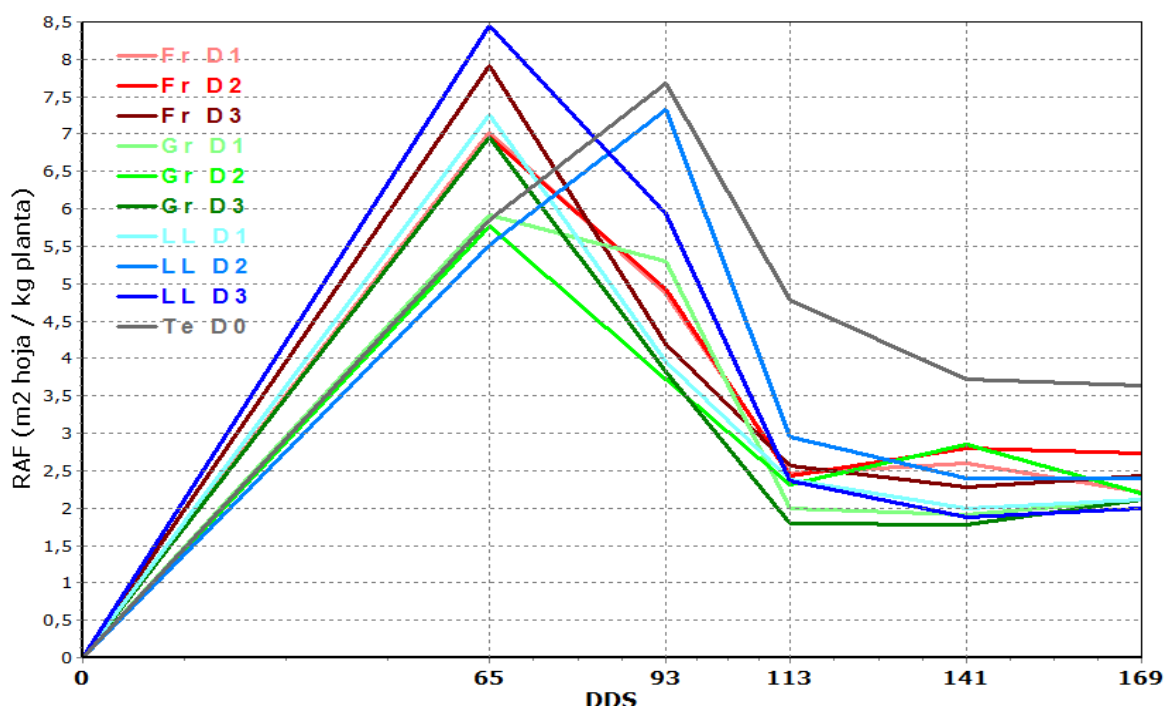


Fig. 14: Variación de la razón de área foliar de chile dulce (c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).

### **iii. Razón de peso comercial (RPC)**

Las curvas de la razón de peso comercial del cultivo fueron similares entre fuentes fertilizantes y dosis durante el periodo de evaluación, sin mostrar diferencias estadísticas. Sin embargo, el tratamiento testigo mostró a partir de los 113 DDS (fase intensa de maduración de frutos) y hasta el final del ciclo valores de RPC significativamente menores ( $p < 0,01$ ) respecto de los tratamientos fertilizados (Fig. 15, Cuadros anexo 8).

Se observó el mayor incremento de la razón de peso comercial en el periodo de los 65 y hasta los 113 DDS (formación y maduración de frutos, fase inicial). Luego este índice se estabilizó en un valor medio de 0,60 para los tratamientos fertilizados.

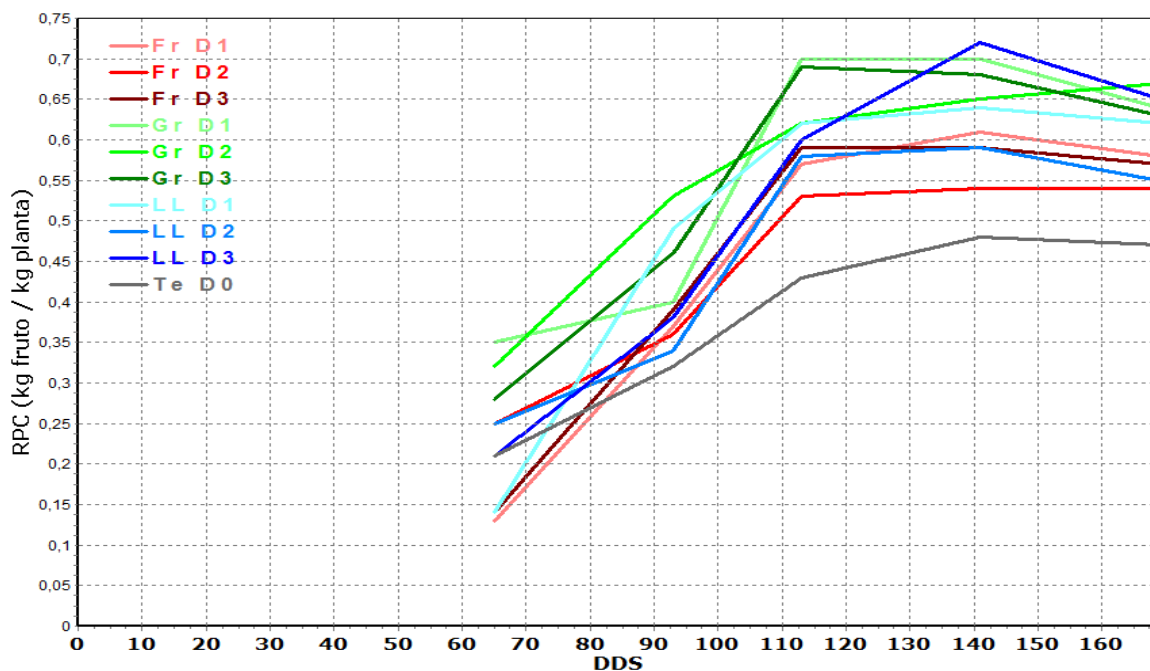


Fig. 15: Variación de la razón de peso comercial de chile dulce

(c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).

#### iv. Relación de raíces a parte aérea (RRPA)

Las curvas de la relación de raíces a parte aérea del chile mostraron un comportamiento similar entre tratamientos fertilizados a través del periodo de evaluación, sin mostrar diferencia estadística debidas a fuentes fertilizantes o dosis. No obstante, el tratamiento testigo mostró valores de RRPA estadísticamente mayores ( $p < 0,01$ ) respecto de los tratamientos fertilizados, a partir de los 93 DDS y hasta el final del ciclo de cultivo (Fig. 16, Cuadros anexo 8).

El comportamiento del tratamiento testigo obedece a un mayor desarrollo del órgano (raíz) más cercano a una fuente de nutrientes limitada (suelo), efecto denominado sumidero.

El mayor incremento de la razón de raíz a parte aérea, se observó en el periodo de las 0 a los 65 DDS (fase de crecimiento exponencial).

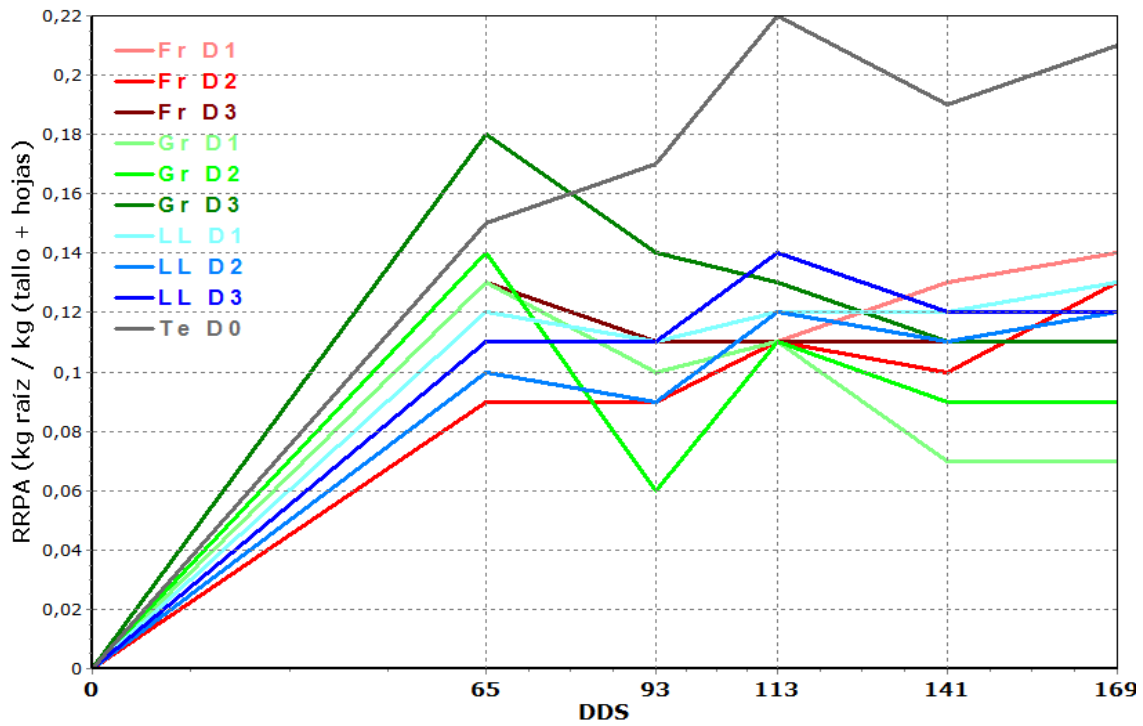


Fig. 16: Variación de la relación de raíces a parte aérea de chile dulce (c.v.Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).

## **6.6. Análisis de la producción con base al peso fresco total y peso fresco de primera, segunda y tercera calidad**

En el anexo 12 se puede observar las pruebas de homogeneidad de varianzas para la variable de producción tanto en el número de frutos como en el peso fresco producido.

Los valores de peso fresco de cosecha de los diversos tratamientos se presentan en el anexo 10.

Las fuentes fertilizantes no produjeron diferencias estadísticas en la cosecha total, ni en el peso de cosecha de frutos clasificados como primera, segunda y tercera clase (Fig. 17 y 18, cuadros del anexo 11)

Para las dosis se hallaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la producción total y frutos de primera calidad, pero éstas se observaron únicamente entre los tratamientos fertilizados respecto al tratamiento no fertilizado.

Los rendimientos totales promedio alcanzados fueron de  $36,94 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  para la fuente hidrosoluble aplicada en fertirriego,  $36,68 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  para la fuente granulado convencional y de  $38,81 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  para la fuente granulado de liberación lenta. Cabe indicar que en anteriores trabajos hechos en el mismo sitio se alcanzaron cosechas similares a las informadas (Villalobos *et al.* 2005).

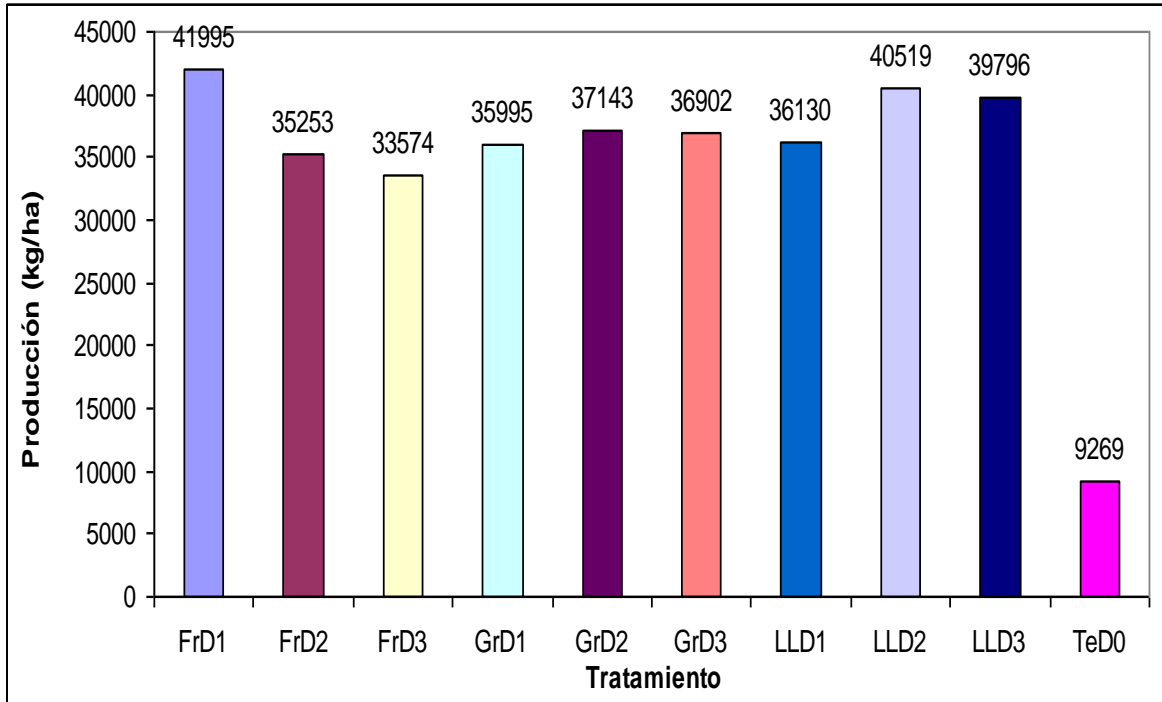


Fig. 17: Variación de la producción total de frutos de peso fresco de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).



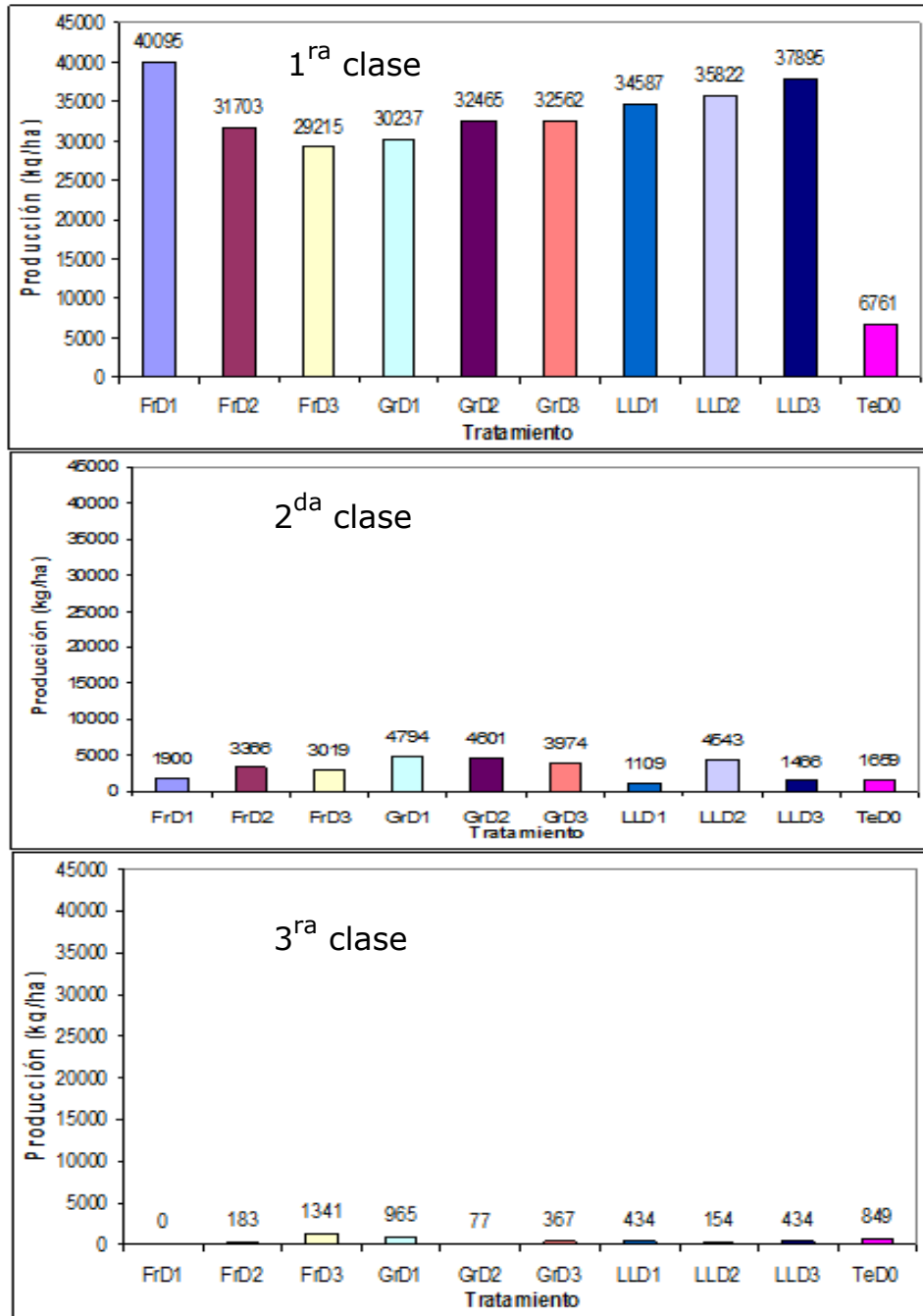


Fig. 18: Variación de la producción de frutos de primera, segunda y tercera clase (peso fresco) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).

### **6.7. Análisis de la cosecha con base al número de frutos total y número de frutos de primera segunda y tercera calidad**

En cuanto al número de frutos total y el número de frutos de primera clase hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) debidas a la dosis aplicadas, pero no respecto de las fuentes fertilizantes (Fig. 19 y 20, cuadros del anexo 11).

El número de frutos total y número de frutos de primera clase fue mayor ( $p < 0,05$ ) en los tratamientos fertilizados respecto al tratamiento no fertilizado, independientemente de las dosis aplicadas (Fig. 19 y 20).

No se hallaron diferencias estadísticas respecto al número de frutos de segunda y tercera calidad debido a fuentes o dosis. Tampoco el tratamiento testigo se diferenció de los tratamientos fertilizados en estas dos calidades

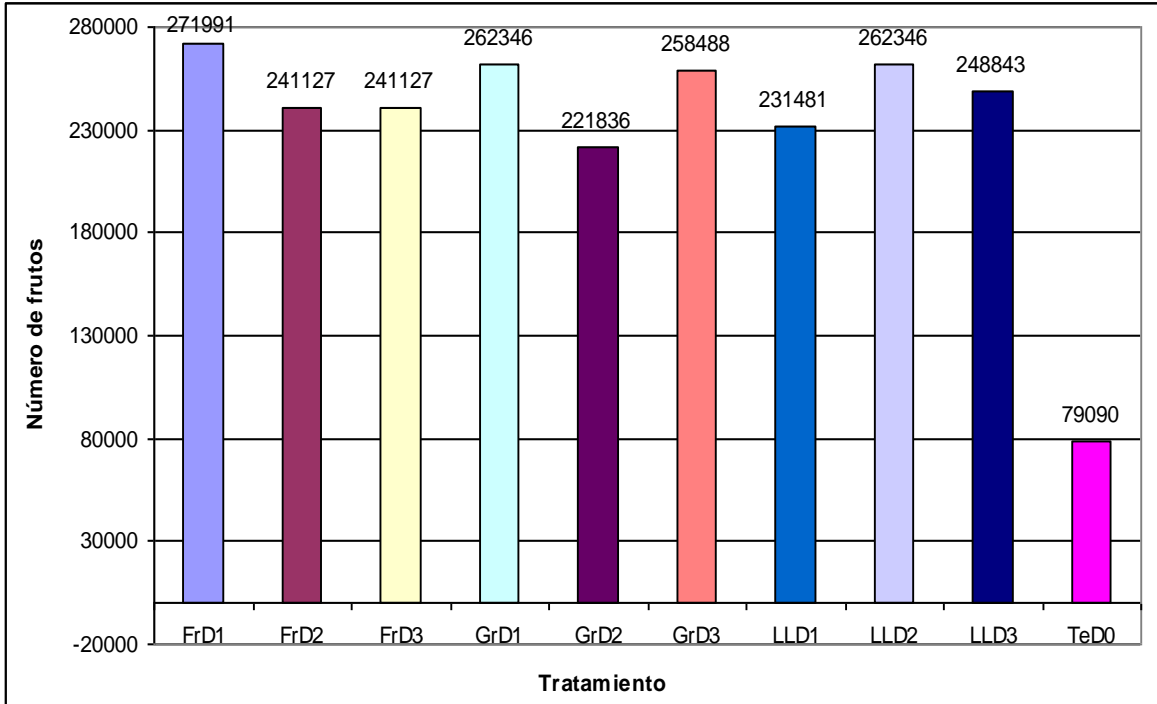


Fig. 19: Variación del número total de frutos de peso fresco de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3).

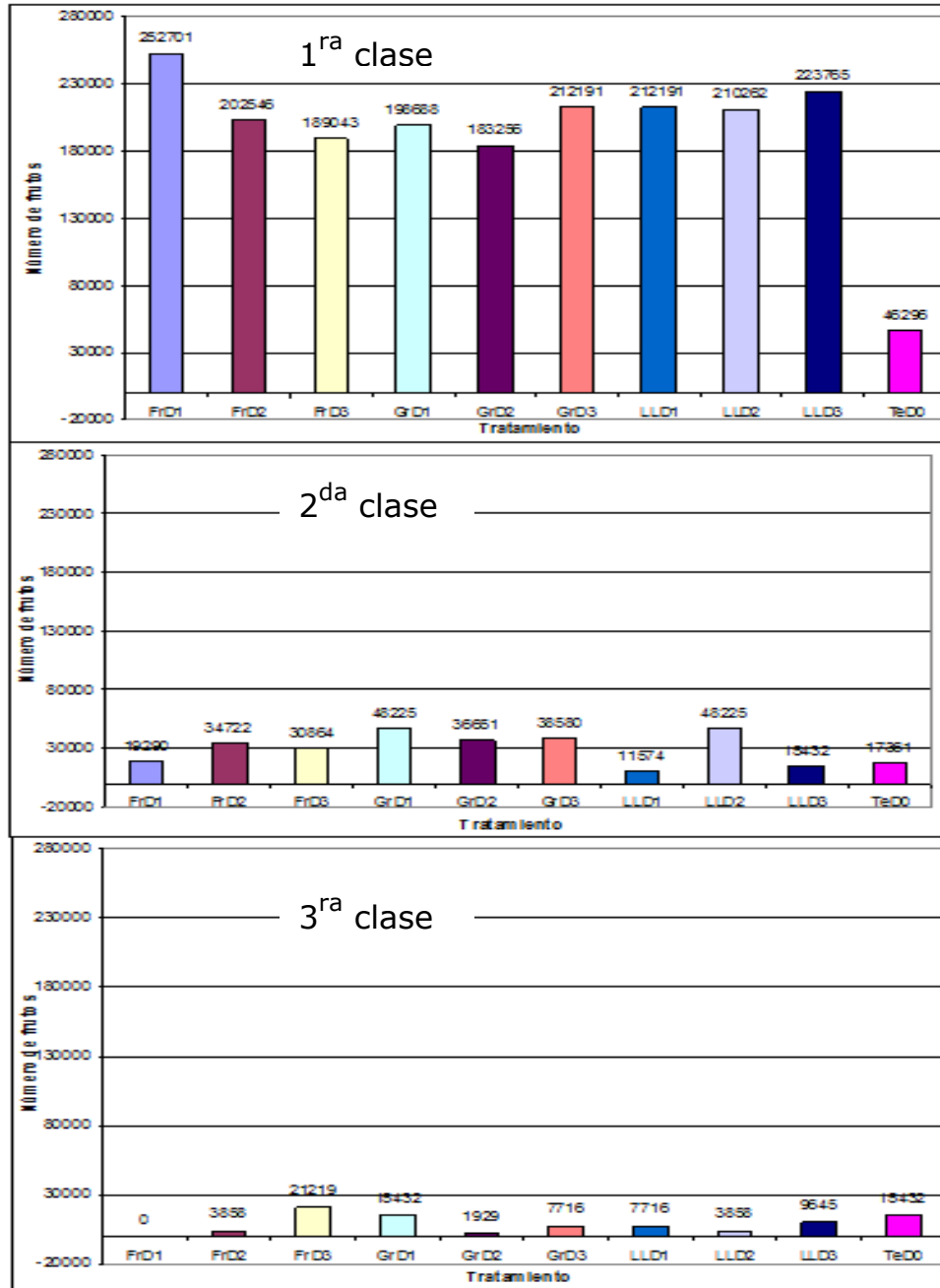


Fig. 20: Variación del número de frutos de primera, segunda y tercera clase (fruto fresco) de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero por efecto de la aplicación de fertilizante hidrosoluble (Fr), granulado convencional (Gr) y liberación lenta (LL) en tres dosis crecientes (D1>D2>D3)

## 6.8. Eficiencia de las fuentes fertilizantes

### 6.8.1 Eficiencia de recuperación del fertilizante (ERFa)

La mayor eficiencia de recuperación ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  fertilizante absorbido/ $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  fertilizante aplicado) para todos los elementos minerales incluídos en la evaluación, se obtuvo con la menor dosis aplicada (dosis 3) en las tres fuentes (Cuadro 19).

Por otra parte, las mayores eficiencias de recuperación se obtuvieron con la fuente fertilizante granulado de liberación lenta (LL).

Los ámbitos de recuperación del fertilizante hallados en las dosis 3 y ordenados por su magnitud fueron: 1,44 (Gr/Fr) a 1,78 (LL) para Ca > 0,78 (Fr) a 0,92 (LL) para K > 1,10 (Fr) a 1,20 (LL) para Mg > 0,50 (Fr) a 0,62 (LL) para el N y de 0,10 (Gr/Fr) a 0,11 (LL) para P.

Cuadro 19. Eficiencia de recuperación de nutrientes ( $\text{kg}$  elemento adicional absorbido  $\cdot \text{kg}^{-1}$  fertilizante aplicado) de tres fuentes fertilizantes en dosis crecientes a las 24 semanas después de la siembra en chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero

Tratamiento	N	P	Ca	Mg	K
Fr D1	0,42	0,08	1,06	0,69	0,61
Fr D2	0,32	0,07	1,04	0,72	0,55
Fr D3	0,50	0,10	1,47	1,10	0,78
Gr D1	0,36	0,06	0,77	0,61	0,48
Gr D2	0,39	0,05	0,70	0,59	0,50
Gr D3	0,57	0,10	1,44	1,48	0,84
LL D1	0,37	0,07	0,82	0,62	0,53
LL D2	0,53	0,11	1,62	1,07	0,85
LL D3	0,62	0,11	1,78	1,20	0,92

Fr: fuente hidrosoluble en fertirriego, Gr: granulado convencional, LL: granulado de liberación lenta. D: dosis (D1>D2>D3)

### **6.8.3 Eficiencia agronómica de las fuentes fertilizantes (EAFa)**

La mayor eficiencia agronómica ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  cosecha adicional /  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  fertilizante aplicado) se obtuvo, para todos los elementos evaluados, con la menor dosis aplicada (D3) en las tres fuentes fertilizantes (Cuadro 20).

Por otra parte, entre fuentes las mayores eficiencias agronómicas para los nutrimentos evaluados se obtuvieron con el fertilizante de liberación lenta (LL).

Los ámbitos de eficiencia agronómica hallados en la dosis 3 y ordenados por su magnitud fueron: 2322,5 (Fr) a 2742,6 (LL) para Mg > 1355,1 (Fr) a 1654,6 (LL) para Ca > 241,5 (Fr) a 287,7 (LL) para P > 163,5 (Fr) a 195,4 (LL) para K y 155,3 (Fr) a 185,0 (LL) para N  $\text{kg}$  fruta adicional  $\cdot \text{kg}^{-1}$  nutrimento aplicado.

Los resultados mostraron una congruencia entre la eficiencias de recuperación y las eficiencias agronómicas del fertilizante.

Cuadro 20. Eficiencia agronómica (kg cosecha adicional . kg<sup>-1</sup> nutrimento aplicado) de tres fuentes fertilizantes en dosis crecientes a las 24 semanas después de la siembra en el cultivo de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero

Tratamiento	N	P	Ca	Mg	K
Fr D1	126,07	241,27	931,21	1595,93	129,87
Fr D2	129,37	228,03	1013,21	1736,48	134,35
Fr D3	155,35	241,52	1355,13	2322,46	163,58
Gr D1	106,48	202,99	725,5	1347,60	109,82
Gr D2	126,47	222,09	913,88	1696,90	131,49
Gr D3	174,02	269,64	1401,14	2603,70	183,44
LL D1	99,29	190,01	751,64	1246,00	102,6
LL D2	151,91	267,74	1219,37	2021,40	158,23
LL D3	185,08	287,71	1654,69	2742,60	195,41

Fr: fuente hidrosoluble en fertirriego, Gr: granulado convencional, LL: granulado de liberación lenta. D: dosis (D1>D2>D3)

#### 6.8.4. Eficiencia económica de las fuentes fertilizantes (EEFa)

En las tres fuentes fertilizantes evaluadas se obtuvo la mayor eficiencia económica (retorno monetario adicional \$ . costo fertilización \$<sup>-1</sup>) en la menor dosis aplicada (D3) (Cuadro 21)

Entre fuentes la mayor eficiencia económica se obtuvo con el fertilizante liberación lenta en la dosis 3 (33,33 \$ . \$<sup>-1</sup>)

Cuadro 21. Eficiencia económica (retorno monetario adicional . costo de la fertilización<sup>-1</sup>) de tres fuentes fertilizantes en dosis crecientes a las 24 semanas después de la siembra de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero

Tratamiento	Retorno monetario adicional (\$ . ha <sup>-1</sup> )	Costo de la aplicación del fertilizante (\$ . ha <sup>-1</sup> )	Costo del fertilizante (\$ . ha <sup>-1</sup> )	Costo de la fertilización (\$ . ha <sup>-1</sup> )	Eficiencia Económica (\$ . \$ <sup>-1</sup> )
Fr D1	31280	111.75	1816.25	1928	16,22
Fr D2	25526	111.75	1167.25	1279	19,96
Fr D3	22760	111.75	702.25	814	27,94
Gr D1	23308	463.14	1393.86	1857	14,16
Gr D2	24854	463.14	929.86	1393	17,85
Gr D3	25404	463.14	597.86	1061	23,95
LL D1	24625	34.45	2119.55	2154	11,41
LL D2	29962	34.45	1339.55	1374	21,81
LL D3	27106	34.45	779.55	814	33,30

Fr: fuente hidrosoluble en fertirriego, Gr: granulado convencional, LL: granulado de liberación lenta. D: dosis (D1>D2>D3).



## **XII. Discusión de resultados**

La absorción total de los elementos N, P, K, Ca y Mg por las plantas de chile fue influida por las fuentes fertilizantes y las dosis aplicadas. En las fuentes hidrosoluble para fertirriego y granulado de liberación lenta (agrocote) hubo mayor asimilación de los nutrimentos citados con las mayores dosis; en la fuente granulado convencional el incremento en las dosis no produjo mayores absorciones. Este comportamiento sugiere que las fuentes hidrosoluble para fertirriego y granulado de liberación lenta ofrecieron al cultivo, en condiciones de siembra directa en invernadero, mayor disponibilidad de nutrimentos a través del ciclo de cultivo.

Por otra parte la tendencia de absorción de los elementos en el tiempo fue similar, independientemente de la fuente o dosis aplicadas. Los periodos de mayor absorción de nutrimentos fueron de los 0 a los 65 D.D.S. que correspondió a la fase de establecimiento y de crecimiento exponencial y de los 113 hasta finalizar el ciclo que incluyó las fases de formación intensa de frutos y segunda fase de crecimiento vegetativo. Cabe indicar que Azofeifa y Moreira (2005) determinaron para el cultivar UCR-589 de chile, en condiciones de campo, en Alajuela, la mayor absorción de nutrimentos en las mismas etapas fenológicas halladas para Nathalie en este trabajo.

En complemento a lo anterior las mayores velocidades de absorción ( $\text{kg nutrimento absorbido} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ) ocurrieron a partir de la fase inicial de formación de frutos (93 D.D.S.), en particular con la fuente granulado de liberación lenta, la cual presentó en promedio la mayor cantidad de nutrimentos absorbidos. Cabe indicar que esta fuente no sólo produjo una mayor absorción total de los nutrimentos portados en el agrocote, a saber N y K, sino, de los otros nutrimentos aportados por las fuentes de alta solubilidad acompañantes. Este efecto pudo deberse a un efecto sinérgico de la mayor asimilación de N sobre los otros nutrimentos (Salisbury y Ross, 2000).

Respecto de las cantidades totales de nutrimentos asimilados, el orden de mayor a menor absorción hallado fue  $K > N > Ca > Mg \approx P$ , independientemente de la fuente o dosis aplicada. Para el cultivar UCR-589 Azofeifa y Moreira (2005) informan de un orden de absorción similar, con la diferencia de que dichos autores hallaron una absorción de P mayor y similar a la de Ca. Azofeifa y Moreira (2005) informan para el cv. UCR-589 de magnitudes de absorción de  $N=139$ ,  $P=26$ ,  $K=180$ ,  $Ca=24$  y  $Mg=13 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , para un rendimiento de  $27,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  en campo, similares a las determinadas en la presente investigación para Nathalie, a saber  $N=145$ ,  $P=18,5$ ,  $K=202$ ,  $Ca=47$  y  $Mg=19,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  para la dosis menor de la fuente liberación lenta, que fue el óptimo económico, para un rendimiento de  $39,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  en invernadero.

Desde la perspectiva de la producción de biomasa seca, se determinaron diferencias estadísticas debidas a la aplicación de fertilizante sobre los componentes peso seco total de planta, peso seco de hojas y peso seco de frutos. En las fases fenológicas de crecimiento exponencial (primeros 65 D.D.S.) y de floración a inicios de frutificación (65 a 93 D.D.S.) sólo la aplicación de la fuente hidrosoluble para fertirriego, independientemente de la dosis aplicada, produjo mayor peso seco total de planta y peso seco de hojas. Pero, a partir de los 93 D.D.S. la aplicación de fertilizante, independientemente de la fuente y dosis aplicada, produjo mayores pesos secos totales de planta, de hojas y de frutos respecto al tratamiento no fertilizado. Estos resultados indican que inicialmente la fuente hidrosoluble para fertirriego ofreció mayor disponibilidad de nutrimentos que repercutió en mayor producción de biomasa, pero una vez que las fuentes granulado convencional y de liberación lenta fueron solubilizados permitieron una absorción de nutrimentos que promovieron el crecimiento hasta igualar aquel obtenido con la fuente hidrosoluble.

Por otra parte, se determinaron diferencias estadísticas en los índices fisiológicos y morfológicos de crecimiento debidas a la aplicación de fertilizante, pero solamente respecto al tratamiento testigo. Este resultado concuerda con el comportamiento de la producción de biomasa seca antes discutido.

Los mayores valores del índice de crecimiento relativo foliar (I.C.R.F.) se obtuvieron a los 65 D.D.S. en los tratamientos fertilizados, independientemente de la fuente y dosis aplicada; lo anterior indica que durante la fase de crecimiento exponencial la planta invirtió la mayor parte de los fotoasimilados en producir tejido fotosintético. Para los índices de crecimiento relativo (I.C.R.) y de asimilación neta (I.A.N.) se observaron los mayores valores a los 65 y 113 D.D.S. en los tratamientos fertilizados, independientemente de la fuente o dosis aplicada. Como se indicó anteriormente, durante la fase de crecimiento exponencial ocurrió la mayor producción de área foliar, que conllevó a un incremento significativo de la producción de materia seca. Pero, tanto el I.C.R. como el I.A.N. indican un segundo período significativo de producción de biomasa, que correspondió a la fase intensa de formación de frutos.

Los resultados antes descritos señalan dos períodos definidos de uso específico de los fotoasimilados, de los 0 a los 65 D.D.S. para síntesis de biomasa vegetativa, en particular de tejido fotosintético y de los 93 a los 113 D.D.S. para la formación de frutos. Azofeifa y Moreira (1998) hallaron resultados similares para el cv. UCR-589 de chile dulce en siembra en campo.

En congruencia los mayores valores de los índices morfológicos de área foliar (I.A.F.) y de razón de peso comercial (R.P.C.) se obtuvieron en los tratamientos fertilizados respecto al tratamiento testigo a través de todo el ciclo del cultivo, pero sin mostrar diferencias debidas a fuentes o dosis.

Los anteriores resultados indican que si bien hubo un mayor crecimiento debido a la aplicación de fertilizante, éste se dio con la menor dosis evaluada, independientemente de la fuente. Lo anterior es corroborado por el comportamiento de los índices de razón de área foliar (R.A.F.) y de razón de raíz a parte aérea (R.R.P.A.); en ambos índices los mayores valores se determinaron en el tratamiento sin fertilización a través del ciclo del cultivo y en particular en el período de los 0 a los 65 D.D.S. (fase de crecimiento exponencial). La mayor R.A.F. en el testigo se explica por una menor producción de materia seca, particularmente de frutos y la mayor R.R.P.A. indica un mayor desarrollo del órgano raíz en un medio oligotrófico, como lo señala Shibbles (1983)

Si se considera que la interpretación del análisis de suelo no indicó deficiencia en ninguno de los macro y micro elementos determinados, es probable que el elemento que mayormente limitó el crecimiento en el tratamiento testigo fue el nitrógeno.

Por otra parte, las mayores cosechas, tanto en peso como en número de frutos totales y de primera calidad, se obtuvieron en los tratamientos fertilizados, pero sólo respecto al tratamiento testigo. Desde la perspectiva de rendimiento se observó la misma tendencia ya descrita en los análisis de producción de materia seca y de crecimiento a través de los índices fisiológicos y morfológicos, esto es se halló respuesta a la aplicación de fertilizante en la dosis menor evaluada, independientemente de la fuente.

La afirmación anterior es corroborada por el parámetro de eficiencia de recuperación del fertilizante (ERFa), cuyos mayores valores se alcanzaron con la menor dosis aplicada en las tres fuentes. Sin embargo, entre fuentes se obtuvo la mayor ERFa con el fertilizante granulado de liberación lenta; con esta fuente las eficiencias de recuperación en la menor dosis evaluada para los elementos N, K y Mg fueron cercanas a 1 (0,62; 0,92 y 1,20  $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$  respectivamente), no así para los elementos Ca (1,78  $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) y P (0,11  $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

De acuerdo con el concepto propuesto por Murrell (2009), de que un valor de eficiencia de recuperación cercano a 1 indica un estado adecuado de reposición de los nutrientes extraídos, puede interpretarse que para los elementos N, K y Mg la fertilización en la dosis 3 fue adecuada. Para calcio se observó una eficiencia de recuperación mayor a 1, lo que indica que la fertilización hecha fue

insuficiente y que el suelo proveyó parte del requerimiento del cultivo. Si bien el contenido de Ca disponible de acuerdo con el análisis químico es adecuado ( $10,4 \text{ cmol}(+) \text{ L}^{-1}$ ), el continuo aporte de éste podría conducir a una condición de agotamiento a mediano plazo. Con el fin de evitar esta situación, la dosis de Ca debe aumentarse; los resultados de la presente investigación indican una dosis óptima de  $40 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$  para la fuente hidrosoluble y granulada convencional y de  $55 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$  para la fuente de liberación lenta (agrocote).

Por otra parte, la menor eficiencia de recuperación se observó para el elemento fósforo, independientemente de la fuente fertilizante, con valores que no superaron el 11 % de recuperación. Este hecho probablemente esté asociado a la presencia de arcillas alofánicas, que si bien no son dominantes en el suelo del sitio experimental sí pudieron influir sobre una alta tasa de fijación de ese elemento.

En conformidad con los resultados anteriores los mayores valores de eficiencia agronómica (EAFa) para todos los elementos evaluados, se obtuvieron con la fuente granulada de liberación lenta (agrocote) en la menor dosis aplicada. Al respecto López (1998) informa de una mayor EAFa para los elementos N, P y K de la fuente de liberación lenta formulada a partir de osmocote, respecto a otras fuentes granulares convencionales en banano en la vertiente atlántica costarricense. Según

este autor (López 1998), el resultado fue debido a una mayor asimilación de nutrimentos de la fuente de liberación lenta.

En adición, la mayor eficiencia económica de la fertilización (EEFa) se obtuvo con la menor dosis evaluada en las tres fuentes y entre éstas el mayor valor se alcanzó con el fertilizante granulado de liberación lenta. El factor que mayormente influyó sobre este resultado fue la disminución del costo de mano de obra destinado a la aplicación de fertilizante. La aplicación de la fuente de liberación lenta se realizó en dos eventos, en tanto que la de granular convencional requirió de 10 eventos (aplicación cada dos semanas a partir de la cuarta semana después de la siembra) y la fuente hidrosoluble de 19 eventos (aplicación cada semana a partir de la cuarta semana después de la siembra).

Roberts (2007) y Buresh y Witt (2007) indican que la eficiencia de uso de nutrimentos está definida por la aplicación correcta del fertilizante (dosis, fuente, momento y colocación correctos) y su interacción con el manejo del suelo y del cultivo en una condición climática dada. Así la combinación óptima de los anteriores factores es específica para un determinado sistema de producción agrícola (Roberts, 2008) y su determinación tiene relevancia no sólo en la rentabilidad de la producción, sino en el ámbito ambiental al influir sobre el impacto del fertilizante sobre los medios suelo y agua (Cimpitti y Garcia 2008). Del



análisis del sistema de producción estudiado se concluye que la fuente granulado de liberación lenta formulado a partir de agrocote, aplicado en dos fracciones iguales a la cuarta y decimacuarta semana después de siembra, en la menor dosis evaluada, a saber  $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $250 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $193 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$  y  $31 \text{ kg MgO} \cdot \text{ha}^{-1}$ , optimizó agro y económicamente la producción de chile dulce, cv. Nathalie, en siembra directa en invernadero en la localidad de Cartago. Cabe señalar que para el elemento calcio se recomienda aumentar la dosis a  $55 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

### **XIII. Conclusiones y recomendaciones**

1. Las fuentes fertilizantes hidrosoluble, granulado convencional y granulado de liberación lenta (agrocote) no difirieron entre sí en términos estadísticos respecto de la cantidad y la calidad de la cosecha, ni en la producción de biomasa de chile dulce bajo las condiciones del sistema de producción evaluado.
2. Las dosis aplicadas independientemente de la fuente fertilizante no difirieron entre sí respecto de la cantidad y calidad de la producción, ni en la cantidad de biomasa producida. Pero la aplicación de fertilizante sí produjo diferencias significativas en las variables antes citadas respecto del tratamiento en que no se aplicó.
3. La deficiencia de N fue el factor nutricional limitante de mayor peso. Lo anterior se manifestó en una menor absorción nutricional, menor crecimiento y menor producción en el tratamiento en que este elemento no se aplicó, a pesar de la suficiencia de los otros elementos nutritivos en el suelo del sitio experimental.

4. Se presentaron diferencias en la absorción de nutrimentos entre fuentes. La fuente de liberación lenta produjo mayor absorción en todos los elementos nutritivos evaluados.
5. La fuente liberación lenta mostró la mayor eficiencia agronómica, ya que la mayor absorción de nutrimentos se tradujo en mayor cosecha, aunque en términos estadísticos la producción no haya diferido entre fuentes.
6. La fuente liberación lenta tuvo la mayor eficiencia económica, debido al menor requerimiento de mano de obra en el ciclo del cultivo.
7. Dado lo anterior, la fuente de liberación lenta en la menor dosis evaluada mostró ser óptima para el sistema de producción evaluado. Se recomienda aumentar la aplicación de calcio a  $55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .
8. La técnica de confección de curvas de absorción fue adecuada para la valoración de las eficiencias de fertilización de las fuentes fertilizantes.
9. Se recomienda realizar mayor cantidad de evaluaciones de eficiencias de fertilización para otros sistemas de producción de Chile en condiciones de suelo y clima diferentes, para definir las mejores fuentes fertilizantes y dosis óptimas en términos productivos.

#### XIV. Bibliografía

- ACUÑA C. J. 2003. Diseño de invernaderos y manejo interno. *In* Curso Diseño de invernaderos y manejo interno. UCR-CYTED. San Jose, Costa Rica. pp:1-34
- AMMA A., ARIAS H., BIMBONI H., MITIDIERI I. (S.F.). Curso a distancia producción de hortalizas en invernaderos: cultivo del pimiento. INTA – PROCADIS. Argentina. 82 p.
- AZOFEIFA A., MOREIRA M. 1998. Análisis del crecimiento del chile dulce (*Capsicum annum* L.) Cultivar UCR 589 en Alajuela, Costa Rica. Estación Experimental Fabio Baudrit. Boltec 31(1): 1-12.
- AZOFEIFA A., MOREIRA M. 2004. Análisis del crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annum* L. cv. hot) en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense 28 (1): 57 - 67.
- AZOFEIFA A., MOREIRA M. 2005. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annum* CV 589) en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense 29 (1): 77 - 83
- BARQUERO V. G. 2001. Curso producción en ambientes protegidos. Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica. 54 p.

- BAYARDO P. R., CIGALES R. M., LORENZANA S. J., URQUIAGA S.  
2006. Caracterización de variedades de maíz mediante  $^{15}\text{N}$  como arcador en tres etapas fenológicas. Revista fitotecnia mexicana. 29(2): 13-17.
- BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. ACCS. San José, Costa Rica. 307p.
- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS. San José, Costa Rica. 157p.
- BIAMONTE P., ESCOTO A., JIMÉNEZ R., STERLING E., SUBIROS F.  
1984. Olericultura. EUNED. San José, Costa Rica. pp: 119 - 129.
- BOLAÑOS A. 1998. Introducción a la olericultura. EUNED. San José, Costa Rica. pp. 93 - 116.
- BRUULSEMA T. W., WITT C., GARCIA S., LI F. CH., IVANOVA, S.  
2008. Marco global de las mejores prácticas de manejo (MPM) de los fertilizantes. Informaciones Agronómicas, (Ecuador) (70): 1 - 4
- BURESH R.J., WITT C. 2007. Fertilizer Best Management Practices: Site- specific nutrient management . International fertilizer industry association. Bruselas, Belgica., IFA. 267 p.
- CALVACHE M., LÓPEZ M. (2000). Evaluación de la eficiencia de la fertilización potásica en el cultivo de palma africana utilizando  $^{85}\text{Rb}$  como trazador. Informaciones Agronómicas (Ecuador) (38): 8 - 10.

- CAMPOÉS SERVICIO INTEGRAL XXI, S. A. AGROBLEN. SCOTTS. La manera más segura de obtener el máximo rendimiento de su cultivo (en línea). Consultado 21 Setiembre 2010. Disponible en <http://www.campoes.net/agroblen.htm>
- CARRASCO M. I. 2002. Nuevas tecnologías en fertilización para el respeto del medio ambiente. *Phytoma España*. 135: 55 – 60.
- CATIE. 1993. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce: Serie técnica. Informe técnico no. 201. Turrialba, Costa Rica. 143 p.
- CIAMPITTI I. A., GARCIA F.O. 2008. Balance y eficiencia de uso de los nutrimentos en sistemas agrícolas. *Revista Horizonte (Argentina)* (18): 22-28.
- CLIF S. 2009. Simposio "Uso eficiente de nutrimentos" *In XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo: Memoria*. San José, Costa Rica. pp: 11 – 19.
- CORRALES C., MAROTO C. 2009. Proyecto de investigación sobre el cultivo de chile dulce en invernadero: Curso manejo de cultivos en invernadero. Memoria. I.T.C.R. Costa Rica. 60 p.
- COSTA RICA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. 2007. *Agrocadena regional cultivo chile dulce*. Alajuela. 76 p.

- COSTA RICA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. 1991.  
Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. San José. pp:337 – 346.
- DIBB D. 2000. Eficiencia de uso de los nutrimentos: verdades y mitos. Informaciones agronómicas (Ecuador). 41:1-7.
- DOBERMANN A., FAIRHURST T. (2007). Arroz: Desordenes nutricionales y manejo de nutrimentos. International Rice Research Institute – Instituto de la potasa y fósforo. s.l. pp:174 – 180.
- DOBERMANN A. 2007. Fertilizer Best Management Practices: Nutrient use efficiency – measurement and management. International fertilizer industry association. Bruselas, Belgica. IFA. 267 p.
- ESPINOSA F. F., CARRILLO A. E., PALMA L. D., PEÑA C. J., SALGADO G. S. 2002. Eficiencia de la fertilización nitrogenada en sorgo con la técnica isotópica  $^{15}\text{N}$ , en un vertisol con drenaje subsuperficial. Terra latinoamericana 20(2): 129 – 139.
- ESPINOSA J., GARCIA J. 2009. Simposio "Uso eficiente de nutrimentos" In XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Memoria. San José, Costa Rica. pp: 49–56.

- ESPINOSA J., MITE F. 2010. Búsqueda de eficiencia en el uso de nutrimentos en banano. Consultado 1 de julio del 2010. Disponible en [http://www.seap.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/2f236d6faa93bb6f05257508005fc67b/\\$FILE/B%C3%BAsqueda%20de%20Eficiencia%20en%20el%20Uso%20de%20Nutrimentos%20en%20Banano.pdf](http://www.seap.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/2f236d6faa93bb6f05257508005fc67b/$FILE/B%C3%BAsqueda%20de%20Eficiencia%20en%20el%20Uso%20de%20Nutrimentos%20en%20Banano.pdf)
- FAN X., LI F., LIU, F., KUMER D. 2004. Fertilization with a new type of coated urea: Evaluation efficiency and yield in winter wheat. *Journal of plant nutrition* 27(5): 853-865.
- FAO. 2002. Los fertilizantes y su uso. 4ta Edic. FAO, IFA. Roma. 77 p.
- FAO, IAEA. 2001. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. Informe 14. Viena. 247 p.
- FUNDACION UNIVERSITARIA DE BOGOTÁ JORGE TEDEO LOZANO. 1999. *Clima, fisiología y producción de cultivos bajo invernadero*. Bogotá, Colombia. 67 p.
- GHELFI R. A., QUITEGUI M.C., BUJÁN A. (1984). Métodos radioisotópicos para la evaluación de la eficiencia de fertilizantes fosfóricos no marcados. *Ciencia del suelo (Argentina)* 2(1): 107-113.



GRAGEDA C. O., FOLLET R. F., MORA M., CASTELLANOS J. Z. 2010.

Dinamica del nitrógeno en sistemas bajo labranza de conservación.

Consultado 8 Oct. 2010. Disponible en: [http://www.google.co.cr](http://www.google.co.cr/#q=15N+eficiencias+de+fertilizacion&hl=es&biw=1014&bih=791&ei=bzG7TPLaLIL-8Abt_4S_Dg&start=20&sa=N&fp=3543ca1c5c57df47)

[/#q=15N+eficiencias+de+fertilizacion&hl=es&biw=1014&bih](http://www.google.co.cr/#q=15N+eficiencias+de+fertilizacion&hl=es&biw=1014&bih=791&ei=bzG7TPLaLIL-8Abt_4S_Dg&start=20&sa=N&fp=3543ca1c5c57df47)

[=791&ei=bzG7TPLaLIL-8Abt\\_4S\\_Dg&start=20&sa=N&fp=3543](http://www.google.co.cr/#q=15N+eficiencias+de+fertilizacion&hl=es&biw=1014&bih=791&ei=bzG7TPLaLIL-8Abt_4S_Dg&start=20&sa=N&fp=3543ca1c5c57df47)

[ca1c5c57df47](http://www.google.co.cr/#q=15N+eficiencias+de+fertilizacion&hl=es&biw=1014&bih=791&ei=bzG7TPLaLIL-8Abt_4S_Dg&start=20&sa=N&fp=3543ca1c5c57df47)

GUERRERO R. 1981. Propiedades generales de los fertilizantes sólidos

manual técnico. Venezuela. 46 p. Consultado 10 de Agosto del

2010. Disponible en: [http://www.monomeros.com/ descargas /](http://www.monomeros.com/descargas/dpmanual_fertilizacion.pdf)

[dpmanual fertilizacion.pdf](http://www.monomeros.com/descargas/dpmanual_fertilizacion.pdf)

HÄRDTER R., FAIRHURST T. 2003. Nutrient use efficiency in upland

cropping systems of Asia. *In* IFA Regional conference for Asia and

the Pacific (2003, Republic of Korea) Memoria. Seul. pp. 1 – 20.

IMAS P. 1999. Manejo de nutrimentos por fertirriego en sistemas

frutihortícolas. *In* Memoria XXII Congreso Argentino Horticultura.

Tucuman, Argentina. Consultado 15 Agosto del 2010.

<http://www.ipipotash.org/presentn/mdnpsf.html>

LAZCANO F. I. 1994. El manejo de fertilizantes a través de los sistemas

de riego. *Informaciones Agronómicas* (Ecuador) No. 27: 5 – 9.

LINARES, L. 2004. Comportamiento de las variedades de chile dulce

(*Capsicum annum*) en la región occidental de el Salvador.

*Agronomía mesoamericana* 15(1): 25 – 29.

- LÓPEZ, A. 1998. Nutrición del cultivo del banano (*Musa A A A*) con el fertilizante de liberación lenta osmocote. Corporación Bananera Nacional (Costa Rica), Boletín técnico. 23(50): 125 – 136.
- LÓPEZ-GALVEZ J., ZAPATA F. 2002. Los materiales plásticos en el sector agropecuario. *In Situación de lo agroplasticultura en los países iberoamericanos*. CYTED. 2002. Ed. Por Díaz, J.; López-Galvez, J. Almeria, España.
- LORA, R. 1984. Factores que afectan la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas. *In Silva, F. Fertilidad de suelos, diagnóstico y control*. II Edic. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. 418 p.
- MARTIN-PREVEL P., GAGNARD J., GAUTIER P. 1984. *Analyse végétale dans le contrôle de l`alimentation des plantes tempérées et tropicales*. Lavoisier publishing. Paris, Francia. 810 p.
- MATEO B. J. 2001. Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo. Mundi-prensa. Madrid. 288 p.
- MEDINA, E. 1977. *Introducción a la ecofisiología vegetal*. O.E.A. Caracas, Venezuela. 102 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN FORESTAL, AGRÍCOLA Y PECUARIA. 2003. *Guía para la asistencia técnica agropecuaria para el área de Influencia del campo experimental Valle de Culiacán – El chile*. Silanoa, México. 214 p.

- MOLINA, E. 2003. Fertilizantes características y manejo. *In* Fertilizantes Conceptos básicos y definiciones (curso capacitación). Memoria. Meléndez G., Molina E. Ed. Universidad de Costa Rica. San José, 137 p.
- MUNRRELL S.T. 2009. Simposio "Uso eficiente de nutrimentos" *In* XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo: Memoria. San José, Costa Rica. pp:20 – 25.
- PÉREZ J., PEÑA A., MOLINA F. 1998. Influencia de la estructura en el control ambiental tipología y materiales. Curso de control ambiental en invernadero. CD. Almería, España.
- PIAGGESI A. 2004. Los microelementos en la nutrición mineral de plantas. Ed. Valagro SpA. Velagro. Italia, 72 p.
- PINO N. I., NARIO M. A., ALBORNOZ G. M., BAHERLE V. P. (2002). Eficiencia de uso del <sup>15</sup>N-Fertilizante en vid Thompson seedless. R. C. suelo y nutrición vegetal. Chile. 2(1): 16-24.
- PROCHNOW L, CASARIN V., FAGERIA N., MORAES M. 2009. Simposio "Uso eficiente de nutrimentos" *In* XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Memoria. San José, Costa Rica. pp:26 – 36

- QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ, A. B.; LEGAZ, F. (S.F.). La eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados como estrategia para el establecimiento de normas de fertilización en cítricos. Departamento de citricultura y otros frutales. Instituto valenciano de investigadores. Valencia, España. 1 – 8 p.
- REJOBOT A. S. s.f. Cultivo bajo condiciones forzadas – condiciones generales. Israel. 144 p.
- ROBERTS T.L. 2007. Fertilizer Best Management Practices: Right product, right rate, right time and right place ... the foundation of best management practices for fertilizer. International Fertilizer Industry Association. Bruselas, Belgica. 267 p.
- ROBERTS T.L. 2008. Improving nutrient use efficiency. Turk J. Agric. 32: 177 – 182 p.
- ROBLEDO F., VICENT L. 1981. Aplicaciones de los plásticos en la agricultura. Mundi Prensa. Madrid, España. 553 p.
- RODRÍGUEZ W., LEIHNER D. 2006. Análisis del crecimiento. Vol. 7. Universidad de Costa Rica. San José. 37 p.
- SALGUERA, M. 2006. Efecto del nitrógeno sobre las curvas de absorción y crecimiento de tres cultivares de berenjena (*Solanum melongena* L), en un Entisol de Liberia. Tesis Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Universidad de Costa Rica, Sede Regional de Guanacaste. 164 p.

- SALISBURY B., ROSS W. 2000. Fisiología de las plantas. Bioquímica vegetal. (M. Alonso, Trad). 3ra Ed. Madrid, España. ITES-PARANINFO. pp: 445-467.
- SAHRAWAT K.L., JONES M.P., DIATTA S., SIKI M. (2003). Long – term phosphorus fertilizer effects on phosphorus uptake, efficiency, and recovery by upland rice on an Ultisol. Communications in soil science and plant analysis. No 7: 999–1011.
- SCHOLBEWEG J. M., ZOTARELLI R., TUBBS R. S., DUKES M. D., CARPENA R. M. 2009. Nitrogen uptake efficiency and growth of bell pepper in relation to time of exposure to fertilizer solution. Communications in soil science and plant analysis 40: 2111 – 2131.
- SERRANO, C. Z. 2002. Construcción de invernaderos. 2<sup>da</sup> Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. Ed. Aeos, s. a. 499 p.
- SHIBLES R. 1983. Crop physiology. Dep of Agronomy. Iowa State University. Agronomy 516 (mimeograph). Ames, U.S.A. p. irr. (2-14).
- SNYDER C. S. (2009). Eficiencia de uso del nitrógeno: Desafíos mundiales, tendencias futuras. Informaciones Agronómicas (Ecuador). 75: 1 - 5.
- T. P. AGRO S.A. (Tecnología y plásticos para la agricultura). 2000. Cultivos protegidos y controlados (Compact Disk).

- TRENKEL M. E. 1997. Improving fertilizer use efficiency: Controllet-release and stabilized fertilizer in agriculture. International Fertilizer Industry Association. Berlin, Alemania. 106 p,
- VILLALOBOS M. 2010. Curso producción en ambientes protegidos. Instituto Tecnológico Costa Rica. 106 p. (Mimeografiado).
- VILLALOBOS M., ZÚÑIGA C., MONGE L., FALLAS R. 2005. Evaluación de la producción de tres híbridos de chile con dos dosis de fertilización, en dos tipos de invernaderos".Informe de Investigación. Vicerrectoría de Investigación y Extensión. Instituto Tecnológico de Costa Rica Cartago. 38 p.
- ZHAO S. P., ZHAO X.Q., LI S. M., SHI W. M. (2007). N-efficiency character of high-yield rice is not affected by soil nitrogen supply level. Acta agriculturae scandinavica section B-soil and plant science 57: 97-104 p.
- ZÚÑIGA C. 2007. El cultivo de chile, aspectos básicos para su manejo. Cartago Costa Rica. Compac Disk.

## XV. Anexos

### Anexo 1

#### Absorción total de N, P, Ca, Mg y K de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero fertilizado en diferentes fuentes y dosis

Cuadro A.1.1: Absorción total de nutrimentos en el cultivo de chile dulce  
(c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente hidrosoluble  
en la dosis 1.

Cantidad de Elemento absorbido acumulado y por etapa fenológica (kg . ha <sup>-1</sup> )															
DDS	Nacu	Nins	%Nins	Pacu	Pins	%Pins	Caacu	Caist	%Cains	Mgacu	Mgins	%Mgins	Kacu	Kint	%Kins
65	51,16	51,16	31,79	4,97	4,97	26,95	9,74	9,74	17,88	4,66	4,66	22,70	63,58	63,58	28,20
93	60,79	9,63	5,98	5,91	0,94	5,09	15,43	5,69	10,44	6,46	1,80	8,76	91,40	27,82	12,34
113	69,02	8,23	5,12	5,84	-0,07	-0,38	22,13	6,70	12,29	7,48	1,01	4,94	102,16	10,76	4,77
141	121,35	52,33	32,52	11,69	5,85	31,70	35,73	13,61	24,97	13,71	6,23	30,35	170,56	68,41	30,34
169	160,93	39,58	24,59	18,44	6,76	36,64	54,50	18,76	34,43	20,54	6,83	33,26	225,47	54,91	24,35

Cuadro A.1.2: Absorción total de nutrimentos en el cultivo de chile dulce  
(c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente hidrosoluble  
en la dosis 2.

Cantidad de Elemento absorbido acumulado y por etapa fenológica (kg . ha <sup>-1</sup> )															
DDS	Nacu	Nins	%Nins	Pacu	Pins	%Pins	Caacu	Caist	%Cains	Mgacu	Mgins	%Mgins	Kacu	Kint	%Kins
65	46,23	46,23	41,06	5,06	5,06	33,29	10,05	10,05	22,98	4,66	4,66	27,28	62,11	62,11	35,25
93	46,55	0,32	0,29	4,50	-0,56	-3,71	15,99	5,94	13,57	5,86	1,20	7,04	69,86	7,75	4,40
113	53,90	7,35	6,52	6,28	1,78	11,69	16,76	0,77	1,75	6,86	1,00	5,85	84,69	14,82	8,41
141	100,74	46,84	41,60	9,34	3,06	20,14	37,26	20,50	46,85	14,17	7,31	42,83	149,55	64,86	36,81
169	112,59	11,85	10,53	15,21	5,87	38,59	43,75	6,50	14,85	17,07	2,90	16,99	176,19	26,65	15,12

Cuadro A.1.3: Absorción total de nutrimentos en el cultivo de chile dulce  
(c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente hidrosoluble  
en la dosis 3.

Cantidad de Elemento absorbido acumulado y por etapa fenológica (kg . ha <sup>-1</sup> )															
DDS	Nacu	Nins	%Nins	Pacu	Pins	%Pins	Caacu	Caist	%Cains	Mgacu	Mgins	%Mgins	Kacu	Kint	%Kins
65	25,73	25,73	20,63	2,23	2,23	12,79	6,71	6,71	16,00	2,68	2,68	15,51	33,78	33,78	18,83
93	41,77	16,04	12,86	4,53	2,30	13,21	17,73	11,02	26,28	6,01	3,33	19,32	76,28	42,50	23,69
113	67,05	25,28	20,26	8,05	3,53	20,27	22,01	4,28	10,21	8,74	2,73	15,79	116,93	40,65	22,66
141	102,72	35,68	28,60	11,82	3,77	21,64	29,93	7,92	18,88	12,54	3,80	22,05	162,00	45,08	25,13
169	124,74	22,01	17,65	17,41	5,59	32,10	41,93	12,00	28,62	17,26	4,72	27,33	179,40	17,39	9,70

Cuadro A.1.4: Absorción total de nutrimentos en el cultivo de chile dulce  
(c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulado  
convencional en la dosis 1.

Cantidad de Elemento absorbido acumulado y por etapa fenológica (kg . ha <sup>-1</sup> )															
DDS	Nacu	Nins	%Nins	Pacu	Pins	%Pins	Caacu	Caist	%Cains	Mgacu	Mgins	%Mgins	Kacu	Kint	%Kins
65	25,49	25,49	18,01	2,51	2,51	16,81	6,20	6,20	13,56	2,89	2,89	15,60	34,71	34,71	18,47
93	33,94	8,44	5,96	2,56	0,05	0,33	10,24	4,04	8,84	3,84	0,95	5,15	44,95	10,25	5,45
113	57,65	23,72	16,75	5,80	3,25	21,73	10,97	0,73	1,60	5,58	1,74	9,37	74,32	29,37	15,63
141	93,08	35,42	25,02	8,05	2,25	15,06	21,53	10,57	23,12	9,64	4,07	21,95	110,97	36,65	19,50
169	141,58	48,50	34,26	14,93	6,88	46,07	45,70	24,17	52,88	18,52	8,88	47,93	187,92	76,96	40,95

Cuadro A.1.5: Absorción total de nutrimentos en el cultivo de chile dulce  
(c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulado  
convencional en la dosis 2.

Cantidad de Elemento absorbido acumulado y por etapa fenológica (kg . ha <sup>-1</sup> )															
DDS	Nacu	Nins	%Nins	Pacu	Pins	%Pins	Caacu	Caist	%Cains	Mgacu	Mgins	%Mgins	Kacu	Kint	%Kins
65	22,30	22,30	17,20	2,11	2,11	16,19	4,95	4,95	13,94	2,28	2,28	15,50	28,08	28,08	17,18
93	34,05	11,75	9,07	3,29	1,18	9,08	9,31	4,36	12,28	3,84	1,56	10,62	49,89	21,81	13,35
113	47,55	13,50	10,42	4,66	1,37	10,49	12,57	3,26	9,19	5,15	1,31	8,92	65,27	15,38	9,41
141	91,49	43,94	33,91	8,88	4,22	32,37	23,59	11,02	31,02	10,14	4,99	33,90	124,14	58,87	36,02
169	129,59	38,10	29,40	13,03	4,15	31,88	35,51	11,92	33,57	14,71	4,57	31,05	163,42	39,28	24,04



Cuadro A.1.6: Absorción total de nutrimentos en el cultivo de chile dulce  
(c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulada  
convencional en la dosis 3.

Cantidad de Elemento absorbido acumulado y por etapa fenológica (kg . ha <sup>-1</sup> )															
DDS	Nacu	Nins	%Nins	Pacu	Pins	%Pins	Caacu	Caist	%Cains	Mgacu	Mgins	%Mgins	Kacu	Kint	%Kins
65	25,05	25,05	18,31	2,34	2,34	14,25	5,85	5,85	13,38	2,52	2,52	13,90	32,08	32,08	17,00
93	40,79	15,74	11,50	4,11	1,77	10,78	13,55	7,71	17,63	5,36	2,85	15,71	62,53	30,45	16,15
113	64,33	23,54	17,20	6,87	2,76	16,80	15,46	1,91	4,37	6,95	1,59	8,78	94,76	32,23	17,09
141	100,73	36,40	26,60	10,54	3,67	22,33	27,87	12,41	28,38	12,35	5,40	29,82	136,90	42,15	22,34
169	136,85	36,11	26,39	16,42	5,88	35,84	43,72	15,85	36,25	18,11	5,76	31,79	188,63	51,72	27,42

Cuadro A.1.7: Absorción total de nutrimentos en el cultivo de chile dulce  
(c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulada de  
liberación lenta en la dosis 1.

Cantidad de Elemento absorbido acumulado y por etapa fenológica (kg . ha <sup>-1</sup> )															
DDS	Nacu	Nins	%Nins	Pacu	Pins	%Pins	Caacu	Caist	%Cains	Mgacu	Mgins	%Mgins	Kacu	Kint	%Kins
65	26,09	26,09	17,76	1,91	1,91	11,61	5,99	5,99	13,49	2,40	2,40	12,61	29,75	29,75	14,74
93	38,48	12,40	8,44	3,48	1,57	9,51	12,16	6,17	13,89	4,82	2,42	12,70	60,37	30,62	15,17
113	70,80	32,32	22,00	6,60	3,12	18,92	20,57	8,41	18,93	8,39	3,57	18,76	108,50	48,13	23,84
141	117,12	46,32	31,53	12,73	6,13	37,20	26,65	6,09	13,70	13,10	4,71	24,70	162,83	54,33	26,91
169	146,90	29,78	20,27	16,48	3,75	22,76	44,42	17,77	40,00	19,05	5,95	31,23	201,89	39,05	19,34

Cuadro A.1.8: Absorción total de nutrimentos en el cultivo de chile dulce  
(c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulada de  
liberación lenta en la dosis 2.

Cantidad de Elemento absorbido acumulado y por etapa fenológica (kg . ha <sup>-1</sup> )															
DDS	Nacu	Nins	%Nins	Pacu	Pins	%Pins	Caacu	Caist	%Cains	Mgacu	Mgins	%Mgins	Kacu	Kint	%Kins
65	30,43	30,43	18,96	2,66	2,66	12,77	7,09	7,09	11,91	3,16	3,16	13,59	39,62	39,62	16,47
93	39,84	9,41	5,86	3,85	1,18	5,67	17,41	10,33	17,37	6,22	3,06	13,14	72,67	33,05	13,74
113	71,44	31,60	19,69	7,12	3,27	15,69	19,51	2,10	3,53	8,14	1,92	8,22	103,79	31,12	12,94
141	114,02	42,59	26,53	12,60	5,48	26,29	36,44	16,92	28,45	14,42	6,28	26,98	167,27	63,48	26,39
169	160,50	46,48	28,96	20,85	8,25	39,58	59,48	23,04	38,74	23,29	8,87	38,08	240,55	73,28	30,46

Cuadro A.1.9: Absorción total de nutrimentos en el cultivo de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en la fuente granulado de liberación lenta en la dosis 3.

Cantidad de Elemento absorbido acumulado y por etapa fenológica (kg . ha <sup>-1</sup> )															
DDS	Nacu	Nins	%Nins	Pacu	Pins	%Pins	Caacu	Caist	%Cains	Mgacu	Mgins	%Mgins	Kacu	Kint	%Kins
65	28,92	28,92	19,92	2,59	2,59	14,50	8,39	8,39	17,80	3,06	3,06	15,60	35,23	35,23	17,41
93	35,69	6,76	4,66	2,97	0,38	2,12	13,12	4,73	10,02	4,75	1,69	8,61	55,83	20,61	10,19
113	56,05	20,37	14,03	5,31	2,34	13,08	14,62	1,49	3,17	6,20	1,45	7,38	79,02	23,19	11,46
141	116,52	60,47	41,65	12,98	7,67	42,85	25,10	10,48	22,23	12,25	6,06	30,86	160,07	81,05	40,07
169	145,17	28,65	19,74	17,89	4,91	27,44	47,15	22,06	46,77	19,62	7,37	37,55	202,29	42,22	20,87

Cuadro A.1.10: Absorción total de nutrimentos en el cultivo de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en el tratamiento no fertilizado.

Cantidad de Elemento absorbido acumulado y por etapa fenológica (kg . ha <sup>-1</sup> )															
DDS	Nacu	Nins	%Nins	Pacu	Pins	%Pins	Caacu	Caist	%Cains	Mgacu	Mgins	%Mgins	Kacu	Kint	%Kins
65	13,03	13,03	32,81	1,23	1,23	20,60	3,93	3,93	29,35	1,53	1,53	32,16	17,56	17,56	32,48
93	14,73	1,69	4,26	1,77	0,54	9,02	5,93	2,00	14,96	2,18	0,65	13,68	24,84	7,28	13,46
113	14,61	-0,12	-0,30	2,07	0,29	4,86	6,25	0,32	2,43	2,30	0,12	2,46	26,74	1,90	3,52
141	26,34	11,73	29,53	4,65	2,58	43,14	10,84	4,59	34,33	4,15	1,85	38,93	45,43	18,69	34,57
169	39,73	13,39	33,70	5,99	1,34	22,38	13,38	2,53	18,94	4,76	0,61	12,77	54,06	8,63	15,97

## Anexo 2

### **Peso seco de hojas, tallos, raíces, frutos y total de la planta en chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en diferentes fuentes y dosis fertilizantes.**

Cuadro A.2.1: Pesos secos de los órganos de la planta con la fuente hidrosoluble dosis 1

DDS	65	93	113	141	169
Hojas	15,32	19,08	28,70	44,01	52,01
Tallos	15,72	18,79	30,75	53,25	83,51
Raíces	3,68	4,13	6,33	12,42	19,10
Frutos	5,24	24,65	86,78	171,70	214,68
Total	39,96	66,64	152,56	281,38	369,30

Cuadro A.2.2: Pesos secos de los órganos de la planta con la fuente hidrosoluble dosis 2

DDS	65	93	113	141	169
Hojas	12,39	23,00	20,16	42,18	49,28
Tallos	17,70	27,81	34,49	60,59	72,51
Raíces	2,62	4,76	5,98	9,96	15,89
Frutos	10,63	31,50	68,68	134,80	161,85
Total	43,34	87,07	129,31	247,52	299,53

Cuadro A.2.3: Pesos secos de los órganos de la planta con la fuente hidrosoluble dosis 3

DDS	65	93	113	141	169
Hojas	16,29	20,55	26,03	34,89	40,36
Tallos	17,29	23,74	34,36	58,47	78,94
Raíces	4,35	4,93	6,72	9,99	14,67
Frutos	6,17	31,46	96,27	150,91	177,48
Total	44,09	80,69	163,37	254,26	311,45

Cuadro A.2.4: Pesos secos de los órganos de la planta con la fuente granulada convencional dosis 1

DDS	65	93	113	141	169
Hojas	9,82	14,80	12,53	26,39	41,20
Tallos	12,82	16,26	20,36	33,63	61,65
Raíces	2,85	3,09	3,69	4,21	7,58
Frutos	13,90	23,11	83,64	152,08	195,25
Total	39,39	57,26	120,22	216,30	305,69

Cuadro A.2.5: Pesos secos de los órganos de la planta con la fuente granulada convencional dosis 2

DDS	65	93	113	141	169
Hojas	8,00	11,73	15,45	28,51	34,37
Tallos	14,03	16,13	21,06	33,75	46,92
Raíces	3,15	1,77	4,17	5,55	7,68
Frutos	11,67	33,86	66,52	128,46	177,64
Total	36,84	63,49	107,20	196,26	266,61

Cuadro A.2.6: Pesos secos de los órganos de la planta con la fuente  
granulado convencional dosis 3

DDS	65	93	113	141	169
Hojas	11,62	16,95	17,53	27,83	38,35
Tallos	14,26	17,83	23,18	38,31	56,02
Raíces	4,63	5,01	5,38	7,01	10,74
Frutos	12,08	34,01	104,04	155,35	175,61
Total	42,60	73,80	150,13	228,51	280,72

Cuadro A.2.7: Pesos secos de los órganos de la planta con la fuente  
liberación lenta dosis 1

DDS	65	93	113	141	169
Hojas	12,87	14,42	22,55	33,65	44,32
Tallos	15,52	18,03	31,94	47,67	61,15
Raíces	3,36	3,68	6,71	9,87	14,05
Frutos	5,08	34,52	98,18	162,08	193,81
Total	36,83	70,64	159,39	253,26	313,34

Cuadro A.2.8: Pesos secos de los órganos de la planta con la fuente  
liberación lenta dosis 2

DDS	65	93	113	141	169
Hojas	12,32	23,06	19,84	45,22	58,52
Tallos	18,61	29,09	38,90	48,55	86,84
Raíces	3,24	4,95	7,16	10,06	17,41
Frutos	11,55	29,60	89,79	148,10	197,15
Total	45,72	86,70	155,70	251,93	359,91

Cuadro A.2.9: Pesos secos de los órganos de la planta con la fuente

liberación lenta dosis 3

DDS	65	93	113	141	169
Hojas	13,83	18,01	16,31	29,96	40,59
Tallos	15,15	18,83	29,09	38,26	61,33
Raíces	3,20	3,99	6,42	8,09	12,22
Frutos	8,37	24,72	77,07	196,35	207,82
Total	40,54	65,55	128,89	272,66	321,96

Cuadro A.2.10: Pesos secos de los órganos de la planta en el

tratamiento sin fertilización

DDS	65	93	113	141	169
Hojas	6,17	7,45	6,68	13,00	16,52
Tallos	7,62	9,53	12,46	19,60	26,85
Raíces	2,08	2,95	4,25	6,22	9,22
Frutos	4,26	9,27	17,99	35,54	46,32
Total	20,12	29,20	41,37	74,35	98,91

### Anexo 3

#### **Análisis de varianza del peso seco de hojas, tallos, raíces y frutos a los 65 días después de la siembra en chile dulce (c.v. Nathalie) en diferentes fuentes y dosis fertilizantes**

Cuadro A.3.1: Análisis de varianza del peso seco de hojas en el primer muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Tipo III</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Fuente Fert.</b>	2	33,168	16,584	0,74	0,493
<b>Dosis</b>	3	184,007	61,335	2,72	0,074
<b>Fuente Fert.*Dosis</b>	6	40,154	6,692	0,30	0,930

Cuadro A.3.2: Análisis comparativo del peso seco de hojas en el primer muestreo entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	28,991	12,301	2,36	0,030
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	17,336	12,301	1,41	0,175
DOSIS 0 vs >0 EN LL	21,501	12,301	1,75	0,097

### Anexo 4

#### **Análisis de varianza del peso seco de hojas y peso seco total de planta a los 93 días después de la siembra de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en diferentes fuentes y dosis fertilizantes**

Cuadro A.4.1: Análisis de varianza del peso seco de las hojas en el segundo muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Tipo III</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Fuente Fert.	2	58,611	29,305	2,20	0,139
Dosis	3	329,035	109,678	8,24	0,001
Fuente Fert.*Dosis	6	160,471	26,745	2,01	0,117

Cuadro A.4.2: Análisis de varianza del peso seco total de la planta en el segundo muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Tipo III</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Fuente Fert.	2	333,904	166,952	0,35	0,710
Dosis	3	5883,464	1961,154	4,09	0,022
Fuente Fert.*Dosis	6	1335,097	222,516	0,46	0,825



Cuadro A.4.3: Análisis comparativo del peso seco de hojas en el segundo muestreo entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	15,011	3,846	3,90	0,001
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	5,597	3,846	1,46	0,162
DOSIS 0 vs >0 EN LL	6,307	3,846	1,64	0,16

Cuadro A.4.4: Análisis comparativo del peso seco total de planta en el segundo muestreo entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	60,013	23,078	2,60	0,018
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	33,171	23,078	1,44	0,167
DOSIS 0 vs >0 EN LL	34,882	23,078	1,51	0,148

## Anexo 5

### **Análisis de varianza del peso seco de hojas, raíces, frutos y total de planta a los 113 días después de la siembra de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en diferentes fuentes y dosis fertilizantes**

Cuadro A.5.1: Análisis de varianza de la variable dependiente peso seco de las hojas en el tercer muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Tipo III</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Fuente Fert.	2	193,474	46,737	1,18	0,11
Dosis	3	445,016	148,338	9,28	0,0006
Fuente Fert.*Dosis	6	191,202	31,867	1,99	0,119

Cuadro A.5.2: Análisis de varianza de la variable dependiente peso seco de las raíces en el tercer muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Tipo III</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Fuente Fert.	2	62,201	31,100	14,95	0,0001
Dosis	3	2,861	0,953	0,46	0,714
Fuente Fert.*Dosis	6	34,510	5,751	2,77	0,043

Cuadro A.5.3: Análisis de varianza de la variable dependiente peso seco de los frutos en el tercer muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Tipo III</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Fuente Fert.	2	228,634	114,317	0,14	0,870
Dosis	3	13849,341	4616,447	5,64	0,006
Fuente Fert.*Dosis	6	2422,624	403,770	0,49	0,805

Cuadro A.5.4: Análisis de varianza de la variable dependiente peso seco total de las plantas en el tercer muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Tipo III</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Fuente Fert.	2	3042,135	1521,067	1,30	0,297
Dosis	3	28058,741	9352,913	7,99	0,001
Fuente Fert.*Dosis	6	5027,697	837,949	0,72	0,642

Cuadro A.5.5: Análisis comparativo de la variable peso seco en el tercer muestreo entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente fertilizante

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	15,588	4,213	3,70	0,001
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	13,033	4,213	3,09	0,006
DOSIS 0 vs >0 EN LL	8,995	4,213	2,13	0,046

Cuadro A.5.6: Análisis comparativo de la variable peso seco de los frutos en el tercer muestreo

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	64,691	30,166	2,14	0,045
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	80,043	30,166	2,65	0,016
DOSIS 0 vs >0 EN LL	89,89	30,166	2,88	0,042

Cuadro A.5.7: Análisis comparativo de la variable del peso seco de las plantas en el tercera muestreo

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	103,031	36,074	2,86	0,010
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	111,265	36,074	3,08	0,006
DOSIS 0 vs >0 EN LL	84,556	36,074	2,34	0,030

## Anexo 6

### Análisis de varianza del peso seco de hojas y frutos a los 141 días después de la siembra de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en diferentes fuentes y dosis fertilizantes

Cuadro A.6.1: Análisis de varianza del peso seco de las hojas en el cuarto muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Tipo III</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Fuente Fert.	2	384,280	192,140	2,74	0,091
Dosis	3	1451,187	483,729	6,90	0,002
Fuente Fert.*Dosis	6	325,005	54,167	0,77	0,601

Cuadro A.6.2: Análisis de varianza del peso seco de los frutos en el cuarto muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Tipo III</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Fuente Fert.	2	4244,207	2122,103	2,59	0,102
Dosis	3	43056,504	14352,168	17,54	<0,0001
Fuente Fert.*Dosis	6	4147,118	691,186	0,84	0,552

Cuadro A.6.3: Análisis comparativo del peso seco de hojas en el cuarto muestreo entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	30,973	8,828	3,51	0,002
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	33,33	8,828	2,53	0,048
DOSIS 0 vs >0 EN LL	20,523	8,828	2,32	0,032

Cuadro A.6.4: Análisis comparativo del peso seco de los frutos en el cuarto muestreo entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	149,301	30,155	4,95	0,0001
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	117,114	30,155	3,88	0,0011
DOSIS 0 vs >0 EN LL	93,002	30,155	3,08	0,0064

## Anexo 7

### Análisis de varianza del peso seco de hojas y de la planta total a los 169 días después de la siembra de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en diferentes fuentes y dosis

Cuadro A.7.1: Análisis de varianza del peso seco de las hojas en el quinto muestreo

Fuente	GL	SC Tipo III	CM	F	Pr > F
Fuente Fert.	2	339,157	169,578	1,39	0,273
Dosis	3	2343,871	781,290	6,42	0,003
Fuente Fert.*Dosis	6	389,001	64,833	0,53	0,776

Cuadro A.7.2: Análisis de varianza del peso seco de los frutos en el quinto muestreo

Fuente	GL	SC Tipo III	CM	F	Pr > F
Fuente Fert.	2	2877,938	1438,969	0,83	0,453
Dosis	3	56024,814	18674,938	10,72	0,0003
Fuente Fert.*Dosis	6	5688,883	948,147	0,54	0,768



Cuadro A.7.3: Análisis de varianza del peso seco total de la planta en el quinto muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Tipo III</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Fuente Fert.	2	6601,957	3300,978	1,05	0,371
Dosis	3	133024,418	44341,472	14,07	<0,0001
Fuente Fert.*Dosis	6	15213,783	2535,630	0,80	0,579

Cuadro A.7.4: Análisis comparativo del peso seco de hojas en el quinto muestreo entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	35,3222222	11,6260383	3,04	0,0071
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	32,4477778	11,6260383	2,76	0,0042
DOSIS 0 vs >0 EN LL	28,3644444	11,6260383	2,44	0,0253

Cuadro A.7.5: Análisis comparativo del peso seco de los frutos en el quinto muestreo entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	170,191	43,997	3,87	0,001
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	141,252	43,997	3,21	0,004
DOSIS 0 vs >0 EN LL	114,747	43,997	2,61	0,017

Cuadro A.7.6: Análisis comparativo del peso seco total de plantas en el quinto muestreo entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	273,592	59,166	4,62	0,0002
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	179,698	59,166	3,04	0,007
DOSIS 0 vs >0 EN LL	203,935	59,166	3,45	0,002

## Anexo 8

### Índices morfológicos de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en diferentes fuentes y dosis fertilizantes

Cuadro A.8.1: Índice de área foliar ( $m^2 \cdot m^{-2}$ ) en diferentes etapas fenológicas

Muestreo (D.D.S.)	FrD1	FrD2	FrD3	GrD1	GrD2	GrD3	LLD1	LLD2	LLD3	TeD0
65	0,49 <sup>a</sup>	0,52 <sup>a</sup>	0,61 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>	0,51 <sup>a</sup>	0,46 <sup>a</sup>	0,44 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>	0,20 <sup>b</sup>
93	0,56 <sup>a</sup>	0,75 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>	0,53 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>	1,10 <sup>a</sup>	0,68 <sup>a</sup>	0,39 <sup>b</sup>
113	0,65 <sup>a</sup>	0,54 <sup>a</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>	0,47 <sup>a</sup>	0,66 <sup>a</sup>	0,80 <sup>a</sup>	0,53 <sup>a</sup>	0,34 <sup>b</sup>
141	1,27 <sup>a</sup>	1,20 <sup>a</sup>	1,01 <sup>a</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,97 <sup>a</sup>	0,71 <sup>a</sup>	0,88 <sup>a</sup>	1,05 <sup>a</sup>	0,89 <sup>a</sup>	0,48 <sup>b</sup>
169	1,42 <sup>a</sup>	1,43 <sup>a</sup>	1,31 <sup>a</sup>	1,12 <sup>a</sup>	1,01 <sup>a</sup>	1,03 <sup>a</sup>	1,15 <sup>a</sup>	1,49 <sup>a</sup>	1,12 <sup>a</sup>	0,62 <sup>b</sup>

Valores en la misma fila que muestran igual letra no difieren estadísticamente entre si ( $p < 0,01$ )

Cuadro A.8.2: Razón de área foliar ( $m^2 \cdot kg^{-1}$ ) en diferentes etapas fenológicas

Tratamientos \ DDD	DDD				
	65	93	113	141	169
FrD1	7,03 <sup>a</sup>	4,86 <sup>a</sup>	2,47 <sup>a</sup>	2,60 <sup>a</sup>	2,21 <sup>a</sup>
FrD2	6,96 <sup>a</sup>	4,93 <sup>a</sup>	2,43 <sup>a</sup>	2,80 <sup>a</sup>	2,74 <sup>a</sup>
FrD3	7,91 <sup>a</sup>	4,19 <sup>a</sup>	2,56 <sup>a</sup>	2,28 <sup>a</sup>	2,43 <sup>a</sup>
GrD1	5,92 <sup>a</sup>	5,30 <sup>a</sup>	1,99 <sup>a</sup>	1,91 <sup>a</sup>	2,11 <sup>a</sup>
GrD2	5,76 <sup>a</sup>	3,72 <sup>a</sup>	2,31 <sup>a</sup>	2,85 <sup>a</sup>	2,19 <sup>a</sup>
GrD3	6,96 <sup>a</sup>	3,83 <sup>a</sup>	1,79 <sup>a</sup>	1,78 <sup>a</sup>	2,11 <sup>a</sup>
LLD1	7,26 <sup>a</sup>	3,96 <sup>a</sup>	2,38 <sup>a</sup>	2,00 <sup>a</sup>	2,11 <sup>a</sup>
LLD2	5,52 <sup>a</sup>	7,33 <sup>a</sup>	2,95 <sup>a</sup>	2,39 <sup>a</sup>	2,39 <sup>a</sup>
LLD3	8,45 <sup>a</sup>	5,93 <sup>a</sup>	2,36 <sup>a</sup>	1,88 <sup>a</sup>	2,00 <sup>a</sup>
TeD0	5,85 <sup>a</sup>	7,68 <sup>b</sup>	4,77 <sup>b</sup>	3,72 <sup>b</sup>	3,64 <sup>b</sup>

Valores en la misma columna que muestran igual letra no difieren estadísticamente entre si ( $p < 0,01$ )

Cuadro A.8.3: Razón de peso comercial ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) en diferentes etapas fenológicas

Tratamientos \ DDD	DDD				
	65	93	113	141	169
Fr D1	0,13 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>	0,61 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>
Fr D2	0,25 <sup>a</sup>	0,36 <sup>a</sup>	0,53 <sup>a</sup>	0,54 <sup>a</sup>	0,54 <sup>a</sup>
Fr D3	0,14 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>
Gr D1	0,35 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,70 <sup>a</sup>	0,70 <sup>a</sup>	0,64 <sup>a</sup>
Gr D2	0,32 <sup>a</sup>	0,53 <sup>a</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,65 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>
Gr D3	0,28 <sup>a</sup>	0,46 <sup>a</sup>	0,69 <sup>a</sup>	0,68 <sup>a</sup>	0,63 <sup>a</sup>
LL D1	0,14 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,64 <sup>a</sup>	0,62 <sup>a</sup>
LL D2	0,25 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>	0,55 <sup>a</sup>
LL D3	0,21 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,60 <sup>a</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,65 <sup>a</sup>
Te D0	0,21 <sup>a</sup>	0,32 <sup>a</sup>	0,43 <sup>b</sup>	0,48 <sup>b</sup>	0,47 <sup>b</sup>

Valores en la misma columna que muestran igual letra no difieren estadísticamente entre si ( $p < 0,01$ )

Cuadro A.8.4: Relación de raíces a parte aérea ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) en diferentes etapas fenológicas

Tratamientos \ DDD	DDD				
	65	93	113	141	169
Fr D1	0,12 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>
Fr D2	0,09 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>
Fr D3	0,13 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>
Gr D1	0,13 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,07 <sup>a</sup>	0,07 <sup>a</sup>
Gr D2	0,14 <sup>a</sup>	0,06 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>
Gr D3	0,18 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>
LL D1	0,12 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>
LL D2	0,10 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>
LL D3	0,11 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>
Te D0	0,15 <sup>a</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,22 <sup>b</sup>	0,19 <sup>b</sup>	0,21 <sup>b</sup>

Valores en la misma columna que muestran igual letra no difieren estadísticamente entre si ( $p < 0,01$ )

## Anexo 9

### Índices fisiológicos de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en diferentes fuentes y dosis fertilizantes

Cuadro A.9.1: Índice de crecimiento relativo ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ) en diferentes etapas fenológicas

DDD Tratamientos	65	93	113	141	169
Fr D1	0.059 <sup>a</sup>	0.018 <sup>a</sup>	0.039 <sup>a</sup>	0.022 <sup>a</sup>	0.010 <sup>a</sup>
Fr D2	0.060 <sup>a</sup>	0.025 <sup>a</sup>	0.019 <sup>a</sup>	0.023 <sup>a</sup>	0.007 <sup>a</sup>
Fr D3	0.060 <sup>a</sup>	0.022 <sup>a</sup>	0.034 <sup>a</sup>	0.016 <sup>a</sup>	0.007 <sup>a</sup>
Gr D1	0.058 <sup>a</sup>	0.013 <sup>a</sup>	0.035 <sup>a</sup>	0.021 <sup>a</sup>	0.012 <sup>a</sup>
Gr D2	0.057 <sup>a</sup>	0.019 <sup>a</sup>	0.025 <sup>a</sup>	0.022 <sup>a</sup>	0.011 <sup>a</sup>
Gr D3	0.060 <sup>a</sup>	0.020 <sup>a</sup>	0.034 <sup>a</sup>	0.015 <sup>a</sup>	0.007 <sup>a</sup>
LL D1	0.057 <sup>a</sup>	0.023 <sup>a</sup>	0.039 <sup>a</sup>	0.017 <sup>a</sup>	0.008 <sup>a</sup>
LL D2	0.061 <sup>a</sup>	0.023 <sup>a</sup>	0.028 <sup>a</sup>	0.017 <sup>a</sup>	0.013 <sup>a</sup>
LL D3	0.059 <sup>a</sup>	0.017 <sup>a</sup>	0.032 <sup>a</sup>	0.027 <sup>a</sup>	0.006 <sup>a</sup>
Te D0	0.048 <sup>b</sup>	0.013 <sup>a</sup>	0.017 <sup>a</sup>	0.021 <sup>a</sup>	0.010 <sup>a</sup>

Valores en la misma columna que muestran igual letra no difieren estadísticamente entre si ( $p < 0,01$ )

Cuadro A.9.2: Índice de crecimiento relativo foliar ( $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) en diferentes etapas fenológicas

Tratamientos \ DDD	DDD				
	65	93	113	141	169
FrD1	0.122 <sup>a</sup>	0.005 <sup>a</sup>	0.007 <sup>a</sup>	0.024 <sup>a</sup>	0.004 <sup>a</sup>
FrD2	0.123 <sup>a</sup>	0.013 <sup>a</sup>	-0.016 <sup>a</sup>	0.028 <sup>a</sup>	0.006 <sup>a</sup>
FrD3	0.125 <sup>a</sup>	-0.001 <sup>a</sup>	0.011 <sup>a</sup>	0.012 <sup>a</sup>	0.010 <sup>a</sup>
GrD1	0.119 <sup>a</sup>	0.009 <sup>a</sup>	-0.012 <sup>a</sup>	0.019 <sup>a</sup>	0.016 <sup>a</sup>
GrD2	0.118 <sup>a</sup>	0.004 <sup>a</sup>	0.002 <sup>a</sup>	0.029 <sup>a</sup>	0.002 <sup>a</sup>
GrD3	0.123 <sup>a</sup>	-0.002 <sup>a</sup>	-0.003 <sup>a</sup>	0.015 <sup>a</sup>	0.013 <sup>a</sup>
LLD1	0.121 <sup>a</sup>	0.002 <sup>a</sup>	0.015 <sup>a</sup>	0.010 <sup>a</sup>	0.009 <sup>a</sup>
LLD2	0.121 <sup>a</sup>	0.033 <sup>a</sup>	-0.016 <sup>a</sup>	0.010 <sup>a</sup>	0.013 <sup>a</sup>
LLD3	0.125 <sup>a</sup>	0.005 <sup>a</sup>	-0.012 <sup>a</sup>	0.019 <sup>a</sup>	0.008 <sup>a</sup>
TeD0	0.109 <sup>b</sup>	0.023 <sup>a</sup>	-0.006 <sup>a</sup>	0.012 <sup>a</sup>	0.009 <sup>a</sup>

Valores en la misma columna que muestran igual letra no difieren estadísticamente entre si ( $p < 0,01$ )

Cuadro A.9.3: Índice de asimilación neta ( $\text{gr} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sem}^{-1}$ ) en diferentes etapas fenológicas

DDD Tratamientos	9	13	16	20	24
FrD1	0,013 <sup>a</sup>	0,0023 <sup>a</sup>	0,0082 <sup>a</sup>	0,0060 <sup>a</sup>	0,0029 <sup>a</sup>
FrD2	0,014 <sup>a</sup>	0,0026 <sup>a</sup>	0,0039 <sup>a</sup>	0,0061 <sup>a</sup>	0,0018 <sup>a</sup>
FrD3	0,012 <sup>a</sup>	0,0024 <sup>a</sup>	0,0076 <sup>a</sup>	0,0049 <sup>a</sup>	0,0021 <sup>a</sup>
GrD1	0,015 <sup>a</sup>	0,0015 <sup>a</sup>	0,0081 <sup>a</sup>	0,0074 <sup>a</sup>	0,0044 <sup>a</sup>
GrD2	0,015 <sup>a</sup>	0,0028 <sup>a</sup>	0,0067 <sup>a</sup>	0,0057 <sup>a</sup>	0,0031 <sup>a</sup>
GrD3	0,013 <sup>a</sup>	0,0026 <sup>a</sup>	0,0096 <sup>a</sup>	0,0061 <sup>a</sup>	0,0027 <sup>a</sup>
LLD1	0,013 <sup>a</sup>	0,0029 <sup>a</sup>	0,0092 <sup>a</sup>	0,0051 <sup>a</sup>	0,0028 <sup>a</sup>
LLD2	0,016 <sup>a</sup>	0,0025 <sup>a</sup>	0,0040 <sup>a</sup>	0,0044 <sup>a</sup>	0,0039 <sup>a</sup>
LLD3	0,011 <sup>a</sup>	0,0015 <sup>a</sup>	0,0063 <sup>a</sup>	0,0095 <sup>a</sup>	0,0023 <sup>a</sup>
TeD0	0,014 <sup>a</sup>	0,0016 <sup>a</sup>	0,0016 <sup>b</sup>	0,0048 <sup>a</sup>	0,0016 <sup>a</sup>

Valores en la misma columna que muestran igual letra no difieren estadísticamente entre sí ( $p < 0,01$ )

## Anexo 10

**Producción en peso fresco y número de frutos de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en diferentes fuentes y dosis fertilizantes.**

Cuadro A.10.3: Medias de producción (kg ha<sup>-1</sup>) por tratamiento

Fuente	Dosis	Producción Total	Producción primera	Producción segunda	Producción tercera
FR	D0	13975,7	13454,9	520,8	0,0
FR	D1	41994,6	40094,5	1900,1	0,0
FR	D2	35252,7	31703,3	3366,1	183,2
FR	D3	33574,5	29214,9	3018,9	1340,7
GR	D0	6250,0	1562,5	2141,2	2546,3
GR	D1	35995,4	30237,3	4793,6	964,5
GR	D2	37143,1	32465,3	4600,7	77,2
GR	D3	36902,0	32561,7	3973,7	366,5
LL	D0	7581,0	5266,2	2314,8	0,0
LL	D1	36130,4	34587,2	1109,2	434,0
LL	D2	40518,9	35821,8	4542,8	154,3
LL	D3	39795,5	37895,5	1466,1	434,0

Cuadro A.10.6: Medias del número de frutos por tratamiento

<b>Fuente</b>	<b>Dosis</b>	<b>Total frutos 1ra</b>	<b>Total frutos 2da</b>	<b>Total Frutos 3ra</b>	<b>Total frutos</b>
<b>Fr</b>	D0	92592,6	5787,0	0,0	98379,6
<b>Fr</b>	D1	252700,6	19290,1	0,0	271990,7
<b>Fr</b>	D2	202546,3	34722,2	3858,0	241126,5
<b>Fr</b>	D3	189043,2	30864,2	21219,1	241126,5
<b>Gr</b>	D0	11574,1	23148,1	46296,3	81018,5
<b>Gr</b>	D1	198688,3	48225,3	15432,1	262345,7
<b>Gr</b>	D2	183256,2	36651,2	1929,0	221836,4
<b>Gr</b>	D3	212191,4	38580,2	7716,0	258487,6
<b>LL</b>	D0	34722,2	23148,1	0,0	57870,4
<b>LL</b>	D1	212191,3	11574,1	7716,0	231481,5
<b>LL</b>	D2	210262,3	48225,3	3858,0	262345,7
<b>LL</b>	D3	223765,4	15432,1	9645,1	248842,6



## Anexo 11

### Análisis de varianza del peso fresco y del número de frutos de chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en diferentes fuentes y dosis fertilizantes

Cuadro A.11.1: Análisis de varianza del peso seco total de frutos

Fuente	GL	SC Tipo III	CM	F	Pr > F
Fuente Fert.	2	22133291	11066645	0,16	0,85
Dosis	3	2156370061	718790020	10,43	0,0003
Fuente Fert.*Dosis	6	184258530	30709755	0,45	0,84

Cuadro A.11.2: Análisis de varianza del peso seco de frutos de primera clase

Fuente	GL	SC Tipo III	CM	F	Pr > F
Fuente Fert.	2	98727358	49363679	0,81	0,46
Dosis	3	1997461320	665820440	10,96	0,0003
Fuente Fert.*Dosis	6	268621596	44770266	0,74	0,63

Cuadro A.11.3: Análisis comparativo del peso total de frutos entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

Parametro	Estimado	Error Standard	Valor t	Pr >  t
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	22964,9	8749,5	2,62	0,02
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	30430,2	8749,5	3,48	0,003
DOSIS 0 vs >0 EN LL	31234,0	8749,5	3,57	0,002

Cuadro A.11.4: Análisis comparativo del peso seco de frutos primera calidad entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

Parametro	Estimado	Error Standard	Valor t	Pr >  t
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	20216,0	8214,2	2,46	0,02
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	30192,2	8214,2	3,68	0,002
DOSIS 0 vs >0 EN LL	30835,3	8214,2	3,75	0,002

Cuadro A.11.5: Análisis de varianza del número de total de frutos

Fuente	GL	SC Tipo III	CM	F	Pr > F
Fuente Fert.	2	680957512	340478756	0,09	0,91
Dosis	3	78629567244	26209855748	7,21	0,002
Fuente Fert.*Dosis	6	6133094249	1022182375	0,28	0,94

Cuadro A.11.6: Análisis de varianza del número de frutos de primera calidad

Fuente	GL	Type III SS	CM	F <sub>Calc</sub>	Pr > F
Fuente Fert.	2	4332586619	2166293310	0,92	0,42
Dosis	3	74126681646	24708893882	10,48	0,0003
Fuente Fert*Dosis	6	8310675785	1385112631	0,59	0,74

Cuadro A.11.7: Análisis comparativo del número total de frutos entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	153035,0	63556,6	2,41	0,03
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	166538,1	63556,6	2,62	0,02
DOSIS 0 vs >0 EN LL	189686,2	63556,6	2,98	0,01

Cuadro A.11.8: Análisis comparativo del número de frutos de primera calidad entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados por fuente

<b>Parametro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Standard</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
DOSIS 0 vs >0 EN Fr	122170,8	51185,2	2,39	0,03
DOSIS 0 vs >0 EN Gr	186471,2	51185,2	3,64	0,002
DOSIS 0 vs >0 EN LL	180684,2	51185,2	3,53	0,002

## Anexo 12

### Prueba de homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett) para las variables de rendimiento

Cuadro A.12.1: Análisis de homogeneidad de varianzas para el número de frutos producidos según su clase

FUENTE	Número de frutos de primera	Número de frutos de segunda	Número de frutos de tercera	Número de total de frutos
FR	21,62	19,58	18,50	21,75
GR	21,08	20,69	18,94	21,69
LL	21,88	20,03	17,61	22,43
Prom Var	21,58	20,21	18,49	22,01
M=	0,95	1,89	2,45	1,06
C=	1,07	1,07	1,07	1,07
Chi=M/C	0,88	1,76	2,28	0,99
Pr>Chi	0,644	0,415	0,320	0,611

Cuadro A.12.2: Análisis de homogeneidad de varianzas para el número de frutos producidos según su clase

FUENTE	Producción de primera clase	Producción de segunda clase	Producción de tercera clase	Producción total
FR	17,91	14,88	13,09	17,87
GR	17,56	16,32	13,28	17,47
LL	18,19	15,34	11,65	18,55
Prom Var	17,92	15,70	12,89	18,07
M=	0,60	3,32	3,81	1,82
C=	1,07	1,07	1,07	1,07
Chi=M/C	0,55	3,09	3,54	1,69
Pr>Chi	0,758	0,213	0,170	0,429

### Anexo 13

#### Prueba de homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett) para índices morfológicos y fisiológicos

Cuadro A.13.1: Análisis de homogeneidad de varianzas para el índice de crecimiento relativo

FUENTE	Semanas después de la siembra		
	9	16	24
FR	-7,71	-4,72	-7,60
GR	-7,89	-4,93	-7,00
LL	-6,27	-4,23	-8,29
Prom Var	-7,00	-4,58	-7,50
M=	5,09	0,81	2,39
C=	1,07	1,07	1,07
Chi=M/C	4,74	0,76	2,23
Pr>Chi	0,093	0,684	0,329

Cuadro A.13.2: Análisis de homogeneidad de varianzas para el índice de área foliar

FUENTE	Semanas después de la siembra		
	9	16	24
FR	-4,09	-4,91	-4,16
GR	-5,74	-6,21	-4,96
LL	-4,42	-4,16	-4,96
Prom Var	-4,54	-4,78	-4,62
M=	3,79	5,54	1,37
C=	1,07	1,07	1,07
Chi=M/C	3,53	5,15	1,28
Pr>Chi	0,171	0,076	0,528

Cuadro A.13.3: Análisis de homogeneidad de varianzas para el índice de crecimiento relativo foliar

FUENTE	Semanas después de la siembra		
	9	16	24
FR	-7,13	-6,32	-5,78
GR	-8,68	-5,88	-7,01
LL	-7,54	-4,47	-6,81
Prom Var	-7,60	-5,23	-6,38
M=	3,30	5,89	2,82
C=	1,07	1,07	1,07
Chi=M/C	3,08	5,48	2,63
Pr>Chi	0,215	0,065	0,269

Cuadro A.13.4: Análisis de homogeneidad de varianzas para el índice de asimilación neta

FUENTE	Semanas después de la siembra		
	9	16	24
FR	-11.62	-11.17	-14.03
GR	-12.79	-10.09	-13.12
LL	-10.90	-11.16	-12.75
Prom Var	-11.51	-10.67	-13.17
M=	4.77	2.46	2.33
C=	1.07	1.07	1.07
Chi=M/C	4.44	2.29	2.17
Pr>Chi	<b>0.109</b>	<b>0.317</b>	<b>0.338</b>

Cuadro A.13.4: Análisis de homogeneidad de varianzas para la relación de peso comercial

FUENTE	Semanas después de la siembra		
	9	16	24
FR	-5,04	-5,05	-5,13
GR	-4,23	-5,60	-6,57
LL	-3,12	-5,10	-5,22
Prom Var	-3,83	-5,22	-5,46
M=	5,38	0,52	3,19
C=	1,07	1,07	1,07
Chi=M/C	5,01	0,48	2,97
Pr>Chi	0,082	0,786	0,227

## Anexo 14

### Análisis químico de los diversos tejidos de la planta por muestreo en chile dulce (c.v. Nathalie) en invernadero en diferentes fuentes y dosis fertilizantes

Cuadro A.12.1: Análisis químico de tejidos en el muestreo 1

ID USUARIO	% <sup>1</sup>						Mg kg <sup>-1</sup>				
	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
M. 1 - TED0 - RAICES	3,12	0,23	0,78	0,25	2,83	0,42	14952	55	71	409	52
M. 1 - TED0 - TALLOS	2,92	0,23	0,90	0,40	5,69	0,41	250	12	40	53	22
M. 1 - TED0 - HOJAS	5,27	0,48	2,12	0,70	5,90	0,68	458	24	114	150	46
M. 1 - TED0 - FRUTOS	3,25	0,45	0,25	0,22	3,65	0,28	193	13	28	34	14
M. 1 - FRD1 - RAICES	3,49	0,23	0,85	0,26	2,66	0,37	17705	52	63	552	57
M. 1 - FRD1 - TALLOS	3,16	0,20	0,70	0,33	5,86	0,36	145	11	33	54	22
M. 1 - FRD1 - HOJAS	5,06	0,33	2,01	0,70	6,35	0,56	462	16	117	217	46
M. 1 - FRD1 - FRUTOS	3,87	0,49	0,28	0,25	4,18	0,32	186	12	31	36	18
M. 1 - FRD2 - RAICES	3,43	0,23	0,77	0,24	2,70	0,39	13962	43	52	354	44
M. 1 - FRD2 - TALLOS	3,40	0,25	0,89	0,41	6,12	0,44	201	16	43	56	23
M. 1 - FRD2 - HOJAS	5,07	0,34	2,33	0,76	5,64	0,57	663	21	94	235	46
M. 1 - FRD2 - FRUTOS	3,10	0,46	0,26	0,22	3,98	0,29	538	15	33	30	16
M. 1 - FRD3 - RAICES	2,93	0,21	0,72	0,23	2,33	0,33	15369	50	56	479	47
M. 1 - FRD3 - TALLOS	2,13	0,19	0,46	0,23	4,10	0,29	218	11	25	51	15
M. 1 - FRD3 - HOJAS	4,80	0,34	1,59	0,55	5,42	0,50	372	15	89	195	37
M. 1 - FRD3 - FRUTOS	3,32	0,50	0,27	0,24	4,10	0,30	193	13	28	30	16
M. 1 - LLD1 - RAICES	3,71	0,22	0,77	0,24	2,70	0,40	10581	41	56	588	40
M. 1 - LLD1 - TALLOS	3,05	0,23	0,63	0,30	5,00	0,36	166	13	33	86	18
M. 1 - LLD1 - HOJAS	5,54	0,34	1,61	0,56	4,99	0,50	351	18	87	273	31
M. 1 - LLD1 - FRUTOS	3,77	0,46	0,28	0,23	4,03	0,30	208	13	29	44	15
M. 1 - LLD2 - RAICES	3,53	0,24	0,76	0,28	2,47	0,45	17597	50	58	796	52
M. 1 - LLD2 - TALLOS	3,06	0,21	0,69	0,34	4,94	0,40	146	14	37	107	18
M. 1 - LLD2 - HOJAS	5,50	0,34	1,79	0,63	6,09	0,59	402	20	97	320	41
M. 1 - LLD2 - FRUTOS	3,39	0,56	0,30	0,28	4,61	0,35	194	18	31	49	20
M. 1 - LLD3 - RAICES	3,42	0,26	0,92	0,44	7,30	0,47	299	16	58	128	26
M. 1 - LLD3 - TALLOS	3,10	0,25	0,99	0,27	3,12	0,45	13405	44	471	489	51
M. 1 - LLD3 - HOJAS	5,76	0,42	2,03	0,72	6,68	0,67	556	22	128	336	42
M. 1 - LLD3 - FRUTOS	3,47	0,54	0,28	0,26	4,77	0,35	500	17	33	52	19
M. 1 - GRD1 - RAICES	3,68	0,24	0,91	0,35	2,54	0,41	15328	47	65	868	52
M. 1 - GRD1 - TALLOS	3,00	0,22	0,84	0,39	6,04	0,45	185	16	50	123	23
M. 1 - GRD1 - HOJAS	5,44	0,45	1,92	0,73	6,13	0,63	371	22	105	287	42
M. 1 - GRD1 - FRUTOS	3,20	0,47	0,25	0,25	3,96	0,30	138	14	27	46	16
M. 1 - GRD2 - RAICES	3,35	0,22	0,84	0,40	2,23	0,41	15170	47	63	628	48
M. 1 - GRD2 - TALLOS	2,64	0,20	0,68	0,29	4,47	0,37	165	13	36	92	20
M. 1 - GRD2 - HOJAS	5,60	0,44	1,72	0,64	6,12	0,62	493	23	104	278	43
M. 1 - GRD2 - FRUTOS	3,09	0,44	0,22	0,23	3,69	0,28	148	12	23	42	15
M. 1 - GRD3 - RAICES	3,19	0,20	0,68	0,22	2,03	0,34	15841	48	46	822	50
M. 1 - GRD3 - TALLOS	2,36	0,19	0,57	0,27	4,57	0,33	153	13	26	74	18
M. 1 - GRD3 - HOJAS	4,90	0,40	1,72	0,60	5,83	0,57	447	19	95	250	44
M. 1 - GRD3 - FRUTOS	3,22	0,43	0,20	0,22	3,51	0,26	269	14	23	31	15



Cuadro A.12.2: Análisis químico de tejidos en el muestreo 2

ID USUARIO	% <sup>1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
M. 2 - LLD2 - RAICES	3,27	0,17	0,96	0,25	2,07	0,46	13063	42	59	790	48
M. 2 - LLD2 - TALLOS	1,62	0,10	0,76	0,29	4,07	0,47	211	11	34	144	18
M. 2 - LLD2 - HOJAS	4,15	0,31	2,89	0,84	7,22	0,76	1463	21	117	446	57
M. 2 - LLD2 - FRUTOS	2,38	0,38	0,23	0,23	4,17	0,28	159	10	122	52	18
M. 2 - LLD1 - RAICES	4,00	0,16	0,89	0,27	2,18	0,44	9294	37	54	646	43
M. 2 - LLD1 - TALLOS	2,22	0,12	1,04	0,41	4,78	0,48	416	14	42	273	22
M. 2 - LLD1 - HOJAS	3,94	0,29	2,78	0,77	7,65	0,65	1448	18	110	597	51
M. 2 - LLD1 - FRUTOS	3,19	0,38	0,23	0,24	4,15	0,29	285	13	26	57	17
M. 2 - LLD3 - RAICES	3,26	0,16	0,94	0,27	2,30	0,41	8278	36	54	499	39
M. 2 - LLD3 - TALLOS	1,87	0,12	1,03	0,39	4,56	0,48	316	13	36	188	21
M. 2 - LLD3 - HOJAS	4,66	0,31	2,61	0,75	7,31	0,71	2038	21	98	478	56
M. 2 - LLD3 - FRUTOS	2,97	0,35	0,22	0,22	3,84	0,26	154	10	26	43	15
M. 2 - GRD1 - RAICES	3,81	0,17	0,92	0,23	2,08	0,45	7388	40	48	488	37
M. 2 - GRD1 - TALLOS	2,62	0,14	1,11	0,40	4,71	0,55	214	14	45	240	24
M. 2 - GRD1 - HOJAS	4,85	0,26	2,26	0,68	6,28	0,57	1054	15	87	387	49
M. 2 - GRD1 - FRUTOS	3,00	0,35	0,20	0,21	3,59	0,28	112	11	22	46	15
M. 2 - GRD3 - RAICES	3,58	0,19	0,94	0,27	2,12	0,46	5248	30	45	490	32
M. 2 - GRD3 - TALLOS	2,05	0,15	1,10	0,41	4,74	0,52	249	16	39	183	23
M. 2 - GRD3 - HOJAS	4,75	0,30	2,65	0,81	6,93	0,73	1481	21	108	420	60
M. 2 - GRD3 - FRUTOS	2,94	0,44	0,26	0,25	4,34	0,33	134	13	31	37	18
M. 2 - GRD2 - RAICES	4,30	0,33	1,07	0,40	2,91	0,70	5408	43	86	1121	38
M. 2 - GRD2 - TALLOS	2,32	0,18	1,26	0,45	5,83	0,62	210	17	50	212	27
M. 2 - GRD2 - HOJAS	4,97	0,28	2,10	0,63	6,05	0,67	997	13	87	340	50
M. 2 - GRD2 - FRUTOS	2,74	0,36	0,20	0,20	3,46	0,28	100	11	23	35	13
M. 2 - FRD1 - RAICES	3,64	0,18	1,01	0,25	2,63	0,48	7363	33	44	229	39
M. 2 - FRD1 - TALLOS	2,46	0,15	1,15	0,41	5,16	0,50	277	10	32	136	23
M. 2 - FRD1 - HOJAS	4,77	0,27	2,54	0,69	7,17	0,62	1392	12	87	307	51
M. 2 - FRD1 - FRUTOS	2,97	0,38	0,22	0,23	4,23	0,29	151	12	28	27	17
M. 2 - FRD2 - RAICES	3,29	0,18	0,97	0,24	2,48	0,49	11438	42	44	367	49
M. 2 - FRD2 - TALLOS	1,73	0,16	0,96	0,38	4,38	0,48	185	16	31	56	20
M. 2 - FRD2 - HOJAS	4,60	0,28	2,26	0,63	6,03	0,62	1854	16	78	211	49
M. 2 - FRD2 - FRUTOS	3,13	0,45	0,28	0,24	4,13	0,34	215	12	27	24	17
M. 2 - TED0 - RAICES	3,39	0,22	1,00	0,27	2,56	0,46	7001	42	59	310	41
M. 2 - TED0 - TALLOS	1,62	0,18	0,98	0,41	4,34	0,45	479	14	35	82	22
M. 2 - TED0 - HOJAS	4,19	0,42	2,61	0,72	6,98	0,78	1765	25	141	226	63
M. 2 - TED0 - FRUTOS	3,04	0,51	0,26	0,27	4,55	0,31	267	15	34	28	20
M. 2 - FRD3 - RAICES	3,42	0,17	1,08	0,22	2,15	0,45	7385	42	44	262	35
M. 2 - FRD3 - TALLOS	1,71	0,18	1,17	0,38	5,07	0,62	242	16	38	129	25
M. 2 - FRD3 - HOJAS	4,44	0,30	2,99	0,81	7,78	0,81	1435	61	138	444	61
M. 2 - FRD3 - FRUTOS	2,92	0,47	0,24	0,25	4,72	0,33	168	14	29	29	17

Cuadro A.12.3: Análisis químico de tejidos en el muestreo 3

ID USUARIO	% <sup>1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
M. 3 - TED0 - RAICES	2,90	0,15	0,77	0,17	1,67	0,32	7774	44	46	183	35
M. 3 - TED0 - TALLOS	0,98	0,16	0,94	0,40	3,43	0,42	350	13	29	80	21
M. 3 - TED0 - HOJAS	3,70	0,31	2,69	0,59	5,50	0,70	981	19	123	199	59
M. 3 - TED0 - FRUTOS	1,94	0,40	0,17	0,20	3,75	0,25	190	12	26	27	17
M. 3 - GRD3 - RAICES	3,63	0,18	0,80	0,23	1,90	0,42	4803	29	54	626	25
M. 3 - GRD3 - TALLOS	1,29	0,07	0,59	0,21	2,68	0,29	155	7	19	150	14
M. 3 - GRD3 - HOJAS	4,49	0,21	2,81	0,69	5,94	0,58	840	14	87	437	53
M. 3 - GRD3 - FRUTOS	2,33	0,32	0,21	0,21	3,55	0,24	120	10	24	55	15
M. 3 - GRD2 - RAICES	3,78	0,17	0,65	0,20	1,68	0,38	5592	31	49	578	27
M. 3 - GRD2 - TALLOS	1,78	0,10	0,93	0,33	3,65	0,43	168	11	34	325	20
M. 3 - GRD2 - HOJAS	4,55	0,22	2,47	0,60	5,73	0,57	810	13	74	494	52
M. 3 - GRD2 - FRUTOS	2,26	0,31	0,18	0,19	3,06	0,23	95	9	22	60	15
M. 3 - GRD1 - RAICES	3,69	0,19	0,76	0,28	1,91	0,42	4740	29	48	891	26
M. 3 - GRD1 - TALLOS	1,83	0,10	0,88	0,32	3,59	0,44	246	12	40	230	19
M. 3 - GRD1 - HOJAS	4,42	0,18	2,12	0,56	5,34	0,53	647	12	70	493	41
M. 3 - GRD1 - FRUTOS	2,70	0,34	0,19	0,21	3,36	0,26	110	11	25	62	14
M. 3 - LLD3 - RAICES	3,16	0,18	0,85	0,25	1,72	0,42	9132	46	56	504	36
M. 3 - LLD3 - TALLOS	1,25	0,10	0,89	0,31	3,61	0,44	145	9	28	237	19
M. 3 - LLD3 - HOJAS	4,32	0,21	2,39	0,64	5,86	0,60	716	11	84	484	53
M. 3 - LLD3 - FRUTOS	2,54	0,30	0,18	0,19	3,16	0,23	96	8	20	47	15
M. 3 - LLD2 - RAICES	3,14	0,20	0,84	0,25	2,09	0,49	5097	30	43	578	27
M. 3 - LLD2 - TALLOS	1,89	0,13	1,00	0,33	3,75	0,51	266	12	37	274	20
M. 3 - LLD2 - HOJAS	4,45	0,20	2,45	0,63	5,46	0,56	675	13	97	463	45
M. 3 - LLD2 - FRUTOS	2,53	0,34	0,21	0,22	3,66	0,27	171	12	28	60	16
M. 3 - LLD1 - RAICES	3,14	0,14	0,82	0,21	1,90	0,40	5858	27	44	748	27
M. 3 - LLD1 - TALLOS	1,40	0,09	0,99	0,33	3,76	0,44	154	11	33	385	19
M. 3 - LLD1 - HOJAS	4,50	0,21	2,78	0,70	5,80	0,58	833	13	93	702	53
M. 3 - LLD1 - FRUTOS	2,45	0,30	0,19	0,21	3,68	0,27	257	10	23	65	15
M. 3 - FRD1 - RAICES	2,64	0,13	0,71	0,16	1,95	0,30	4088	21	33	139	24
M. 3 - FRD1 - TALLOS	1,58	0,09	0,84	0,29	3,17	0,34	197	7	30	82	18
M. 3 - FRD1 - HOJAS	4,29	0,20	2,84	0,58	5,73	0,54	794	13	164	320	70
M. 3 - FRD1 - FRUTOS	2,41	0,28	0,18	0,19	3,62	0,25	130	9	29	29	15
M. 3 - FRD2 - RAICES	2,85	0,15	0,78	0,18	1,64	0,36	7911	35	45	493	32
M. 3 - FRD2 - TALLOS	1,23	0,10	0,79	0,28	3,21	0,35	282	11	31	61	17
M. 3 - FRD2 - HOJAS	3,90	0,25	2,49	0,61	5,17	0,57	770	16	89	220	56
M. 3 - FRD2 - FRUTOS	2,51	0,39	0,21	0,24	3,83	0,28	154	12	31	29	18
M. 3 - FRD3 - RAICES	2,97	0,16	0,97	0,22	2,20	0,45	8121	35	49	498	35
M. 3 - FRD3 - TALLOS	1,14	0,08	0,86	0,29	3,60	0,39	166	11	26	109	18
M. 3 - FRD3 - HOJAS	3,43	0,23	2,93	0,68	6,39	0,65	772	15	116	410	67
M. 3 - FRD3 - FRUTOS	2,47	0,38	0,15	0,22	3,83	0,27	103	10	25	28	16

Cuadro A.12.4: Análisis químico de tejidos en el muestreo 4

ID USUARIO	% <sup>1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
M.4 - LLD1 - RAICES	2,47	0,14	0,68	0,17	1,57	0,33	8940	30	35	628	27
M.4 - LLD1 - TALLOS	1,32	0,09	0,85	0,28	2,95	0,39	158	7	23	314	18
M.4 - LLD1 - HOJAS	3,63	0,18	2,34	0,64	4,69	0,51	473	8	86	619	54
M.4 - LLD1 - FRUTOS	2,87	0,38	0,17	0,24	3,85	0,29	154	11	27	65	21
M.4 - LLD2 - RAICES	3,23	0,15	0,70	0,19	1,46	0,35	8088	30	40	684	27
M.4 - LLD2 - TALLOS	1,52	0,13	0,99	0,33	3,50	0,46	141	9	28	420	21
M.4 - LLD2 - HOJAS	3,56	0,22	2,80	0,72	5,63	0,59	576	11	96	698	62
M.4 - LLD2 - FRUTOS	2,63	0,37	0,19	0,22	3,54	0,26	142	11	28	62	21
M.4 - LLD3 - RAICES	2,56	0,14	0,67	0,16	1,56	0,33	6079	24	31	367	26
M.4 - LLD3 - TALLOS	1,23	0,09	0,74	0,24	2,49	0,32	285	9	18	251	18
M.4 - LLD3 - HOJAS	3,69	0,18	2,52	0,63	4,76	0,50	513	10	81	542	56
M.4 - LLD3 - FRUTOS	2,51	0,33	0,18	0,21	3,42	0,23	216	11	23	60	20
M.4 - GRD1 - RAICES	3,46	0,17	0,59	0,21	1,66	0,39	4495	25	38	706	22
M.4 - GRD1 - TALLOS	1,82	0,10	0,81	0,27	2,73	0,37	143	9	23	329	19
M.4 - GRD1 - HOJAS	3,73	0,22	2,71	0,69	4,86	0,54	732	11	70	636	61
M.4 - GRD1 - FRUTOS	2,38	0,24	0,15	0,18	2,71	0,21	83	7	17	68	16
M.4 - GRD2 - RAICES	3,43	0,17	0,68	0,21	1,65	0,38	5850	28	46	536	25
M.4 - GRD2 - TALLOS	1,59	0,10	0,94	0,31	3,24	0,42	206	9	29	292	22
M.4 - GRD2 - HOJAS	4,04	0,20	2,62	0,65	5,29	0,55	702	11	79	524	61
M.4 - GRD2 - FRUTOS	2,64	0,32	0,20	0,22	3,47	0,25	139	10	25	73	20
M.4 - GRD3 - RAICES	3,24	0,17	0,59	0,21	1,64	0,36	4181	22	37	532	22
M.4 - GRD3 - TALLOS	1,45	0,11	0,90	0,35	3,07	0,43	241	11	24	264	21
M.4 - GRD3 - HOJAS	3,69	0,20	3,32	0,85	5,33	0,56	617	11	96	511	63
M.4 - GRD3 - FRUTOS	2,57	0,32	0,19	0,21	3,29	0,24	121	10	28	41	20
M.4 - FRD1 - RAICES	2,50	0,17	0,93	0,23	1,87	0,33	9589	34	40	313	29
M.4 - FRD1 - TALLOS	1,40	0,10	0,73	0,24	2,72	0,30	169	7	20	56	17
M.4 - FRD1 - HOJAS	3,34	0,19	2,79	0,62	5,24	0,47	543	10	115	219	62
M.4 - FRD1 - FRUTOS	2,60	0,30	0,19	0,21	3,40	0,23	172	9	25	26	19
M.4 - FRD2 - RAICES	2,50	0,14	1,00	0,23	2,03	0,33	7026	27	39	169	28
M.4 - FRD2 - TALLOS	1,29	0,11	0,88	0,33	3,48	0,43	197	12	28	48	21
M.4 - FRD2 - HOJAS	3,42	0,19	3,14	0,80	5,58	0,59	947	14	90	186	58
M.4 - FRD2 - FRUTOS	2,47	0,28	0,14	0,19	2,93	0,21	110	9	23	13	16
M.4 - FRD3 - RAICES	2,42	0,14	0,72	0,16	1,65	0,31	5250	27	28	136	21
M.4 - FRD3 - TALLOS	1,36	0,11	0,98	0,33	3,51	0,41	245	9	23	140	20
M.4 - FRD3 - HOJAS	3,13	0,17	2,40	0,52	4,56	0,48	512	9	79	177	61
M.4 - FRD3 - FRUTOS	2,51	0,36	0,16	0,22	3,66	0,25	187	10	26	18	18
M.4 - TED0 - RAICES	1,99	0,16	0,75	0,15	1,86	0,32	6043	35	36	152	30
M.4 - TED0 - TALLOS	1,04	0,20	0,94	0,35	2,81	0,43	395	13	28	81	21
M.4 - TED0 - HOJAS	2,70	0,37	2,51	0,53	4,56	0,68	717	15	113	211	73
M.4 - TED0 - FRUTOS	2,36	0,48	0,19	0,26	3,82	0,26	218	12	31	22	21

Cuadro A.12.5: Análisis químico de tejidos en el muestreo 5

ID USUARIO	% <sup>1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
M.5 - LLD1 - RAICES	3,29	0,16	0,73	0,20	1,64	0,38	6840	41	45	810	27
M.5 - LLD1 - TALLOS	1,30	0,12	1,16	0,34	3,00	0,49	155	10	27	561	21
M.5 - LLD1 - HOJAS	4,01	0,22	3,11	0,85	5,18	0,61	655	12	107	902	72
M.5 - LLD1 - FRUTOS	2,80	0,39	0,19	0,25	3,75	0,28	206	12	29	75	22
M.5 - LLD2 - RAICES	2,70	0,15	0,71	0,16	1,63	0,38	6986	40	38	623	28
M.5 - LLD2 - TALLOS	1,15	0,12	0,97	0,28	2,87	0,45	135	10	24	366	21
M.5 - LLD2 - HOJAS	3,62	0,28	3,53	0,92	5,93	0,73	1036	17	124	973	90
M.5 - LLD2 - FRUTOS	2,87	0,46	0,20	0,27	3,86	0,29	189	14	33	83	24
M.5 - LLD3 - RAICES	2,88	0,16	0,75	0,17	1,75	0,37	6592	40	44	597	28
M.5 - LLD3 - TALLOS	1,08	0,10	0,98	0,30	2,82	0,46	97	9	25	371	20
M.5 - LLD3 - HOJAS	3,51	0,24	3,91	1,00	5,64	0,74	632	14	136	944	86
M.5 - LLD3 - FRUTOS	2,85	0,41	0,21	0,25	3,57	0,27	165	13	32	85	22
M.5 - GRD1 - RAICES	3,28	0,20	0,67	0,22	1,88	0,47	3173	28	42	718	21
M.5 - GRD1 - TALLOS	1,31	0,09	1,18	0,36	3,12	0,50	128	11	24	458	22
M.5 - GRD1 - HOJAS	3,96	0,21	3,60	0,92	5,05	0,59	862	12	82	835	79
M.5 - GRD1 - FRUTOS	2,80	0,36	0,19	0,23	3,42	0,27	192	12	28	87	20
M.5 - GRD2 - RAICES	3,63	0,19	0,68	0,20	1,61	0,42	4822	42	48	617	25
M.5 - GRD2 - TALLOS	1,36	0,12	1,12	0,37	2,99	0,50	239	10	26	371	23
M.5 - GRD2 - HOJAS	4,01	0,22	3,34	0,83	5,27	0,61	1174	13	89	884	75
M.5 - GRD2 - FRUTOS	2,91	0,34	0,18	0,21	3,42	0,24	147	11	27	75	19
M.5 - GRD3 - RAICES	3,00	0,18	0,71	0,21	1,64	0,40	4373	33	39	605	25
M.5 - GRD3 - TALLOS	1,47	0,12	1,19	0,38	3,29	0,54	341	10	30	538	23
M.5 - GRD3 - HOJAS	3,60	0,18	3,53	0,87	4,52	0,53	1168	12	89	687	67
M.5 - GRD3 - FRUTOS	3,05	0,45	0,24	0,27	4,05	0,30	247	14	33	104	23
M.5 - FRD1 - RAICES	2,58	0,14	0,88	0,17	1,76	0,35	5708	34	32	276	29
M.5 - FRD1 - TALLOS	1,30	0,12	0,99	0,34	3,29	0,50	233	10	22	158	22
M.5 - FRD1 - HOJAS	3,52	0,23	3,38	0,80	6,37	0,63	1923	13	111	553	97
M.5 - FRD1 - FRUTOS	2,73	0,38	0,18	0,21	3,07	0,24	179	10	26	35	20
M.5 - FRD2 - RAICES	2,69	0,18	0,79	0,17	1,84	0,39	7634	44	40	186	26
M.5 - FRD2 - TALLOS	1,14	0,12	0,99	0,33	3,23	0,47	169	9	26	67	21
M.5 - FRD2 - HOJAS	3,16	0,23	2,91	0,70	4,41	0,57	1002	12	91	244	76
M.5 - FRD2 - FRUTOS	2,27	0,40	0,15	0,23	3,30	0,25	171	11	28	28	21
M.5 - FRD3 - RAICES	2,19	0,15	0,70	0,14	1,71	0,32	4369	32	29	221	20
M.5 - FRD3 - TALLOS	1,11	0,11	0,91	0,30	2,76	0,39	165	8	23	78	20
M.5 - FRD3 - HOJAS	3,05	0,28	3,29	0,77	5,16	0,62	785	14	108	318	91
M.5 - FRD3 - FRUTOS	2,68	0,44	0,15	0,24	3,28	0,25	195	12	30	28	21
M.5 - TED0 - RAICES	2,35	0,18	0,82	0,16	1,81	0,35	5325	48	43	140	22
M.5 - TED0 - TALLOS	0,93	0,17	0,71	0,22	2,32	0,34	190	9	23	64	17
M.5 - TED0 - HOJAS	3,15	0,45	2,66	0,54	4,59	0,71	1021	18	121	306	99
M.5 - TED0 - FRUTOS	2,81	0,45	0,14	0,24	3,38	0,25	207	12	34	34	22