



**UNIVERSIDAD DE PANAMA  
VICERRECTORIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO  
MAESTRIA EN CIENCIAS AGRICOLAS CON ENFASIS EN MANEJO DE  
SUELOS Y AGUA**

**CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS COMO ESTRATEGIA PARA  
EL MANEJO SOSTENIBLE Y EFICIENTE DE LA FERTILIZACIÓN DEL  
TOMATE INDUSTRIAL EN AZUERO**

**JORGE ALBERTO CASTRO VILLARREAL**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO DE CIENCIAS AGRICOLAS CON ENFASIS EN MANEJO DE  
SUELOS Y AGUA**

**LAS TABLAS, REPUBLICA DE PANAMA**

**2018**

51

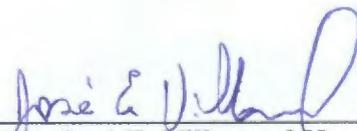
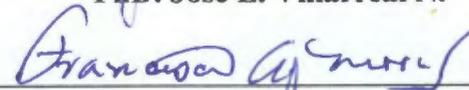
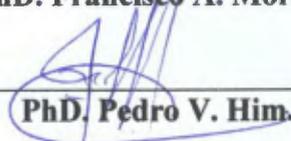
**CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS COMO ESTRATÉGIA PARA  
EL MANEJO SOSTENIBLE Y EFICIENTE DE LA FERTILIZACIÓN DEL  
TOMATE INDUSTRIAL EN AZUERO**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ENFASIS EN MANEJO DE  
SUELOS Y AGUA.**

20 JUL 2018

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROBADO**

 _____ <b>PhD. José E. Villarreal N.</b>	<b>ASESOR</b>
 _____ <b>PhD. Francisco A. Mora S.</b>	<b>JURADO</b>
 _____ <b>PhD. Pedro V. Him.</b>	<b>JURADO</b>

*Abrego Hector*

2018

## DEDICATORIA

A mi familia para mi esposa Yanelis Pimentel por siempre motivarme a dar un paso mas y ser la persona que me acompaña en este camino llamado vida, para mis hijos Vianka Juan Alberto y Andrew Xavier por ser mi razon de ser y mi mas grande orgullo A mis padres Gregoria y Jorge por siempre creer en mi y apoyarme en los momentos dificiles A mi abuela Juana quien siempre está presente en mi vida A mis hermanos Veronica y Jorge a los que quiero con todo el corazon y que siempre están presentes

Para todos ustedes con cariño

*Jorge Alberto*

## **AGRADECIMIENTO**

Primero a Dios por todas sus bendiciones y por permitirme culminar otra meta en mi vida profesional siempre con la frente en alto y lleno de humildad y respeto

Mi agradecimiento al Dr José E Villarreal director de este trabajo de investigación por su guía y apoyo, al Dr Francisco Mora al Dr Pedro Him y al MSc José Rivera por su colaboración y experiencia

A la Universidad de Panama por medio del Centro Regional Universitario de Los Santos por permitir la realización de este trabajo de graduación Al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panama (*IDIAP*) por el apoyo técnico logístico y material que permitieron la realización de esta investigación

A Dimas Pinto Federico Rivera, Manuel Vázquez Oscar Garrido, Ana Sáez y Jorge Jaén por su colaboración en la etapa de campo de esta investigación a Luis Barahona Jorge Nuñez Adolfo Santos y Jhon Villalaz por su colaboración en la etapa de laboratorio

Mi mas sincero agradecimiento

*Jorge Alberto*

## INDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b>	1
<b>AGRADECIMIENTO</b>	11
<b>INDICE GENERAL</b>	111
<b>INDICE DE CUADROS</b>	viii
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	x
<b>RESUMEN</b>	1
<b>SUMMARY</b>	2
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>OBJETIVOS</b>	5
1 Objetivo General	5
2 Objetivos Especificos	5
<b>I REVISIÓN DE LITERATURA</b>	6
<b>1 Generalidades del tomate</b>	6
1 1 Origen y domesticación del tomate	6
1 2 El cultivo del tomate en Panamá	7
<b>2 Botánica y taxonomía</b>	8
2 1 Descripción botanica del tomate	9
a) Semilla	9
b) Raiz	10
c) Tallo	10
d) Hojas	11
e) Flores	12
f) Fruto	12
2 2 Etapas fenologicas	14

a)	Desarrollo vegetativo	14
b)	Floracion	14
c)	Produccion	15
d)	Maduracion	15
e)	Senescencia	16
2 3	Clasificación taxonomica	16
<b>3</b>	<b>Principales productores a nivel mundial</b>	17
3 1	Produccion en el continente americano	18
<b>4</b>	<b>Condiciones Edafoclimáticas del Tomate</b>	19
4 1	Suelo	19
4 2	Temperatura	20
4 3	Humedad	20
4 4	Luz solar	21
4 5	Agua	21
<b>5</b>	<b>El Suelo</b>	22
5 1	Particulas Inorganicas del Suelo	22
<b>6</b>	<b>Los nutrimentos</b>	23
6 1	Conceptos relacionados a la nutricion	25
6 2	Macronutrimentos	27
a)	Nitrogeno (N)	27
b)	Fosforo (P)	29
c)	Potasio (K)	30
d)	Calcio (Ca)	32
e)	Magnesio (Mg)	34
6 3	Micronutrimentos	36
a)	Hierro (Fe)	36
b)	Manganeso (Mn)	38
c)	Cobre (Cu)	39
d)	Zinc (Zn)	40
<b>7</b>	<b>Curva de absorción de nutrimentos</b>	42
7 1	Elaboracion de curvas de absorcion de nutrimentos	43

<b>II MATERIALES Y METODOS</b>	45
<b>1 UBICACIÓN</b>	45
<b>2 SUELOS</b>	45
<b>3 VARIEDADES</b>	50
3 1 IDIAP T7 (IT 7)	50
3 2 IDIAP T 8 (IT 8)	51
<b>4 FASE DE CAMPO</b>	51
4 1 Tratamientos	52
4 2 Muestreos	52
<b>5 FASE DE LABORATORIO</b>	53
5 1 Analisis de Textura	54
5 2 Secado de Muestras	54
5 3 Molienda de muestras	54
5 4 Mineralizacion del tejido vegetal por via humeda	55
5 5 Determinacion de fósforo (P)	56
5 6 Determinación de K, Cu Fe, Mn y Zn	57
5 7 Determinacion de Ca y Mg	57
5 8 Determinacion de Nitrógeno (N)	58
<b>6 ANALISIS ESTADISTICO</b>	58
<b>7 VARIABLE EN ESTUDIO</b>	59
<b>III RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	60
<b>1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE <i>IDIAP - T7 e IDIAP - T8</i></b>	60
<b>2 CURVAS DE ASBSORCIÓN DE NUTRIMENTOS</b>	65
<b>2 1 Curvas de absorcion de nitrógeno para <i>IDIAP T7 e IDIAP T8</i></b>	71
a) Suelo con bajo contenido de arcillas	72
b) Suelo con contenido medio de arcillas	74
c) Suelo alto en contenido de arcillas	77
<b>2 2 Curvas de absorcion de fósforo para <i>IDIAP T7 e IDIAP T8</i></b>	80
a) Suelo bajo en contenido de arcillas	80
b) Suelo con contenido medio de arcillas	83
c) Suelo con alto contenido de arcillas	86

<b>2 3</b>	<b>Curvas de absorcion de potasio para <i>IDIAP T7 e IDIAP T8</i></b>	88
a)	Suelo con bajo contenido de arcilla	89
b)	Suelo con contenido medio de arcillas	92
c)	Suelo con alto contenido de arcillas	94
<b>2 4</b>	<b>Curvas de absorción de calcio para <i>IDIAP T7 e IDIAP T8</i></b>	97
a)	Suelo con bajo contenido de arcillas	97
b)	Suelo con contenido medio de arcillas	100
c)	Suelo con alto contenido de arcillas	102
<b>2 5</b>	<b>Curvas de absorcion de magnesio para <i>IDIAP T7 e IDIAP T8</i></b>	105
a)	Suelo con bajo contenido de arcillas	105
b)	Suelo con contenido medio de arcillas	108
c)	Suelo con alto contenido de arcillas	111
<b>2 6</b>	<b>Curvas de absorción de manganeso para <i>IDIAP T7 e IDIAP T8</i></b>	113
a)	Suelo con bajo contenido de arcillas	114
b)	Suelo con contenido medio de arcillas	116
c)	Suelo con Alto Contenido de Arcillas	119
<b>2 7</b>	<b>Curvas de absorcion de hierro para <i>IDIAP T7 e IDIAP T8</i></b>	121
a)	Suelo con bajo contenido de arcillas	122
b)	Suelo con contenido medio de arcillas	125
c)	Suelo con alto contenido de arcillas	127
<b>2 8</b>	<b>Curvas de absorción de zinc para <i>IDIAP T7 e IDIAP T8</i></b>	130
a)	Suelo con bajo contenido de arcillas	130
b)	Suelo con contenido medio de arcillas	133
c)	Suelo con alto contenido de arcillas	136
<b>2 9</b>	<b>Curvas de absorción de cobre para <i>IDIAP T7 e IDIAP T8</i></b>	138
a)	Suelo con bajo contenido de arcillas	139
b)	Suelo con contenido medio de arcillas	142
c)	Suelo con alto contenido de arcillas	145
<b>3</b>	<b>EXTRCCIÓN RELATIVA DE NUTRIMENTOS</b>	148
3 1	Extraccion relativa de nutrimentos en suelo con contenido bajo en arcillas	148

3 2	Extraccion relativa de nutrimentos en suelo con contenido medio de arcillas	151
3 3	Extraccion relativa de nutrimentos en suelo con contenido alto en arcillas	153
<b>IV</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>157</b>
<b>1</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>157</b>
<b>2</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>158</b>
<b>V</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>159</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro I</b> Composicion nutricional del tomate	13
<b>Cuadro II</b> Clasificacion taxonomica del tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L )	16
<b>Cuadro III</b> Temperaturas criticas del cultivo de tomate	20
<b>Cuadro IV</b> Valores de interpretacion de un análisis foliar en tomate	24
<b>Cuadro V</b> Relaciones catiónicas optimas	25
<b>Cuadro VI</b> Coordenadas geograficas y resultados de análisis de textura	46
<b>Cuadro VII</b> Resultado de analisis de suelos seleccionados para el estudio (IDIAP 2016)	48
<b>Cuadro VIII</b> Caracteristicas fisicoquimicas de los suelos seleccionados para el estudio (IDIAP 2015)	49
<b>Cuadro IX</b> Caracteristicas agroindustriales del <i>IDIAP T7</i>	50
<b>Cuadro X</b> Caracteristicas agroindustriales del <i>IDIAP T8</i>	51
<b>Cuadro XI</b> Comparacion de medias del rendimiento de las variedades <i>IT 7</i> e <i>IT 8</i> en tres tipos de suelo	64
<b>Cuadro XII</b> Extraccion total de nutrimentos para la variedad <i>IDIAP T7</i> segun tipo de suelo	65
<b>Cuadro XIII</b> Extraccion total de nutrimentos para la variedad <i>IDIAP T8</i> segun tipo de suelo	66
<b>Cuadro XIV</b> Extracción total de nutrimentos por tonelada de fruto producida para las variedades <i>I T7</i> e <i>I T8</i> segun tipo de suelo	67
<b>Cuadro XV</b> Concentracion de nutrimentos y rangos de referencia para el cultivo de tomate	68
<b>Cuadro XVI</b> Resumen de las ecuaciones de regresion y coeficiente $R^2$ para cada tipo de suelo	69

**Cuadro XVII** Resumen de las ecuaciones de regresión y del coeficiente  $R^2$  para la  
variedad *IDIAP T8*

70

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Partes de la semilla de tomate segun esquema de Hayward (1953)	9
<b>Figura 2</b> Corte transversal de una raíz de tomate foro de biología (2007)	10
<b>Figura 3</b> Hoja compuesta de la planta de tomate (INFOAGRO 2010)	11
<b>Figura 4</b> Partes de la flor de tomate (INFOAGRO 2010)	12
<b>Figura 5</b> Frutos de tomate industrial (Corro 2017)	13
<b>Figura 6</b> Produccion total de los cinco mayores productores de tomate <i>FAOSTAT</i> (2017)	17
<b>Figura 7</b> Rendimiento de los principales productores (tha <sup>1</sup> ) <i>FAOSTAT</i> (2017)	18
<b>Figura 8</b> Rendimiento de productores de América y Panamá, <i>FAOSTAT</i> (2017)	19
<b>Figura 9</b> Disponibilidad de los nutrimentos segun el pH del suelo Castellanos (2014)	27
<b>Figura 10</b> Deficiencia de nitrogeno clorosis de hojas viejas (AGROLOGICA 2012)	29
<b>Figura 11</b> Deficiencia de fosforo en tomate (SEMINIS 2017)	30
<b>Figura 12</b> Deficiencia de potasio clorosis en bordes de hojas (AGROLOGICA 2012)	32
<b>Figura 13</b> Deficiencia de calcio pudrición apical del fruto <i>Blosson end rot</i> (AGROLOGICA 2012)	34
<b>Figura 14</b> Deficiencia de magnesio clorosis internerval (SEMINIS 2017)	35
<b>Figura 15</b> Deficiencia de hierro en tomate (SEMINIS 2017)	37
<b>Figura 16</b> Deficiencia de manganeso (AGROLOGICA 2012)	39
<b>Figura 17</b> Deficiencia de cobre (YARA 2004)	40
<b>Figura 18</b> Deficiencia de zinc (Ramirez 2014)	41
<b>Figura 19</b> Ubicacion de los suelos utilizados en la investigacion (Google Earth 2018)	46
<b>Figura 20</b> Ordenes de suelos presentes en Panama (Villarreal J, <i>et al</i> 2010)	47

<b>Figura 21</b> Fase de campo realizada en la casa de vegetacion de IDIAP Los Santos (2016)	53
<b>Figura 22</b> Proceso de mineralización humeda, Laboratorio de Suelos y Agua IDIAP (2017)	56
<b>Figura 23</b> Determinación de fosforo Laboratorio de Suelos y Agua IDIAP (2017)	56
<b>Figura 24</b> Espectrofotometro de absorcion atomica de fuente continua lectura de macro y micro nutrimentos Laboratorio de Suelos y Agua IDIAP (2017)	57
<b>Figura 25</b> Proceso de destilado y titulación para determinar nitrógeno total Laboratorio de Suelos y Agua IDIAP (2017)	58
<b>Figura 26</b> Produccion de biomasa del <i>IDIAP – T7</i> en los tres suelos bajo estudio	61
<b>Figura 27</b> Produccion de biomasa del IDIAP – T8 en los tres suelos bajo estudio	62
<b>Figura 28</b> Rendimiento (tha <sup>1</sup> ) de las variedades en estudio en los tres tipos de suelo	63
<b>Figura 29</b> Curva de absorcion de nitrogeno en suelo bajo en arcillas	73
<b>Figura 30</b> Regresion de la extraccion total de nitrógeno para un suelo bajo en arcillas para la variedad IDIAP T7	73
<b>Figura 31</b> Regresion de la extraccion total de nitrogeno para un suelo bajo en arcillas para la variedad IDIAP T8	74
<b>Figura 32</b> Curva de absorcion de nitrogeno en suelo con contenido medio de arcillas	76
<b>Figura 33</b> Regresion de la extracción total de nitrógeno en suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	76
<b>Figura 34</b> Regresion de la extracción total de nitrógeno en suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	77
<b>Figura 35</b> Curvas de absorcion de nitrogeno para un suelo alto en arcillas	78
<b>Figura 36</b> Regresión de la extraccion total de nitrogeno en suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	79
<b>Figura 37</b> Regresion de la extraccion total de nitrogeno en suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	79
<b>Figura 38</b> Curva de absorcion de fosforo para un suelo bajo en arcillas	82
<b>Figura 39</b> Regresion de la extraccion total de fosforo en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	82

<b>Figura 40</b> Regresion de la extraccion total de fosforo en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	83
<b>Figura 41</b> Curva de absorcion de fosforo suelo con contenido medio de arcillas	84
<b>Figura 42</b> Regresion de la extraccion total de fosforo en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	85
<b>Figura 43</b> Regresion de la extraccion total de fosforo en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	85
<b>Figura 44</b> Curva de absorcion de fosforo en suelo alto en arcillas	87
<b>Figura 45</b> Regresion de la extraccion total de fosforo en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	87
<b>Figura 46</b> Regresion de la extraccion total de fosforo en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	88
<b>Figura 47</b> Curva de absorcion de potasio en suelo bajo en arcillas	90
<b>Figura 48</b> Regresion de la extraccion total de potasio en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	91
<b>Figura 49</b> Regresion de la extraccion total de potasio en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	91
<b>Figura 50</b> Curva de absorcion de potasio en suelo con contenido medio de arcillas	93
<b>Figura 51</b> Regresion de la extraccion total de potasio en suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	93
<b>Figura 52</b> Regresión de la extraccion total de potasio en suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	94
<b>Figura 53</b> Curva de absorcion de potasio en suelo alto en arcillas	95
<b>Figura 54</b> Regresion de la extraccion total de potasio en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	96
<b>Figura 55</b> Regresion de la extraccion total de potasio en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	96
<b>Figura 56</b> Curva de absorcion de calcio en suelo bajo en arcillas	98
<b>Figura 57</b> Regresión de la extraccion total de calcio en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	99

<b>Figura 58</b> Regresion de la extraccion total de calcio en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	99
<b>Figura 59</b> Curva de absorcion de calcio en suelo con contenido medio de arcillas	101
<b>Figura 60</b> Regresion de la extraccion de calcio en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	101
<b>Figura 61</b> Regresion de la extraccion de calcio en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	102
<b>Figura 62</b> Curva de absorción de calcio en un suelo alto en arcillas	103
<b>Figura 63</b> Regresion de la extraccion total de calcio en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	104
<b>Figura 64</b> Regresion de la extracción total de calcio en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	104
<b>Figura 65</b> Curva de absorcion de magnesio en un suelo bajo en arcillas	107
<b>Figura 66</b> Regresión de la extraccion total de magnesio en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	107
<b>Figura 67</b> Regresion de la extraccion total de magnesio en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	108
<b>Figura 68</b> Curva de absorcion de magnesio en un suelo con contenido medio de arcillas	109
<b>Figura 69</b> Regresion de la extraccion total de magnesio en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	110
<b>Figura 70</b> Regresion de la extraccion total de magnesio en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	110
<b>Figura 71</b> Curva de absorcion de magnesio en suelo con contenido alto de arcillas	112
<b>Figura 72</b> Regresion de la extraccion total de magnesio en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	112
<b>Figura 73</b> Regresion de la extraccion total de magnesio en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	113
<b>Figura 74</b> Curva de absorción de manganeso en un suelo bajo en arcillas	115

<b>Figura 75</b> Regresion de la extraccion total de manganeso en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	115
<b>Figura 76</b> Regresion de la extraccion total de manganeso en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	116
<b>Figura 77</b> Curva de absorcion de manganeso en un suelo con contenido medio de arcillas	117
<b>Figura 78</b> Regresion de la extracción total de manganeso en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	118
<b>Figura 79</b> Regresión de la extraccion total de manganeso en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	118
<b>Figura 80</b> Curva de absorcion de manganeso en un suelo alto en arcillas	120
<b>Figura 81</b> Regresion de la extraccion total de manganeso en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	120
<b>Figura 82</b> Regresion de la extraccion total de manganeso en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	121
<b>Figura 83</b> Curva de absorcion de hierro en un suelo bajo en arcillas	123
<b>Figura 84</b> Regresion de la extraccion total de hierro en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	124
<b>Figura 85</b> Regresion de la extraccion total de hierro en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	124
<b>Figura 86</b> Curva de absorcion de hierro en un suelo con contenido medio de arcillas	126
<b>Figura 87</b> Regresión de la extraccion total de hierro en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	126
<b>Figura 88</b> Regresion de la extraccion total de hierro en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	127
<b>Figura 89</b> Curva de absorcion de hierro en un suelo alto en arcillas	128
<b>Figura 90</b> Regresion de la extraccion total de hierro en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	129
<b>Figura 91</b> Regresion de la extraccion total de hierro en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	129

<b>Figura 92</b> Curva de absorcion de zinc en un suelo bajo en arcillas	132
<b>Figura 93</b> Regresion para la extraccion total de zinc en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	132
<b>Figura 94</b> Regresión para la extraccion total de zinc en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	133
<b>Figura 95</b> Curva de absorcion de zinc en un suelo con contenido medio de arcillas	134
<b>Figura 96</b> Regresion de la extraccion total de zinc en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	135
<b>Figura 97</b> Regresion de la extraccion total de zinc en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	135
<b>Figura 98</b> Curva de absorcion de zinc en un suelo alto en arcillas	137
<b>Figura 99</b> Regresion de la extraccion total de zinc en un suelo con alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	137
<b>Figura 100</b> Regresion de la extraccion total de zinc en un suelo con alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	138
<b>Figura 101</b> Curva de absorcion de cobre en un suelo bajo en arcillas	141
<b>Figura 102</b> Regresion para la extracción total de cobre en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	141
<b>Figura 103</b> Regresion para la extraccion total de cobre en un suelo bajo en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	142
<b>Figura 104</b> Curva de absorcion de cobre en un suelo con contenido medio de arcillas	143
<b>Figura 105</b> Regresion para la extraccion de cobre en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	144
<b>Figura 106</b> Regresion para la extraccion de cobre en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	145
<b>Figura 107</b> Curva de absorcion de cobre en un suelo alto en arcillas	146
<b>Figura 108</b> Regresion de la extraccion total de cobre en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T7</i>	147

<b>Figura 109</b> Regresion de la extraccion total de cobre en un suelo alto en arcillas para la variedad <i>IDIAP T8</i>	147
<b>Figura 110</b> Extracción relativa de nutrimentos por la variedad <i>IDIAP T7</i> en suelo con contenido bajo de arcillas	149
<b>Figura 111</b> Extracción relativa de nutrimentos por la variedad <i>IDIAP T8</i> en suelo con contenido bajo de arcillas	150
<b>Figura 112</b> Extraccion relativa de nutrimentos por la variedad <i>IDIAP T7</i> en suelo con contenido medio de arcillas	151
<b>Figura 113</b> Extraccion relativa de nutrimentos por la variedad <i>IDIAP T8</i> en suelo con contenido medio de arcillas	152
<b>Figura 114</b> Extraccion relativa de nutrimentos por la variedad <i>IDIAP T7</i> en suelo con contenido alto de arcillas	155
<b>Figura 115</b> Extraccion relativa de nutrimentos por <i>IDIAP T8</i> en suelo con contenido alto de arcillas	156

# **CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS COMO ESTRATEGIA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE Y EFICIENTE DE LA FERTILIZACIÓN DEL TOMATE INDUSTRIAL EN AZUERO**

## **RESUMEN**

Con el objetivo de determinar la dinámica de absorción de nutrientes en el cultivo de tomate industrial variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en tres tipos de suelo con tres niveles de arcillas de la región de Azuero se realizó un ensayo con suelos de tres localidades con historial tomatero. Para ello se llenaron 288 macetas (96 por tipo de suelo) con suelo de las tres localidades seleccionadas con cuatro repeticiones por tratamiento. En ellas se sembraron plántulas de tomate de 21 días de germinadas que recibieron el plan de fertilización que se le recomienda al productor. Se realizaron muestreos de tejidos en cada una de las etapas fenológicas de importancia. Se logró determinar la producción de materia seca, el rendimiento del cultivo, la extracción de nutrientes en cada etapa fenológica, las curvas de absorción para cada nutriente, el análisis de regresión estableció las ecuaciones y mostró los coeficientes de determinación que van de 70% para la absorción de Fe en suelo con bajo contenido de arcillas hasta 95% para Mn en suelo con alto contenido de arcillas para la variedad *IDIAP T7* y 66% para Cu en suelo bajo en arcillas hasta 96% para K en suelo con alto contenido de arcillas para la variedad *IDIAP T8*. También se logró determinar la extracción relativa de nutrientes y se estableció el orden de importancia de los nutrientes para cada variedad y para cada suelo con diferente contenido de arcillas.

**Palabras claves:** absorción de nutrientes, etapa fenológica, variedad, contenido de arcilla, potencial de rendimiento *IDIAP – T7*, *IDIAP – T8*

# **NUTRIENT ABSORPTION CURVES AS A STRATEGY FOR THE SUSTAINABLE AND EFFICIENT MANAGEMENT OF THE FERTILIZATION OF INDUSTRIAL TOMATO IN AZUERO**

## **SUMMARY**

To determine the dynamics of nutrient absorption in the industrial tomato crop in the Azuero region a trial with soils of three localities was carried out with varieties IDIAP T7 and IDIAP T8 in three types of soil with three levels of clays. To do this were filled 288 pots (96 per soil type) with the three selected localities with four replicates per treatment. Tomato seedlings of 21 days of germinated were planted and received the fertilization plan that is recommended to the producer. Tissue samples were taken in each of the phenological stages of the crop considered of importance. It was determined the production of dry matter, the yield of the crop, extraction of nutrients in each phenological stage, the absorption curves for each nutrient. The regression analysis established the equations and showed the coefficients of determination that range from 70% for the absorption of Fe in soil with low content of clay up to 95% for Mn in soil with high clay content for the variety IDIAP T7 and 66% for Cu in soil low in clay up to 96% for K in soil with high clay content for the variety IDIAP T8. Also it was possible to determine the relative nutrient removal and established the order of importance of nutrients for each variety and for each soil with different contents of clays.

**Key words** nutrient absorption, phenological stage, variety, clay content, yield potential IDIAP – T7 IDIAP – T8

## INTRODUCCIÓN

La producción de tomate industrial en Panamá para el ciclo productivo 2016/2017 fue de 181670 toneladas de tomate fresco en un área cultivada de 5920 hectáreas, esto da un rendimiento de 30.6 t/ha<sup>1</sup> (FAO 2017). La historia del tomate industrial en Panamá comenzó en la década de 1940 con la llegada de la compañía *NESTLE SA* a la región de Nata, Provincia de Coclé, la cual elaboraba concentrado y salsas de tomate para el consumo nacional y la exportación a los países Centroamericanos, utilizando variedades importadas de Francia y Estados Unidos. La aparición de problemas fitosanitarios como la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) y otras, forzaron a la empresa a trasladar sus operaciones en la década de 1980 hacia la región de Azuero. Esta enfermedad también motivó el desarrollo del programa de mejoramiento genético del tomate, del cual se generaron variedades nacionales con tolerancia a esta enfermedad (IDIAP 2016).

La investigación nacional ha generado variedades con un alto potencial de rendimiento (68 t/ha<sup>1</sup>) como *IDIAP T7* e *IDIAP T8*. Estas variedades son las que principalmente se cultivan en el país. Sin embargo, hasta la fecha no se ha logrado que estas variedades expresen todo su potencial de rendimiento en condiciones de campo. Para que un cultivar exprese todo su potencial debe recibir un manejo apropiado en cuanto a control de plagas y enfermedades, demanda hídrica y nutrición, entre otras. Conocer los requerimientos nutricionales de un cultivo a lo largo de sus diferentes etapas fenológicas permite

desarrollar programas de fertilización que se ajustan a las necesidades del cultivo, evitando las deficiencias el consumo de lujo y la sobre dosificación situaciones que provocan pérdidas al productor (Ramirez, 1992) La mejor herramienta con que se cuenta para determinar la dinámica de absorción de nutrientes de un cultivo son las curvas de absorción las cuales nos indican en que momentos del ciclo del cultivo existe mayor o menor demanda de un nutriente en particular aunado que se estudie la absorción en suelos con diferentes texturas le da una mayor relevancia a esta herramienta al momento de la toma de decisiones (Bertsch 2009) Este estudio busca determinar la dinámica de absorción de nutrientes por las variedades IDIAP T7 e IDIAP T8 en tres tipos de suelo con diferente contenido de arcillas

## **OBJETIVOS**

### **1 Objetivo General**

Determinar la dinámica de absorción de nutrientes en el cultivo de tomate industrial Var *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en tres tipos de suelo de la región de Azuero

### **2 Objetivos Específicos**

- Determinar el comportamiento de las curvas dinámicas de absorción de nutrientes en el cultivo de tomate en las diferentes etapas fenológicas y en tres tipos de suelos de la región de Azuero
- Elaborar las ecuaciones de regresión que permitan predecir y estimar los requerimientos nutricionales de la planta en los diferentes estadios fenológicos para corregir deficiencias a corto plazo y obtener mejores rendimientos

## I REVISIÓN DE LITERATURA

### 1 Generalidades del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicon*) es una especie vegetal diploide la cual se puede reproducir por semillas esquejes y acepta muy bien los injertos. Las semillas no presentan latencia la germinación es epigea debido al rápido desarrollo de hipocotilo en buenas condiciones de cultivo (temperatura y humedad) se da el estadio de cotiledones extendidos (primeros órganos fotosintéticos) a los doce días de la siembra (Nuñez 2006)

#### 1.1 Origen y domesticación del tomate

El centro de origen del tomate es la región andina que hoy es compartida por Colombia Ecuador Perú Bolivia y Chile en la cual crecen espontáneamente diversas especies del género *Lycopersicum* y es también donde se registra la mayor variabilidad con muchas especies silvestres (Nuez 1995)

Sin embargo no fue en la zona andina donde se produjo la domesticación de esta especie, fue en la región mesoamericana (sur de México y norte de Guatemala) donde se comenzó la domesticación de esta planta de crecimiento voluntario en los campos esto se

ha comprobado con estudios electroforéticos de la variación de las *aloenzimas* donde se ha demostrado que hay analogías mucho mayores entre los cultivares europeos y los tomates pequeños de México y Centro América que entre los cultivares europeos y los procedentes de la región andina. Se sabe con certeza que el tomate es originario de América debido a que no era conocido en el viejo mundo hasta después de las exploraciones europeas (Nuez 1995)

## 1.2 El cultivo del tomate en Panamá

La industria tomatera comienza en el país en la década de 1940 con la llegada de la transnacional NESTLE a la región de Nata en la provincia de Coclé. Las primeras variedades cultivadas eran de origen europeo (Francia) y de Norteamérica (Estados Unidos) sobresaliendo la variedad *Rosol*. Sin embargo, el uso de sistema de monocultivo y el uso continuo de los mismos suelos generó la aparición de problemas fitosanitarios como la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) la cual es considerada la principal enfermedad del cultivo de tomate en suelos de las regiones tropicales. Esto provocó una sustancial reducción de los rendimientos lo cual con el paso de los años motivó el traslado de la procesadora a la provincia de Los Santos. Para mediados de la década de 1970 se inicia el programa de mejoramiento genético en tomate por el IDIAP con el objetivo de producir variedades con tolerancia a la marchitez bacteriana. De estas investigaciones se originaron variedades sobresalientes como Entero Chico, Entero Grande, DINA RPs, IDIAP – T5, IDIAP – T6, **IDIAP - T7**, **IDIAP - T8** e IT 9 las cuales brindaron la

oportunidad de que el desarrollo de la industria tomatera en el país continuara (IDIAP 2016)

## **2 Botánica y taxonomía**

El tomate es una planta de ciclo anual puede desarrollarse de forma rastrera semierecta o erecta El crecimiento puede ser determinado o indeterminado dependiendo de la variedad que se cultive una variedad de crecimiento indeterminado en buenas condiciones de cultivo puede llegar hasta los 10 metros en un año Las ramificaciones se dan de forma simpodial (los ejes sucesivos se desarrollan a partir de yemas axilares del eje anterior) y la yema terminal da origen a la inflorescencia o a ramas abortivas Las hojas son compuestas y la inflorescencia esta compuesta por 4 a 12 flores, el fruto es una baya globular de entre 5 – 500 g La raíz cuando procede directamente de la semilla se desarrolla una fuerte raíz pivotante, si sufre daños por el trasplante se desarrolla un sistema de raíces adventicias (Nuez 1995)

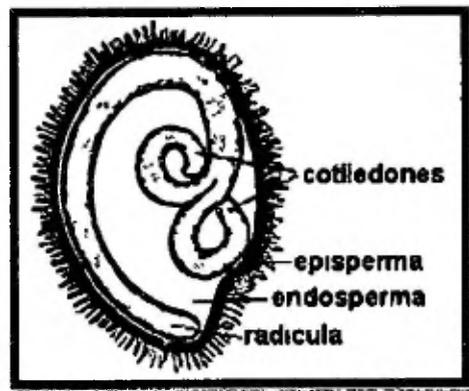
El tomate es miembro de la familia botánica de las Solanaceas su clasificación taxonomica binomial admite dos denominaciones *Lycopersicon esculentum* Mill (aportada por Philip Miller 1754) y *Solanum lycopersicon* L (aportada por Carlos Linneo 1753) (INFOAGRO, 2010)

## 2.1 Descripción botánica del tomate

La descripción botánica de una planta toma en consideración todas las partes principales de la misma (semilla, raíz, tallo, hojas, flores y frutos) con el objeto de ser lo más preciso posible.

### a) Semilla

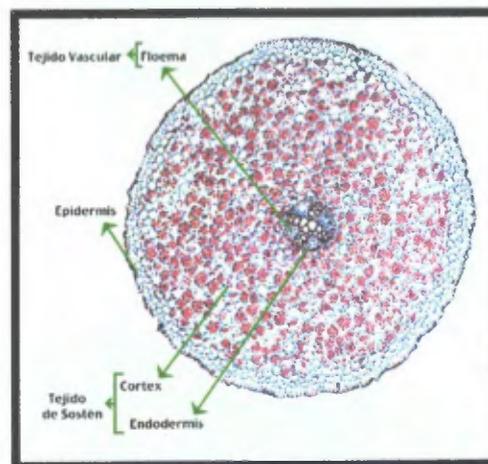
Presenta forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5.0 mm x 4.0 mm x 2.0 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la cubierta seminal. El embrión está conformado por la yema apical, los cotiledones, la radícula y el hipocotilo. El endospermo es la reserva de nutrimentos para el desarrollo inicial del embrión. Por último, esta cubierta seminal está formada por un tejido duro y permeable que protege al embrión (Nuez, 1995).



**Figura 1** Partes de la semilla de tomate, según esquema de Hayward (1953)

## b) Raíz.

Está formada por la raíz principal o pivotante, raíces secundarias y raíces terciarias o adventicias. En un corte transversal de la raíz (Figura 2) se puede apreciar claramente que existen tres tipos de tejido: epidermis (especializada en la absorción de agua y nutrientes, tiene pelos absorbentes), el córtex o tejido de sostén (región que divide la epidermis del tejido vascular, cumple funciones de soporte) y el tejido vascular (conformado por la xilema, el cual cumple funciones de transporte de agua y nutrientes y el floema, que transporta los fotoasimilados (Picken *et al*, 1986).



**Figura 2.** Corte transversal de una raíz de tomate, foro de biología (2007).

## c) Tallo.

Típicamente mide de 2 – 4 cm de diámetro en la base. Está cubierto de vellosidades glandulares y no glandulares que salen de la epidermis; bajo la epidermis, se encuentra el córtex cuyas células externas poseen funciones fotosintéticas, mientras que las internas

ayudan al soporte del tallo. La estructura vascular y las células del parénquima que las rodean están dispuesta en forma de tubo alrededor del tejido medular. En la parte superior del tallo se encuentra el meristemo apical, esta es una zona de división celular activa donde se realiza la diferenciación y forman los nuevos primordios foliares y florales (Picken *et al*, 1986).

**d) Hojas.**

Las hojas son compuestas e imparipinnadas. Generalmente se constituyen por 7-9 foliolos lobulados que también están recubiertas de pequeñas vellosidades (Laserna, 2009).



**Figura 3.** Hoja compuesta de la planta de tomate (INFOAGRO, 2010).

**e) Flores.**

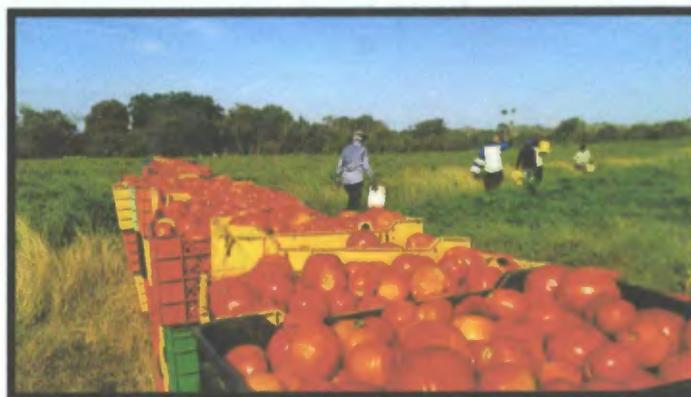
La flor de tomate es considerada una flor perfecta (tiene estambres y pistilo), consta de 5 o más sépalos, de 5 o más pétalos que están dispuestos a intervalos de  $135^\circ$ , cuenta con 5 o más estambres que se alternan con los pétalos y un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en forma de racimos donde el eje principal se ramifica por debajo de la primera flor formada (Nuez, 1995).



**Figura 4.** Partes de la flor de tomate (INFOAGRO, 2010).

**f) Fruto.**

Es una baya que bi o plurilocular que se desarrolla a partir de un ovario de aproximadamente 5 – 10 mg y alcanza un peso final de 5 – 500 g a la madurez, dependiendo de la variedad y las condiciones de desarrollo. El fruto de tomate está compuesto por el pericarpo, el tejido placentario y la semilla. El pericarpo lo componen la pared externa, los septos que separan los lóculos y la columela y se origina de la pared de ovario (Ho *et al*, 1986).



**Figura 5.** Frutos de tomate industrial (Corro, 2017).

**Cuadro I.** Composición nutricional del tomate.

<b>Componente</b>	<b>Peso fresco (%)</b>
Materia seca	6.50
Carbohidratos totales	4.70
Grasas	0.15
N proteico	0.40
Azúcares reductores	3.00
Sacarosa	0.10
Sólidos solubles totales (°Brix)	4.50
Ácido málico	0.10
Ácido cítrico	0.20
Fibra	0.50
Vitamina C	0.02
Potasio	0.25

*Fuente: Nuez, F. (1995)*

Según Nuez (1995), la semilla de tomate contiene Licopeno que es un antioxidante que protege del cáncer de mama y próstata en el ser humano.

## **2.2 Etapas fenológicas**

Todas las plantas poseen una serie de etapas fenológicas definidas estas etapas son los componentes de su ciclo de vida. Debido a que el tomate se cultiva en una gran variedad de condiciones edafoclimáticas no se puede generalizar sus etapas fenológicas. Considerando las condiciones edafoclimáticas de las zonas tomateras comunes se define que las etapas fenológicas son las siguientes: Desarrollo vegetativo, floración, producción, maduración, Senescencia (IDIAP 2016).

### **a) Desarrollo vegetativo**

Comprende proceso de crecimiento vegetativo que va desde la germinación hasta la aparición de las primeras flores. Esta fase consta de 50 días (20 días en semillero + 30 días después del trasplante) en ella se requiere de gran cantidad de nutrimentos para satisfacer la demanda que genera el desarrollo de estructuras foliares y radicales (IDIAP 2016).

### **b) Floración**

Esta se inicia a partir de los 50 días después de la germinación las flores completas son autopolinizadas para luego comenzar la formación de frutos. Las condiciones ambientales y nutricionales son muy importantes para floración del tomate. Las

deficiencias de nitrógeno fosforo y potasio retrasan el desarrollo de las flores incluso puede provocar abortos Este resultado puede llegar a ser muy importante en plantas que estan sometidas a altas temperaturas y a estres hidrico (IDIAP, 2016)

#### **c) Producción**

Esta etapa se inicia con la polinización de las flores de 60 – 70 dias despues de la germinacion Esta etapa se extiende por 30 – 40 dias y culmina cuando comienza la maduracion del 10 % de los frutos de la planta (IDIAP 2016)

#### **d) Maduración**

El tomate al ser un fruto climaterico experimenta un aumento llamado *pico climaterico* en la respiración que coincide con un brusco aumento en la produccion de etileno el cual tiene una profunda influencia en el proceso de maduración En esta etapa se dan importantes cambios en el color aroma, sabor textura, composición del fruto esta etapa se inicia aproximadamente a los 95 dias después de la germinacion (IDIAP 2016)

### e) Senescencia

Basicamente es la fase donde la planta pierde la capacidad de mantener sus estructuras y comienza la muerte de tejidos. Esta es la fase que marca el fin del ciclo productivo. En las condiciones edafoclimáticas de la zona tomatera de Azuero esto se da aproximado a los 115 días después de la germinación (IDIAP, 2016)

### 2.3 Clasificación taxonómica

En el Cuadro II se detalla la clasificación taxonómica completa del tomate. Se incluye los dos nombres binomiales por los que se puede reconocer el tomate.

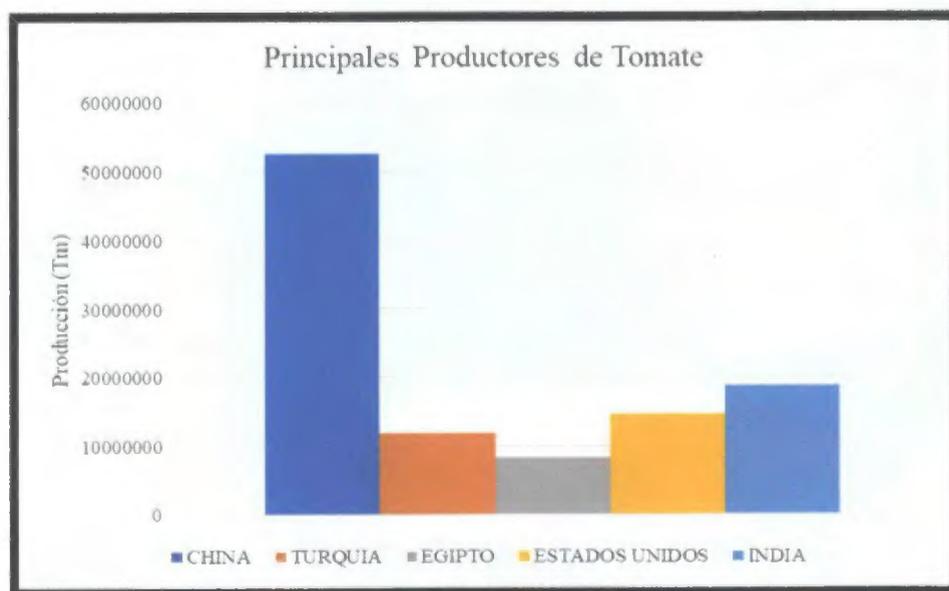
**Cuadro II** Clasificación taxonómica del tomate (*Solanum lycopersicon* L.)

<b>Categoría</b>	<b>Nombre</b>	<b>Observación</b>
<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>	
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta</i>	Angiospermas plantas con flores
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>	Dicotiledoneas plantas con dos cotiledones
<b>Subclase</b>	<i>Asteridae</i>	El grupo más evolucionado de las angiospermas
<b>Orden</b>	<i>Solanales</i>	
<b>Familia</b>	<i>Solanaceae</i>	
<b>Genero</b>	<i>Solanum</i>	
<b>Subgénero</b>	<i>Potatoe</i>	
<b>Sección</b>	<i>Petota</i>	
<b>Especie</b>	<i>Solanum lycopersicon</i> L	Linneo C 1753
	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill	Miller P 1754

Fuente: Nuez F (1995)

### 3. Principales productores a nivel mundial.

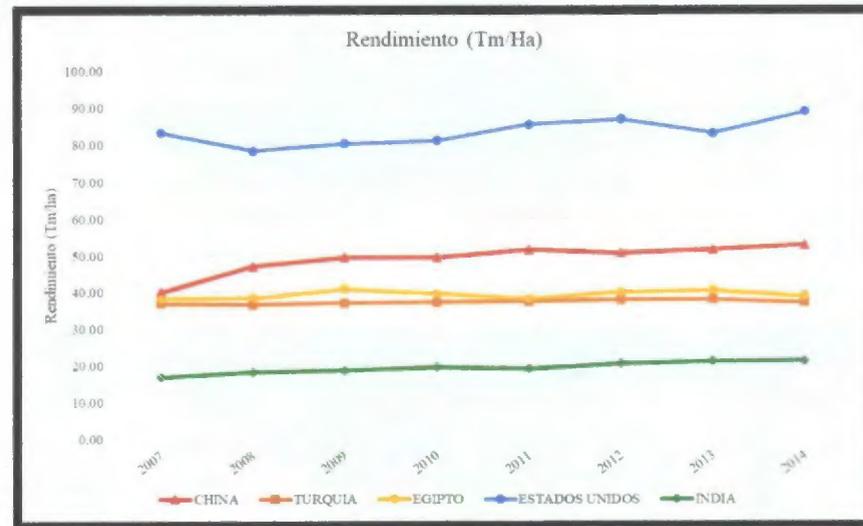
Según FAOSTAT (2017), la producción mundial de tomate industrial es de 170,750,769 toneladas, los cuatro principales productores de tomate industrial son: China Cont., India, Estados Unidos, Turquía y Egipto, producen el 62% de la producción mundial (105,976,873 toneladas). Sin embargo, ser un gran productor no es sinónimo de tener buenos rendimientos, los cuales para el ciclo productivo de 2014 fueron los siguientes: Estados Unidos (88.85  $\text{tha}^{-1}$ ), China (52.77  $\text{tha}^{-1}$ ), Egipto (38.73  $\text{tha}^{-1}$ ), Turquía (37.13  $\text{tha}^{-1}$ ) e India (21.24  $\text{tha}^{-1}$ ) (Figura 6).



**Figura 6.** Producción total de los cinco mayores productores de tomate, *FAOSTAT (2017)*.

La producción total indica que China es el mayor productor de tomate ya que tiene vastas extensiones de campos productivos dedicados a este rubro, sin embargo, cuando se calcula el rendimiento por hectárea de cultivo la situación es completamente diferente; en

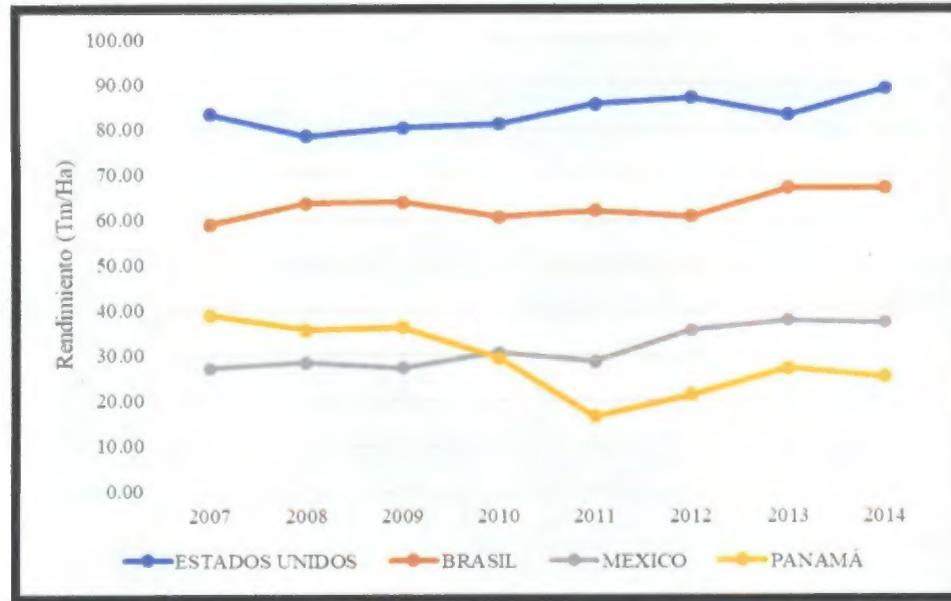
la figura 7, se observa que China pasa a la segunda posición y Estados Unidos pasa de la tercera posición a la primera.



**Figura 7.** Rendimiento de los principales productores ( $\text{tha}^{-1}$ ), FAOSTAT (2017).

### 3.1. Producción en el continente americano.

En el continente americano los principales productores de tomate son: Estados Unidos, Brasil y México; los cuales para el ciclo productivo 2014 produjeron 22,355,142 toneladas. En los registros de producción de los últimos siete años (2007 – 2014) estos países siempre han estado sobre los 3.5 millones de toneladas. Sus rendimientos son muy buenos, lo cual demuestra que hay una buena producción por unidad de área (Figura 8).



**Figura 8.** Rendimiento de productores de América y Panamá, *FAOSTAT (2017)*.

#### 4. Condiciones Edafoclimáticas del Tomate.

Las condiciones edafoclimáticas que influyen en el cultivo de tomate son: el suelo, la temperatura, la humedad, la luminosidad y el agua. Estos factores son de mucha importancia para el adecuado desarrollo del cultivo (IDIAP, 2016).

##### 4.1. Suelo.

Preferiblemente los suelos destinados para el cultivo de tomate deben ser planos o con pendiente no mayores de 8%, con textura medias, bien aireados y buena capacidad de drenaje; el pH debe ser de 5.5 – 6.8. Suelos con temperaturas entre 15 – 25 °C favorecen el establecimiento del cultivo después del trasplante (Escalona, 2009).

## 4.2 Temperatura

La fructificación del tomate se ve limitada por las temperaturas inferiores a 13 °C son perjudiciales para el desarrollo del cultivo y superiores a 32 °C afectan significativamente la fructificación llegando a provocar abortos florales a los 34 °C (IDIAP 2016)

**Cuadro III** Temperaturas críticas del cultivo de tomate

Evento		Temperatura (°C)
Muerte por helada		2 °C
Detiene su desarrollo		10 – 12 °C
Desarrollo normal		18 – 25 °C
Excelente desarrollo		21 – 24 °C
Germinación óptima		25 – 30 °C
Temperaturas Óptimas para zonas tropicales		
Desarrollo	Diurna	23 – 26 °C
	Nocturna	13 – 16 °C
Floración	Diurna	23 – 26 °C
	Nocturna	15 – 18 °C
Maduración		15 – 22 °C

*Fuente Escalona V (2009)*

## 4.3 Humedad

La humedad ambiental óptima para el desarrollo del cultivo está entre 60 – 80% humedades altas pueden provocar enfermedades fúngicas de los tejidos foliares rajado del fruto, problemas con la fecundación. Sin embargo si la humedad es muy baja se puede presentar problemas con la fijación del polen al estigma floral (Escalona, 2009)

#### **4 4 Luz solar**

Segun Him (1997) el cultivo de tomate es insensible al fotoperiodo sin embargo necesita de una 11 a 12 horas de luz solar La densidad de siembra el sistema de poda tutorado y las practicas culturales aplicadas al cultivo pueden modificar el aprovechamiento de la radiacion solar Las practicas culturales durante la época lluviosa, optimizan la recepcion de los rayos

#### **4 5 Agua**

Segun IDIAP (2016) por la cantidad de biomasa y de frutos producidos la planta requiere de suministros adecuados y oportunos de agua en forma de riego La relacion agua – planta es una razon dinamica definida por el agua aprovechable disponible en el suelo volumen de suelo alrededor de las raices area foliar densidad de siembra actividad estomatica y factores climaticos (humedad temperatura y viento)

## 5 El Suelo

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre que es biológicamente activa que proviene de la desintegración o alteración física y química de la roca madre y de los residuos de las actividades de los seres vivos. Es un ente trifásico ya que posee tres fases (sólida, líquida y gaseosa). La fase sólida está compuesta por la materia orgánica e inorgánica, la fase líquida compuesta por el agua almacenada en el suelo y la fase gaseosa por el aire en los espacios porosos (Arias 2012).

### 5.1 Partículas Inorgánicas del Suelo

Para el estudio del suelo solo son relevantes las partículas que su diámetro mida entre 0.0001 mm hasta 2.0 mm ya que estas son las que definirán la textura del suelo según su predominancia. Las partículas que se ajustan a estos parámetros son arena, limo y arcillas (Arias 2012).

**Arena** se observan a simple vista miden entre 0.02 mm y 2.0 mm cuando están agrupadas se sienten al tacto no poseen plasticidad ni adherencia, no forman agregados estables en el suelo y forman espacios porosos grandes.

**Limo** miden entre 0.002 mm y 0.02 mm al tacto se sienten como talco agrupadas y con humedad presentan restringida adherencia y plasticidad son fáciles de moldear pero frágiles al secarse. Los poros entre sus partículas son pequeños lo cual les permite almacenar agua.

**Arcillas** son muy pequeñas de entre 0 0001 mm y 0 002 mm de diametro con humedad y agregadas son adhesivas y plásticas tienen alta capacidad de retener agua debido a que su superficie posee carga negativa tienen capacidad de retener cationes

## **6 Los nutrimentos**

Un nutrimento es clasificado como esencial cuando se demuestra que es necesario en algunas o todas las etapas fenológicas del cultivo y no puede ser sustituido por otro de características similares en valencia y radio ionico Actualmente se reconocen como esenciales a dieciseis elementos ya que estos son utilizados por todas las plantas para sus funciones fisiológicas Existen otros elementos que tambien son utilizados por algunas plantas pero que no se clasifican como esenciales tal es el caso del cobalto (utilizados por bacterias simbióticas para la fijación de nitrógeno atmosférico en las leguminosas) vanadio (aumenta el rendimiento de la cosecha en cultivos como esparrago arroz y maiz puede sustituir al molibdeno en la actividad de la nitrogenasa), sílice (da resistencia mecánica al ataque de hongos e insectos en las gramíneas) (Kass 2007)

**Cuadro IV** Valores de interpretacion de un analisis foliar en tomate

Nutrimentos	Niveles Nutricionales en Analisis Foliar		
	Bajo	Óptimo	Alto
	%		
<b>N</b>	2.5 – 3.99	4.0 – 6.0	> 6.0
<b>P</b>	0.20 – 0.24	0.25 – 0.75	> 0.75
<b>K</b>	1.05 – 2.89	2.9 – 5.0	> 5.0
<b>Ca</b>	0.80 – 0.99	1.0 – 3.0	> 3.0
<b>Mg</b>	0.25 – 0.39	0.40 – 0.60	> 0.60
		<b>mgkg<sup>-1</sup></b>	
<b>Cu</b>	3.0 – 4.0	5.0 – 20.0	> 20.0
<b>Fe</b>	30.0 – 39.0	40.0 – 200.0	> 200.0
<b>Mn</b>	30.0 – 39.0	40.0 – 250.0	> 250.0
<b>Zn</b>	18.0 – 19.0	20.0 – 50.0	> 50.0

Fuente Molina, E (2016)

Segun Kass (2007) los elementos esenciales son importantes para el desarrollo de la planta ya que participan en procesos fisiológicos como captacion de energia, activación enzimática transferencia de energia la sintesis de azucres vitaminas hormonas de crecimiento (auxinas) En los procesos metabolicos hay diversos elementos que participan en la activacion de mecanismos fotosinteticos mecanismos bioquimicos y/o fisiologicos El Cuadro IV expresa los parametros de evaluacion de un analisis foliar reportados por Molina (2016) para el cultivo de tomate El Cuadro V expresa las relaciones cationicas optimas en un suelo

**Cuadro V** Relaciones catiónicas óptimas

<b>Relacion Cationica</b>	<b>Ca/Mg</b>	<b>Ca/K</b>	<b>Mg/K</b>	<b>K/Mg</b>	<b>(Ca + Mg)/K</b>
<b>Valores Óptimos</b>	1 2 – 6 2	2 0 – 25 0	1 6 – 14 0	2 5 – 15 0	10 0 – 30 0

**Fuente** Villarreal *et al* (2015)

### 6 1 Conceptos relacionados a la nutrición

Es importante mencionar que el contenido de los elementos esenciales y la respuesta de las plantas a su concentración en el medio de desarrollo (sustrato) genera varias definiciones de importancia como contenido óptimo deficiencia deficiencia visual deficiencia inducida antagonismo y toxicidad (Molina, 2016)

**Contenido óptimo** cuando el sustrato presenta concentraciones adecuadas de los elementos esenciales para el desarrollo de la planta y los mismos se encuentran en estado disponible para ser absorbidos

**Deficiencia** cuando la concentración de un elemento es baja en el sustrato con respecto al contenido normal para el desarrollo del cultivo Si hay deficiencia se produce una reducción de la producción También se presentan definiciones paralelas asociadas a desórdenes fisiológicos entre ellas deficiencia visual y deficiencia inducida

**Deficiencia visual** es cuando la concentración de un elemento es baja dentro de la planta Esto produce desórdenes fisiológicos que se conocen como '*síntomas visuales de deficiencia*' las plantas pueden llegar a presentar patrones cloróticos deformaciones alteraciones foliares o deformaciones del fruto, según sea el elemento limitante

**Deficiencia inducida** altas concentraciones de un elemento en el sustrato pueden bloquear la absorción de otro tal es el caso del fósforo y el zinc donde altos contenidos de fósforo disminuyen la absorción de zinc Esto provoca la aparición de síntomas visuales

**Antagonismo** se produce por las interacciones entre iones con propiedades físicoquímicas similares como es la valencia y/o el diámetro del ion La competencia que se da entre los iones puede darse por la entrada a un mismo canal proteico o por la unión a una proteína transportadora (Cakmak, 2015) Los antagonismos más conocidos incluyen las relaciones entre calcio/magnesio calcio/potasio y magnesio/potasio

**Toxicidad** se presenta cuando la concentración de un elemento en el sustrato es muy alta y afecta el normal desarrollo del cultivo Cuando la planta absorbe de forma indiscriminada un elemento altamente disponible se pueden producir lesiones radiculares lesiones de follaje lesiones en los meristemos de crecimiento y/o lesiones en los meristemos de reproducción

Los elementos esenciales se han clasificado según su importancia o por la cantidad que absorben las plantas en dos grupos macronutrientes y micronutrientes

**El pH** se considera una de las principales variables del suelo ya que tiene la capacidad de controlar muchos procesos químicos que se dan en el Afecta específicamente la disponibilidad de los nutrientes de las plantas mediante el control de las formas químicas de los nutrientes (Figura 10) (Molina 2016)

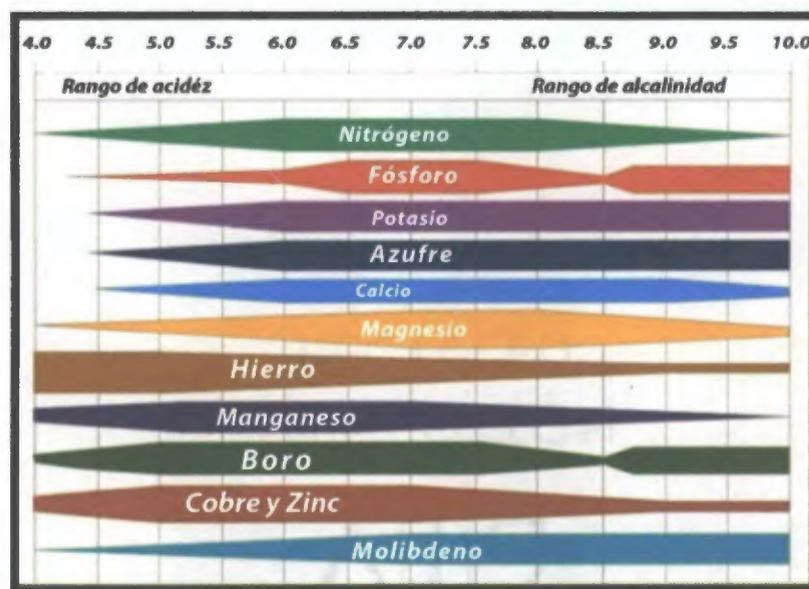


Figura 9. Disponibilidad de los nutrientes según el pH del suelo, Castellanos (2014).

## 6.2. Macronutrientes

Dentro de este grupo existen dos fuentes de donde la planta obtiene los nutrientes: los provenientes del agua y el aire: carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H); los provenientes del sustrato: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

### a) Nitrógeno (N)

El aporte de nitrógeno por la parte mineral de suelo es prácticamente nulo, básicamente su contenido en el suelo depende del reciclaje de la materia orgánica y de los mecanismos de fijación. Es el nutriente que las plantas absorben en mayor cantidad, puede ser tomado

por la planta de las siguientes maneras formas aniónicas oxidadas como nitratos ( $\text{NO}_3$ ) formas aniónicas reducidas como amonio ( $\text{NH}_4$ ) formas químicas orgánicas como la urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) entre otras Este elemento es predominante en los suelos cálidos bien aireados y húmedos de las regiones tropicales con bajo índice de acidez El nitrógeno predomina en formas orgánicas dentro de las plantas ligado a aminoácidos y proteínas en forma reducida denominado 'nitrógeno asimilado' En la planta existen otras formas nitrogenadas además de aminoácidos y proteínas estas incluyen vitaminas hormonas pigmentos purinas y pirimidinas Referente a esto el nitrógeno es componente esencial de la clorofila que es la unidad básica de la absorción de energía lumínica para los procesos fotosintéticos (Malavolta E 1980)

Las funciones del nitrógeno guardan relación con efectos observables en la planta como estimula el crecimiento vegetativo el desarrollo de la coloración verde intensa de las hojas aumenta la succulencia foliar al incrementar la masa protoplasmática (Kass 2007)

### **Deficiencia y exceso de nitrógeno**

Las plantas presentan mal desarrollo, se observan raquíticas El crecimiento de las plantas es lento y se presenta una clorosis generalizada que comienza por las hojas viejas mientras los ápices se presentan verdes esto se debe a que el nitrógeno de las hojas viejas se mueve hacia las hojas jóvenes Si la deficiencia es fuerte las hojas toman una tonalidad parda y mueren El exceso de nitrógeno produce un desequilibrio en la disponibilidad de P y K ocasionando un desarrollo vegetativo excesivo caída de flores, maduración irregular (YARA, 2011)



**Figura 10.** Deficiencia de nitrógeno, clorosis de hojas viejas (AGROLOGICA, 2012).

**b) Fósforo (P)**

Las plantas lo absorben rápidamente como fosfato monovalente ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ )<sup>-1</sup>; si se encuentra en forma divalente ( $\text{HPO}_4$ )<sup>-2</sup> o como trifosfato ( $\text{PO}_4$ )<sup>-3</sup> es absorbido con mayor lentitud. La absorción del fósforo va ligada al pH del suelo, un buen pH para su absorción está entre 6.0 – 6.8. Un buen contenido de magnesio en la planta provoca un efecto sinérgico que aumenta la absorción de fósforo; la presencia de micorrizas en el ambiente radicular potencia la absorción de este elemento. Dentro de la planta se encuentra en forma inorgánica (ortofosfato y pirofosfato) las cuales tienen poca relevancia para las funciones fisiológicas y enzimáticas importantes de la planta; la forma orgánica tiene mayor importancia para los procesos mencionados de la planta. La forma orgánica es importante para las funciones estructurales de la planta, es la principal fuente de energía para el metabolismo de carbohidratos en sus formas de adenosín difosfato (ADP) y adenosín trifosfato (ATP) (Kass. D. 2007).

### **Deficiencia y exceso de fósforo**

Se presenta un crecimiento reducido del sistema radicular, las hojas y los tallos; con una coloración que va de pardo - rojiza a purpura. La floración y madurez se retrasa, los frutos y semillas son de un tamaño menor del normal. El exceso de este nutriente puede bloquear elementos antagónicos como Fe, Zn, o Cu (SEMINIS, 2017).



**Figura 11.** Deficiencia de fósforo en tomate (SEMINIS, 2017).

### **c) Potasio (K)**

Este elemento es requerido por la planta en grandes cantidades, su absorción se da en forma iónica ( $K^+$ ), mediante el flujo masal o por difusión. El potasio que se encuentra en la solución del suelo puede provenir de diversas fuentes: fertilizantes, mineralización de la materia orgánica, meteorización de minerales primarios (feldespatos y micas) o de minerales secundarios como arcillas montmorrilloníticas e iliticas. La fracción del potasio en el suelo que es considerada fácilmente disponible es muy pequeña con respecto al total presente en el suelo, su velocidad absorción puede disminuir cuando existen altas

concentraciones de calcio y/o magnesio El potasio no forma parte de los compuestos organicos celulares se le encuentra en forma ionica dentro del jugo celular Una característica muy importante es que tiende a acumularse donde la división celular y los procesos de crecimiento son mas activos (Kass 2007)

Segun Sela (2017) dentro de la planta el potasio posee varias funciones basicas entre las que se pueden mencionar

- **Activador enzimático** actua en mas de sesenta sistemas que participan en los procesos fisiologicos de la planta
- **Regulador osmótico** debido a que su forma ionica ( $K^+$ ) tiende a hidratarse fuertemente ayuda a mantener la turgencia celular mantiene el equilibrio hidrico de la planta y reduce la tendencia a marchitarse
- **Translocacion de azucares** facilita el transporte de estos productos fotosinteticos hacia los lugares de almacenamiento o hacia los puntos de crecimiento
- **Sintesis de proteinas y absorcion de nitrógeno** aunque no forma parte de las proteinas el potasio promueve la sintesis de estas Una buena concentración de este elemento dentro de la planta estimula la absorción de nitrogeno
- **Sintesis de almidon** forma parte de una enzima que regula la transformacion de azucares (glucosa) en almidon tambien tiene el efecto contrario al transformar el almidon de azucares reductores como la glucosa fosfatada (compuesto con un fuerte potencial osmotico) que atrae moleculas de  $H_2O$  desde las células protoplasmáticas vecinas hacia las células guardias de las estomas haciendo que ocurra la apertura estomatica

- **Incrementa la actividad de los nódulos fijadores de nitrógeno:** un adecuado contenido de potasio en las plantas fijadoras de nitrógeno, incrementa la actividad de la enzima nitrogenasa y la cantidad de nitrógeno fijado por los nódulos bacteriales.

### **Deficiencia y exceso de potasio**

Se produce una reducción del rendimiento de la cosecha y aumenta la susceptibilidad del cultivo al ataque de enfermedades, rompimiento de tallos y al estrés hídrico. El principal efecto visual es la clorosis de los márgenes foliares de las hojas viejas. El exceso de potasio puede provocar un bloqueo de elementos como: Fe, Zn, Mg, Ca y Mn (SEMINIS, 2017).



**Figura 12.** Deficiencia de potasio, clorosis en bordes de hojas (AGROLOGICA, 2012).

#### **d) Calcio (Ca)**

Es absorbido por las plantas en su forma iónica ( $\text{Ca}^{+2}$ ). Debido a las interacciones entre el calcio – potasio – magnesio, su velocidad de absorción puede disminuir cuando haya altas concentraciones de potasio y/o magnesio en la solución del suelo.

La absorción del calcio se puede dar por mecanismos pasivos (transpiración) o por mecanismos activos que requieren un gasto de energía. En su mayoría, el calcio se encuentra en forma soluble dentro de la planta o asociado a coloides citoplasmáticos poco estables como carboxilos, fosforilos e hidroxifenoles. También puede precipitar dentro de las vacuolas celulares como fosfato de calcio ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) y oxalato de calcio ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ). El calcio no tiene gran importancia como activador enzimático; es de muy baja movilidad. Su principal función es formar parte de la pared celular y mejorar la permeabilidad de la célula. Según Kass (2007), las principales funciones que tiene el calcio en la planta son:

- Confiere rigidez y resistencia a las paredes celulares
- Promueve la turgencia del plasma coloidal, de forma similar al potasio
- Activa el meristemo radicular para su crecimiento
- Contribuye a la formación de nódulos de leguminosas
- Contribuye a la germinación del polen y al desarrollo del tubo polínico
- Importante en la división y elongación celular

#### **Deficiencia y exceso de calcio**

Los efectos visuales de esta deficiencia se observan en las regiones meristemáticas de la planta, ápices radiculares y hojas jóvenes. El síntoma clásico es la curvatura de las hojas en forma de cuchara, asociado a clorosis marginal. En el caso del tomate se presenta la pudrición apical del fruto (*Blossom end rot*). El exceso puede afectar las relaciones con otros elementos como K y Mg.



**Figura 13.** Deficiencia de calcio, pudrición apical del fruto “*Blossom end rot*” (AGROLOGICA, 2012)

**e) Magnesio (Mg)**

Según Sela (2017) este nutrimento es absorbido por la planta en su forma iónica ( $Mg^{+2}$ ), se puede suministrar al suelo en fertilizante industriales en formas como fosfato, carbonato sulfato u oxido de magnesio; también, se encuentra de forma natural por la meteorización de minerales como: olivino, piroxenos y anfíboles. Se encuentra en la fracción orgánica del suelo. Puede ser fijado de forma no intercambiable por las arcillas como: ilitas y cloritas. Es un elemento de alta movilidad dentro de la planta, Las funciones del magnesio son las siguiente:

**Funciones esenciales:**

- Es el constituyente básico de la molécula de clorofila.
- Participa en el metabolismo de los carbohidratos como glucosa, fructuosa y galactosa; activándolos por medio de enzimas mediante la incorporación de adenosín trifosfato (ATP) a la molécula glucídica.

#### **Otras funciones importantes:**

- Activa enzimáticamente la síntesis de ácidos nucleicos como ácido desoxirribonucleico (ADN) y ácido ribonucleico (ARN).
- Forma parte de la estructura de los ribosomas, estabiliza su estructura para la producción de proteínas.

#### **Deficiencia y exceso de magnesio**

Debido a la alta movilidad del magnesio en la planta, se presenta una clorosis en el área internerval de la hoja. Solo las nervaduras de la hoja se mantienen verdes, la zona foliar se vuelve clorótica. El exceso de este nutrimento puede provocar desbalance con elementos como K y Ca.



**Figura 14.** Deficiencia de magnesio, clorosis internerval (SEMINIS, 2017).

### **6.3 Micronutrientes**

Estos elementos son hierro (Fe) manganeso (Mn) cobre (Cu) y zinc (Zn) la planta los obtiene del medio de cultivo (sustrato) y están disponibles a pH ácido. Pertenecen todos al grupo de elementos de transición. Se presentan reacciones antagonicas entre ellos. También los puede obtener por aplicaciones foliares de soluciones diluidas que contienen nutrientes.

Según Kass (2007) las funciones de micronutrientes son variadas. En forma general se pueden catalogar de la siguiente forma: enzimáticas, en reacciones de oxidación-reducción, síntesis de clorofila, por su participación en la fotosíntesis, influencia en el crecimiento y la fijación de nitrógeno atmosférico.

#### **a) Hierro (Fe)**

Puede ser absorbido por la planta como ion ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) que predomina en los suelos con problemas de drenaje y mal aireados o como ion férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ) el cual se encuentra en suelos bien drenados. Sin embargo, si es absorbido por la planta en su forma oxidada ( $\text{Fe}^{+3}$ ) es reducido a su forma metabólica activa ( $\text{Fe}^{+2}$ ), como todos los micronutrientes (a excepción del molibdeno) es soluble a pH ácidos. Su absorción disminuye si en el ambiente radicular hay altas concentraciones de manganeso, cobre, zinc y calcio (PROMIX 2017).

Según Kass (2007) las principales funciones del hierro en los procesos fisiológicos de la planta son las siguientes:

- Funciones en los sistemas enzimáticos: es componente de varias enzimas como citocromo – oxidasa, catalasa y peroxidasa que son importantes en los ciclos de respiración. Además, actúa como catalizador en reacciones de oxidativas – reductivas como la respiración, fotosíntesis, reducción de nitratos y sulfatos.
- Participa en la síntesis de clorofila, pero no es un componente estructural de ella. En la síntesis de proteínas forma parte de los grupos “hemo” (hemoglobina), estos grupos son transportadores de oxígeno con una estructura similar a la hemoglobina de los vertebrados. La más conocida es la Leghemoglobina.
- Es parte estructural de moléculas “no hemo”, como las ferredoxinas que participan en el transporte de electrones, en la fotosíntesis y en la fijación de nitrógeno.

#### **Deficiencia y exceso de hierro**

Se observa una clorosis internerval similar a la que se presenta con las deficiencias de magnesio, la diferencia radica en que esta comienza por las hojas jóvenes debido a la poca movilidad del hierro dentro de la planta; esto produce una parálisis en el crecimiento. El exceso puede producir fitotoxicidad.



**Figura 15.** Deficiencia de hierro en tomate (SEMINIS, 2017).

## **b) Manganeso (Mn)**

Es importante en la fotosíntesis para la formación de clorofila en procesos de oxidación – reducción, en la respiración y en los mecanismos enzimáticos. Es absorbido por la planta activamente en forma de  $Mn^{+2}$  puede sufrir efectos antagonistas cuando en el suelo hay altas concentraciones de potasio, calcio, magnesio, cobre y zinc, su absorción disminuye (YARA 2011)

Las principales funciones incluyen

- Fotosíntesis actúa como donador de electrones para la clorofila activada en la síntesis de clorofila y en la formación, multiplicación y funcionamiento de los cloroplastos
- Participa en procesos de oxidación – reducción, reacciones de descarboxilación e hidrólisis
- En el mecanismo enzimático actúa en las reacciones del ciclo del ácido cítrico, es activador enzimático en la respiración y el metabolismo del nitrógeno

### **Deficiencia de manganeso**

Debido a la poca movilidad del manganeso dentro de la planta, las deficiencias del mismo se presentan en las hojas jóvenes. Un suministro deficiente de este elemento produce manchas amarillas internervales que posteriormente se necrosan, que aparecen inicialmente en hojas jóvenes, también se observa una reducción de la floración. El exceso de este nutriente produce fitotoxicidad.



**Figura 16.** Deficiencia de manganeso (AGROLOGICA, 2012).

**c) Cobre (Cu)**

Es absorbido por la planta en forma de ion cúprico ( $\text{Cu}^{+2}$ ) o cuproso,  $\text{Cu}(\text{OH})^{+1}$  y en muy bajas cantidades en complejos orgánicos. Si el sustrato tiene altas cantidades de fósforo, molibdeno y zinc, su absorción se ve disminuida (YARA, 2004).

Sus principales funciones son:

- Componente de diversas enzimas metálicas como la oxidasa del ácido ascórbico donde cumple la función como receptor de electrones por sus cambios de valencia, de  $\text{Cu}^{+2}$  a  $\text{Cu}^{+1}$ . Esta propiedad es aprovechada para la formación de polímeros complejos como la lignina (componente de la madera) y la melanina (color oscuro del humus). También, se incorpora a la plastocianina de los cloroplastos para el transporte de electrones en los procesos fotosintéticos.
- Fomenta la síntesis de vitamina A (Betacaroteno).

### **Deficiencia y exceso de cobre**

Los síntomas varían mucho dependiendo del cultivo; típicamente se presenta una clorosis general (hojas viejas y jóvenes) que puede llegar a la defoliación de la planta. Los meristemos apicales pueden necrosarse y morir, impidiendo así el desarrollo de ramas laterales. En la planta, los altos niveles de cobre pueden competir con la absorción de hierro y, en ocasiones, de molibdeno o zinc (YARA, 2004).



**Figura 17.** Deficiencia de cobre (YARA, 2004).

### **d) Zinc (Zn)**

Según PROMIX (2018) este nutrimento es absorbido por la planta en su forma iónica ( $Zn^{+2}$ ) muy rápidamente, al igual que el cobre es poco absorbido en forma de complejos orgánicos. La presencia de altos contenidos de fósforo en el sustrato merma la absorción de este micronutriente.

Las principales funciones en la planta son:

- Es parte de complejos metalo – enzimáticos. Al contrario del hierro y el cobre no está sujeto a reacciones de oxido – reducción en los procesos fisiológicos.
- Participa en la síntesis de auxinas, síntesis de triptófano (precursor del ácido ascórbico).

### **Deficiencia y exceso de zinc**

Produce crecimiento disminuido y deformación de las hojas jóvenes, asociado al crecimiento de las hojas en forma de espiral por el acortamiento de los entrenudos; también, se puede presentar defoliamiento prematuro de la planta. Altos niveles de fósforo o condiciones anaeróbicas pueden inducir deficiencias. El exceso de zinc puede provocar efectos antagónicos con los otros micronutrientes (Cu – Fe – Mn); la planta presenta síntomas parecidos a la deficiencia de hierro. Además, puede provocar toxicidad en la planta (PROMIX, 2018).



**Figura 18.** Deficiencia de zinc (Ramírez, 2014).

## 7 Curva de absorcion de nutrimentos

Segun Bertsch (2009) una curva de absorcion de nutrimentos es una representacion grafica de la cantidad de nutrimentos extraida por un cultivo durante su ciclo de vida. Cabe mencionar que no son una herramienta para realizar un diagnostico como lo son los analisis foliares. Las curvas de absorción son una herramienta para el diseño de planes de fertilización debido a que muestran las cantidades minimas requeridas por el cultivo para un rendimiento determinado. a traves de las curvas se logra determinar las epocas de mayor demanda nutricional durante las diferentes etapas fenologicas de la planta.

En Panama se cuenta con pocas investigaciones de referencia sobre la absorcion de nutrimentos en el cultivo de tomate. Entre estas se cuenta con el trabajo realizado por Nuñez (2006) que evaluó la dinamica de absorcion de macro y micronutrimentos en la variedad de tomate L 4A en tres suelos con diferentes niveles de fertilidad de la region de Azuero, en la cual reporto que el suelo 1 (Parita Herrera) que posee una textura franco arcillosa y presentó un orden de absorción de la siguiente forma  $N > K > Ca > P > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu$ , donde el nitrogeno representa el nutrimento con mayor absorcion ( $205.7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) el suelo 2 (La Villa de Los Santos) que posee una textura franco arcillo arenosa y presento un orden de absorcion de la siguiente forma  $N > K > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Cu > Zn$  donde el nitrogeno fue el nutrimento que mas se absorbio ( $147.34 \text{ kg ha}^{-1}$ ) el suelo 3 (El Ejido de Los Santos) que posee una textura franco arcillosa y presento un orden de absorcion de la siguiente forma  $N > K > Mg > P > Ca > Zn > Fe > Mn > Cu$  donde el nitrogeno fue el mayor absorbido ( $180.47 \text{ kg ha}^{-1}$ ) esta investigacion concluyo que en la etapa de llenado y maduracion del fruto es cuando se presentan las

mayores absorciones de nutrimentos en los tres tratamientos y que, en el suelo 1 es donde el cultivo (L 4A) presento la mayor absorcion de nutrimentos Tambien se cuenta con la investigacion realizada por Barahona (2007) que evaluo la dinamica de los macro y micronutrientes en el cultivo de tomate CV L 5 bajo condiciones de cubierta plástica donde los tratamientos fueron cuatro dosis de fertilizacion completa + urea cuatro dosis de estiercol de ganado vacuno seco y un testigo donde se concluyo que el tratamiento 3 (200 kg ha<sup>-1</sup> de 12 24 14 + 200 kg ha<sup>-1</sup> de urea) era el mas recomendado para el cultivo de tomate ya que presento rendimiento de 812 17 g de fruta por planta

#### **7 1 Elaboración de curvas de absorcion de nutrimentos**

Segun Bertsch (2009) para la elaboraci3n de las curvas de absorcion de nutrimentos se debe utilizar los siguientes pasos

- Seleccionar la variedad o cultivar a estudiar
- Seleccionar plantas que esten en excelentes condiciones
- Se puede utilizar diferentes lotes para los muestreos en cada etapa fenologica, siempre y cuando las condiciones de suelo y manejo sean iguales
- Definir las etapas fenol3gicas mas importantes en el desarrollo del cultivo
- Dividir la planta en los tejidos de importancia (raiz tallos hojas frutos, etc )
- Tomar minimo tres (3) repeticiones por etapa fenologica y tejido, se le debe medir peso humedo peso seco y determinar la concentracion de nutrimentos en los tejidos

- Calcular el peso seco (MS) acumulada ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
- Graficar la curva de crecimiento (biomasa) para todo el ciclo de cultivo
- Calcular la cantidad de nutrientes absorbida se utiliza la concentracion de nutrientes (%) y se multiplica por la biomasa ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

## II MATERIALES Y METODOS

### 1 UBICACIÓN

La fase experimental se desarrolló en las instalaciones del *Instituto de Investigación Agropecuaria de Panama (IDIAP)* en el *Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA)* ubicado en La Villa de Los Santos corregimiento de Los Santos distrito de Los Santos provincia de Los Santos, en las coordenadas  $7^{\circ}56'24''$  N –  $80^{\circ}25'02''$  O a una elevación aproximada de 14 msnm

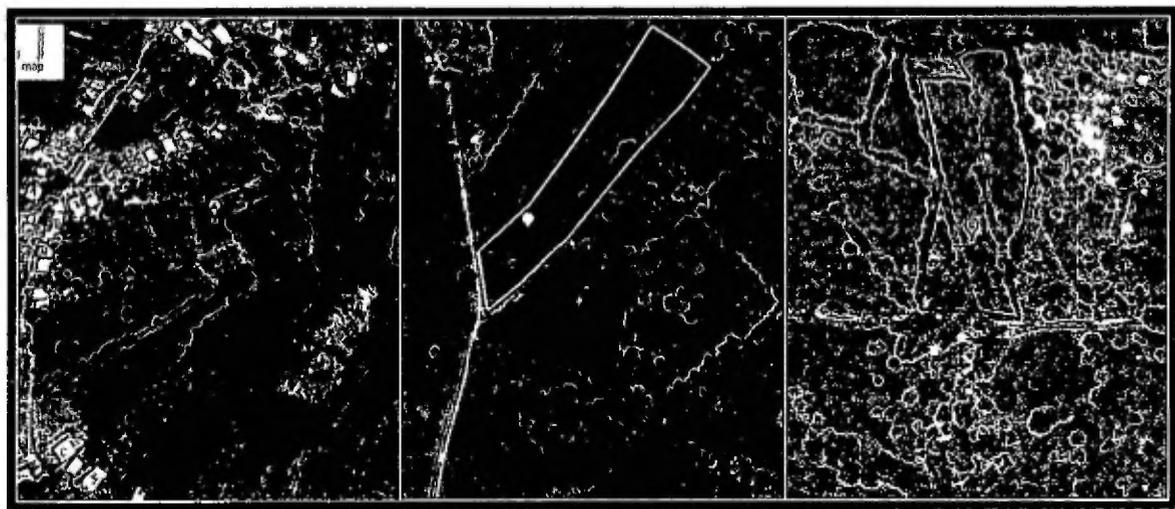
La fase de análisis se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Agua del IDIAP ubicado en el *Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIAD)* en Divisa, corregimiento de Los Canelos distrito de Santa María provincia de Herrera en las coordenadas  $8^{\circ}7'35''$  N –  $80^{\circ}41'29''$  O

### 2 SUELOS

Para determinar las curvas de absorción de nutrientes de las variedades de tomate industrial *IDIAP T7* e *IDIAP T8*, se procedió a seleccionar suelos con diferentes contenidos de arcillas (alto medio y bajo) de la zona tomatera de Azuero. Se realizaron muestreos a 30 cm de

profundidad en diferentes parcelas de los distritos de Los Santos y Guarare en la provincia de Los Santos. A las mismas se les determinó el contenido de arcillas por medio del procedimiento de Bouyoucos. La Figura 20 muestra las tres parcelas de procedencia de los suelos utilizados en la investigación: el polígono rojo es la parcela de La Espigadilla de Los Santos, el polígono amarillo es la parcela de Albina Grande de Guarare y el polígono azul es la parcela de Las Guabas de Los Santos.

El Cuadro VI muestra las coordenadas geográficas, los resultados del análisis de Bouyoucos de los suelos utilizados en el estudio.



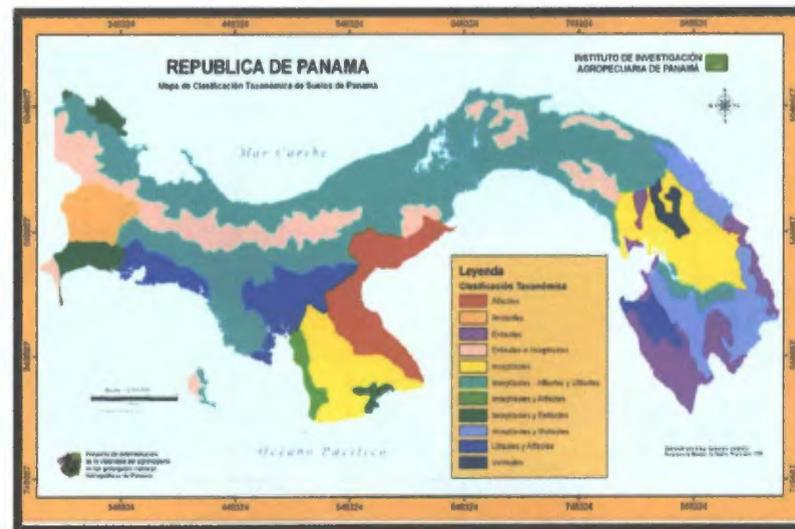
**Figura 19** Ubicación de los suelos utilizados en la investigación (Google Earth 2018)

**Cuadro VI** Coordenadas geográficas y resultados de análisis de textura

Origen	Ubicación	Resultados	Cont Arcillas
La Espigadilla (Los Santos)	7°53'06.95" N 80°23'23.19" O	46 – 14 – 40 (Arcillo Arenoso)	Alto
Albina Grande (Guarare)	7°52'29.04" N 80°18'21.08" O	54 – 20 – 26 (Franco Arcillo Arenoso)	Medio
Las Guabas (Los Santos)	7°48'30.42" N 80°28'49.49" O	74 – 18 – 8 (Franco Arenoso)	Bajo

*Fuente: IDIAP (2016)*

Luego de realizada el análisis de textura se seleccionaron los tres suelos que se utilizarían para realizar la fase de campo (Cuadro VI), a estos suelos se les realizó un análisis químico para determinar el contenido disponible de nutrimentos (Cuadro VII). Es importante mencionar que los suelos que se seleccionaron para este estudio pertenecen al orden Alfisol, estos suelos poseen acumulaciones de arcillas en el horizonte “B” y fertilidad moderada a alta con alto porcentaje de saturación de bases, en la Figura 20 se observan los diferentes ordenes de suelos presentes en Panamá, nótese que la zona de color rojo corresponde a los suelos de este orden y es donde se encuentra la “zona tomatera” de Azuero (Villarreal J; et al (2010). Según: Soil Taxonomy, 2<sup>ed</sup> (1999)).



**Figura 20.** Ordenes de suelos presentes en Panamá (Villarreal J; et al. 2010).

Según Jaramillo (1991), la región de Azuero está ubicada en las tierras bajas de la costa pacífica de istmo de Panamá, posee un régimen de humedad *ústico*. Los suelos son finos, mezclados y están clasificados como *isohipertérmico udic haplustalf*. Según las

zonas de vida establecidas por Holdridge (1978) la region esta enmarcada en el Bosque Seco Premontano

**Cuadro VII** Resultado de analisis de suelos seleccionados para el estudio (IDIAP 2016)

Localidad	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
	<i>mg/l</i>			<i>cmol<sub>(+)</sub>/kg<sup>1</sup></i>			<i>mg/l</i>		
<b>La Espigadilla</b>	163 0	159 1	24 6	16 3	0 10	51 6	16 8	1 9	2 7
<b>Albina Grande</b>	44 0	193 1	17 0	13 1	0 10	131 9	11 5	1 9	3 0
<b>Las Guabas</b>	13 0	106 4	16 9	9 1	0 10	39 3	25 2	0 48	2 29

Los suelos seleccionados para este estudio presentan las siguientes características en cuanto al contenido nutricional y los niveles críticos establecidos

El suelo proveniente de La Espigadilla presento niveles altos para fósforo (P) potasio (K) calcio (Ca) magnesio (Mg) y manganeso (Mn) niveles medios para cobre (Cu) y niveles bajos para aluminio (Al), hierro (Fe) y zinc (Zn) (Cuadro VII) basado en los analisis de suelo este suelo presenta las siguientes relaciones  $Ca/Mg = 1.51$  (óptimo),  $Ca/K = 60.44$  (alto)  $Mg/K = 40.05$  (alto)  $K/Mg = 0.02$  (bajo) y  $(Ca+Mg)/K = 100.49$  (alto) (Cuadro V) En lo referente a las características fisicoquímicas (Cuadro VIII) se determino que este suelo posee una textura franco – arcillosa un color en seco pardo, la  $CICe = 41.41$   $cmol_{(+)}/kg$  con alta saturación de bases con el calcio como dominante con 59.4% baja saturación de aluminio y baja materia orgánica (MO)

El suelo proveniente de Albina Grande presento niveles altos para potasio (K) calcio (Ca) magnesio (Mg) y manganeso (Mn) medios para fósforo (P) y cobre (Cu) y bajos para aluminio (Al) hierro (Fe) y zinc (Zn) (Cuadro VII) basado en los analisis de suelo, este suelo presenta las siguientes relaciones  $Ca/Mg = 1.30$  (óptimo)  $Ca/K = 34.41$  (alto)  $Mg/K = 26.52$  (alto),  $K/Mg = 0.04$  (bajo) y  $(Ca+Mg)/K = 60.93$  (alto) (Cuadro V) En cuanto a las características fisicoquímicas la textura de este suelo posee una textura franco

– arcillo – arenosa de coloración en seco rojo – amarillento la CICE = 30 69  $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$  (medio) con una baja saturación de aluminio una alta saturación de bases con el calcio dominando (55 4%) y la materia orgánica baja (Cuadro VIII)

**Cuadro VIII** Características fisicoquímicas de los suelos seleccionados para el estudio (IDIAP 2015)

Localidad	Textura	Color	CICE $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$	pH	Al % Saturación	Bases %	MO %
<b>La Espigadilla</b>	Franco Arcilloso 40% Arcilla	Pardo	41 41	6 2	0 24	99 76	0 76
<b>Albina Grande</b>	Franco Arcillo Arenosos 26% Arcilla	Rojo Amarillento	30 69	6 3	0 33	99 67	1 24
<b>Las Guabas</b>	Franco Arenoso 8% Arcilla	Pardo Oscuro	26 27	5 2	0 38	99 62	0 48

En cuanto al suelo proveniente de Las Guabas presento niveles altos para calcio (Ca) y magnesio (Mg) valores medios para potasio (K) manganeso (Mn) hierro (Fe) y cobre (Cu), bajos para aluminio (Al) fósforo (P) y zinc (Zn) (Cuadro VII) basado en los análisis de suelo se determinaron las siguientes relaciones  $\text{Ca/Mg} = 1 86$  (optimo)  $\text{Ca/K} = 62 13$  (alto)  $\text{Mg/K} = 33 46$  (alto)  $\text{K/Mg} = 0 03$  (bajo) y  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K} = 95 59$  (alto) (Cuadro V)

En cuanto a las características fisicoquímicas la textura de este suelo posee una textura franco –arenosa, de coloración en seco pardo oscuro, la CICE = 26 27  $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$  (medio) con una baja saturación de aluminio una alta saturación de bases con el calcio dominando (64 3%) y la materia orgánica baja (Cuadro VIII)

### 3 VARIEDADES

#### 3.1 IDIAP T7 (IT-7)

El Cuadro IX muestra las características agroindustriales de la variedad IDIAP T7 según los ensayos de investigación desarrollados por IDIAP para la liberación de este material

**Cuadro IX** Características agroindustriales del *IDIAP T7*

Tipo de crecimiento	Semi determinado
Días a Floración	25 ddt
Días a Cosecha	65 ddt
Tipo de Fruto	Perita
Rendimiento / planta	11 0 kg
Peso Prom Fruto	42 g
Nº de Frutos / Planta	50 – 60
Rendimiento (tha <sup>1</sup> )	54 5 ± 9 1
pH	4 5 – 5 0
Brix	5 0 – 6 0

Fuente IDIAP (2006)

#### Características

- 1 Alta tolerancia a la bacteria *Ralstonia solanacearum* causante de la marchitez bacteriana de las solanáceas
- 2 Alto potencial de rendimiento
- 3 Buena calidad de fruto

### 3 2 IDIAP T-8 (IT-8)

El Cuadro X presenta las características agroindustriales de la variedad IDIAP T8 según los ensayos realizados por IDIAP para la liberación de esta variedad

**Cuadro X** Características agroindustriales del *IDIAP - T8*

Tipo de crecimiento	Semi determinado
Días a Floración	35 – 40 ddt
Días a Cosecha	60 – 75 ddt
Tipo de Fruto	Perita grande
Rendimiento / planta	No determinado
Peso Prom Fruto	30 – 34 g
Nº de Frutos / Planta	50 – 60
Rendimiento (tha <sup>1</sup> )	54.5 – 68.1
pH	5.0 – 6.0
Brix	6.0 – 7.0

*Fuente IDIAP (2012)*

#### Características

- 1 Alto potencial de rendimiento hasta 68 ton/ha
- 2 Alta tolerancia a la bacteria *Ralstonia solanacearum*
- 3 Apto para tierras bajas

#### 4 FASE DE CAMPO

Esta se desarrollo bajo condiciones de casa de vegetacion la misma estaba ubicado en las instalaciones del IDIAP en La Villa de Los Santos Luego de seleccionados los suelos que se utilizarian en la investigación, se procedio al llenado de las bolsas de plastico con 22 72

kg de suelo Los ciclos de cultivo se desarrollaron entre los meses de agosto y octubre para ambas variedades IDIAP – T7 en el año de 2016 e IDIAP – T8 en el 2017

#### **4 1 Tratamientos**

Se basaron en el contenido de arcillas del suelo (alto medio y bajo) determinado por el metodo de Bouyoucos Cada tratamiento consto de cuatro unidades experimentales con veinticuatro plantas cada una para un total de doscientas ochenta y ocho plantas a las cuales se les aplico la fertilizacion recomendada para el cultivo de tomate

#### **4 2 Muestreos**

Se realizaron muestreos destructivos en cada etapa fenologica del cultivo desarrollo vegetativo (21 ddt) floracion (35 ddt) produccion (55 ddt) y maduracion (85 ddt) donde se tomo la planta completa separandola en sus principales partes (raices parte foliar y frutos) se les tomó el peso fresco y se procedio a secarlas en horno a 70 °C hasta peso constante de esta manera se obtuvo el peso de materia seca Se realizo el analisis de tejidos foliares para determinar el contenido de macro y micro nutrimentos para establecer la curva de absorcion para cada elemento por etapa fenologica segun la materia seca producida esto se calculo mediante la siguiente ecuacion

$$Kg\ Nut/ha = \frac{PS\ (Kg/ha) * Nut\ (\%)}{100}$$

**Donde:**

**PS** = Peso Seco ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

**Nut.** = Contenido de Nutrimiento en la muestra (%).



**Figura 21.** Fase de campo realizada en la casa de vegetación de IDIAP, Los Santos (2016).

## **5. FASE DE LABORATORIO.**

En esta fase se realizaron las siguientes actividades: análisis de textura, secado de muestras, molienda de muestras, mineralización de tejidos (vía húmeda), determinación de fósforo, determinación de nutrimentos (K, Mg, Ca, Mn, Cu, Fe y Zn) y determinación de nitrógeno (método de Kjeldahl).

## **5 1 Análisis de Textura**

Se tomo una muestra compuesta en diferentes suelos con historial tomatero de la region de Azuero las mismas fueron secadas y molidas, se les realizo un analisis de textura utilizando la metodologia de Bouyoucos (Villarreal et al 2015)

## **5 2 Secado de Muestras**

Las muestras fueron pesadas al momento de ser colectadas seguidamente se secaron en un horno a 70 °C hasta llegar a peso constante (aprox 48 horas) cada seccion de la planta posee tiempos de secado diferente

## **5 3 Molienda de muestras**

Luego de secada las muestras se procedio a molerlas para obtener un polvo fino con este producto se realizaron los diferentes analisis de laboratorio para determinar el contenido de nutrimentos en las diversas fases fenológicas del cultivo

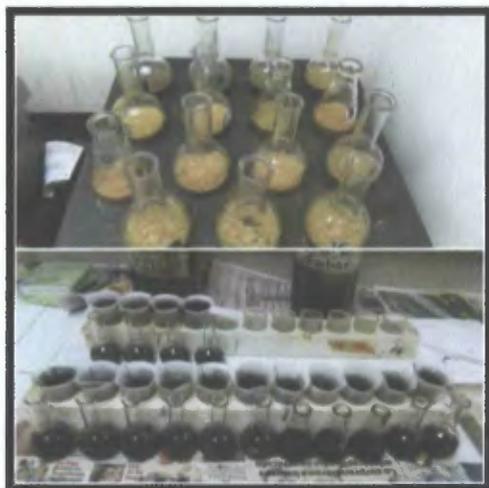
#### **5 4 Mineralizacion del tejido vegetal por via humeda**

Del producto de la molienda se tomaron 0 50 g de tejido vegetal se colocaron en un vaso volumetrico de 50 ml se le agregaron 10 – 15 perlas de ebullicion y 15 ml de solución A y se colocan en una plancha caliente a 150 °C hasta que se torno pardo oscuro luego se le agrego 5 ml de solución B y se colocó en la plancha caliente hasta que se volvió pardo oscuro luego se aforo a 50 ml con agua destilada si la muestra está muy oscura se le agrega carbon activo se agita y se procede a filtrar para luego guardar en envases plásticos bajo refrigeracion, siguiendo la metodologia del laboratorio de suelos y agua del IDIAP (Villarreal et al 2015)

#### **Soluciones utilizadas**

**Solución “A”** mezcla de metanol 99% + ácido sulfurico ( $H_2SO_4$ ) 98% + peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) 30%

**Solución “B”** mezcla de metanol 99% + peróxido de hidrogeno al 30%



**Figura 22.** Proceso de mineralización húmeda, Laboratorio de Suelos y Agua IDIAP (2017).

#### **5.5. Determinación de fósforo (P).**

Del extracto de la mineralización húmeda se extraen 5 ml y se le agregaron 25 ml de agua destilada ultra pura, de esta dilución se toma una alícuota de 2.5 ml y se le agregaron 14.5 ml de solución de color (molibdato de amonio), se esperaron 30 minutos y se determinó la transmitancia en un espectrofotómetro de luz visible a 680 nm.



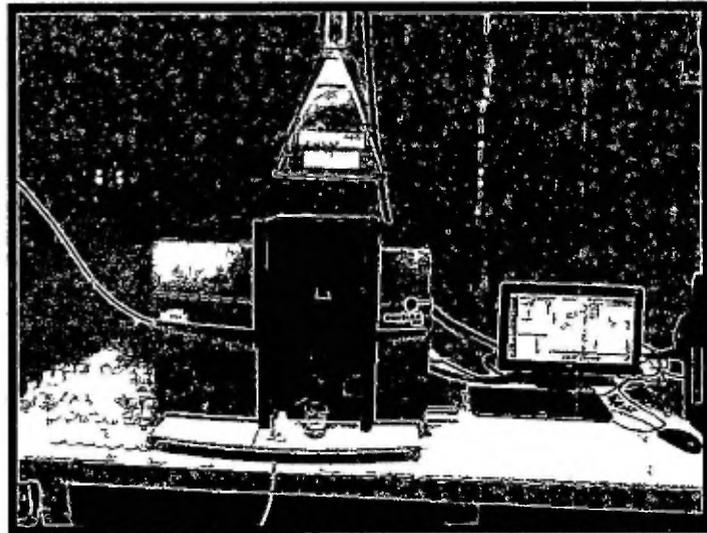
**Figura 23.** Determinación de fósforo, Laboratorio de Suelos y Agua IDIAP (2017).

## 5 6 Determinacion de K, Cu, Fe, Mn y Zn

En el extracto obtenido por mineralizacion humeda se leyo la concentracion directamente en un espectrofotometro de absorcion atomica de fuente continua

## 5 7 Determinacion de Ca y Mg

Se tomaron 2 ml del extracto obtenido por mineralizacion humeda y se le agregaron 10 ml de oxido de lantano ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ) al 1% + 8 ml de agua destilada y se leyo en un espectrofotometro de absorcion atomica de fuente continua



**Figura 24** Espectrofotometro de absorcion atomica de fuente continua lectura de macro y micro nutrimentos Laboratorio de Suelos y Agua IDIAP (2017)

### 5.8. Determinación de Nitrógeno (N).

Se determinó por el método de Kjeldahl utilizando un digestor y un destilador semiautomáticos computarizados, para luego realizar una titulación manual con ácido clorhídrico 0.2 N, para determinar el contenido de nitrógeno.



**Figura 25.** Proceso de destilado y titulación para determinar nitrógeno total, Laboratorio de Suelos y Agua IDIAP (2017).

## 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó una regresión potencial para cada nutrimento, en cada tipo de suelo y para cada variedad en estudio; para determinar la extracción en cada una de las etapas fenológicas del cultivo de tomate. También, se realizó un análisis de comparación de

medias para determinar la presencia de diferencias significativas entre los tratamientos para cada variedad

$$y = A * x^b$$

**Donde**

$y$  = absorción de nutrimento

$A$  = pendiente de la curva

$b$  = intercepto de la curva

$x$  = variable independiente (etapa de muestreo)

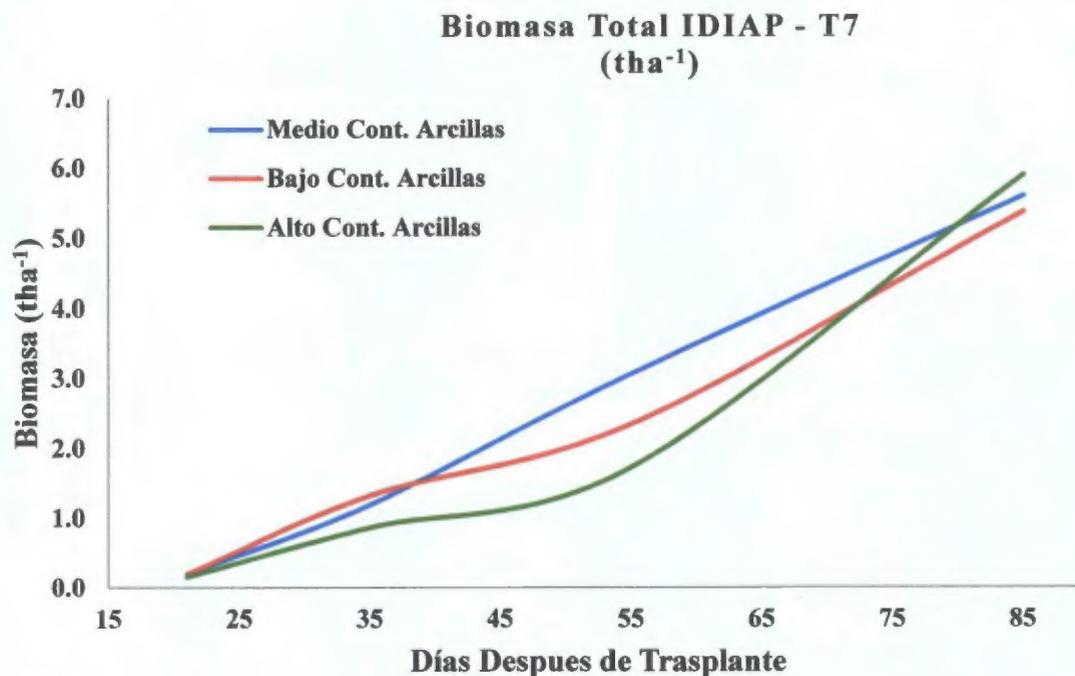
## 7 VARIABLE EN ESTUDIO

- Biomasa por hectarea
- Rendimiento por hectarea
- Extracción por hectarea de nutrimentos (N P K Ca, Mg, Mn Cu, Fe y Zn)

### III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE *IDIAP - T7* e *IDIAP - T8*

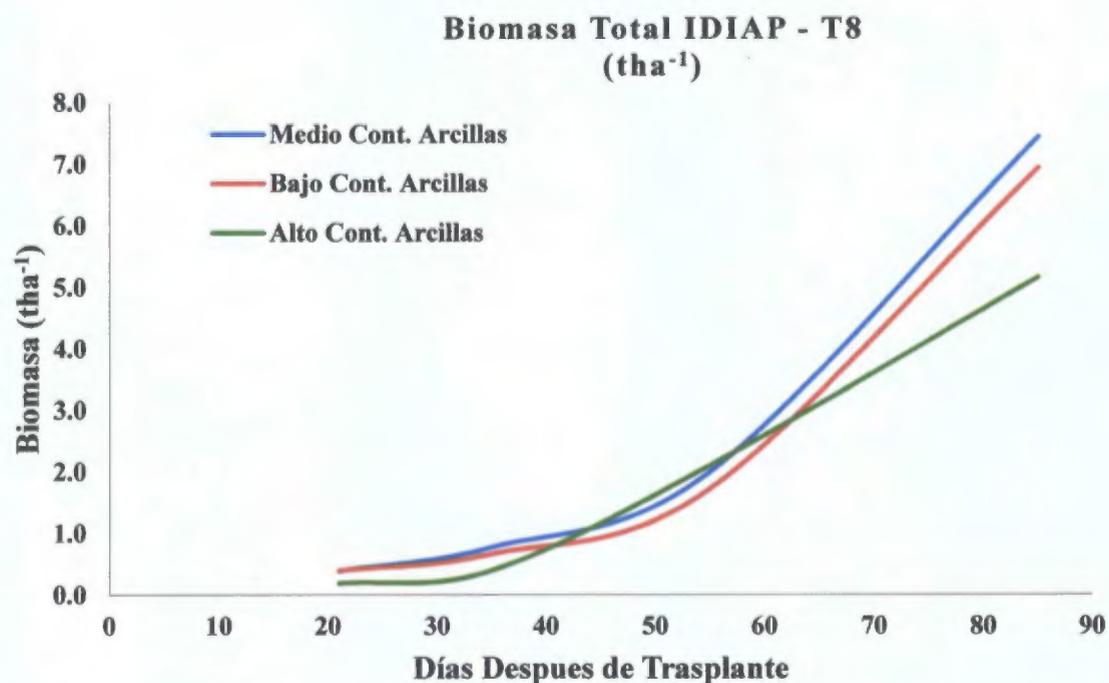
La producción de biomasa para la variedad *IDIAP - T7* presento un comportamiento similar hasta los 35 ddt en los tres tipos de suelo, desde este punto y hasta los 75 ddt se aprecia que las plantas cultivadas en un suelo con contenido medio de arcillas (FARA) posee la mayor producción de biomasa luego le siguen el suelo bajo en arcillas (FA) y por último el suelo más pesado (FAR) donde se puede apreciar una disminución en la producción de biomasa (Figura 26) Sin embargo, a los 85 ddt (época de cosecha) las plantas en los tres tipos de suelo no presentaron un declive en su crecimiento, esto hace referencia a su hábito de crecimiento que se ve detallado en las características de la variedad (Cuadro VIII) Sin embargo para este mismo tiempo en el ciclo de producción las plantas presentaban afectaciones fuertes de enfermedades fúngicas (*Alternaria solani*) que provocó grandes daños a la parcela



**Figura 26.** Producción de biomasa del *IDIAP – T7*, en los tres suelos bajo estudio.

Es conocido que entre más biomasa tiene una planta mayor es su capacidad fotosintética y con una mayor capacidad de producir su alimento, estas plantas están en capacidad de tener una mayor producción (Figura 27). Al momento de comenzar el llenado de fruto (55 ddt) las plantas cultivadas en el suelo con contenido medio de arcilla (FARA) tenían 718 kg de MS más que las plantas cultivadas en el suelo bajo en arcillas (FA) y produjo 1.6 toneladas más; y 1330 kg de MS más que las plantas cultivadas en el suelo con alto contenido de arcillas (FAR), lo cual generó una diferencia de 3.2 toneladas más de tomate.

Hacia el final del ciclo de producción las plantas cultivadas en el suelo alto en arcillas (FAR), presentaron un incremento en la producción de biomasa (Figura 26), sin embargo, este aumento no provocó un efecto relevante en la producción.

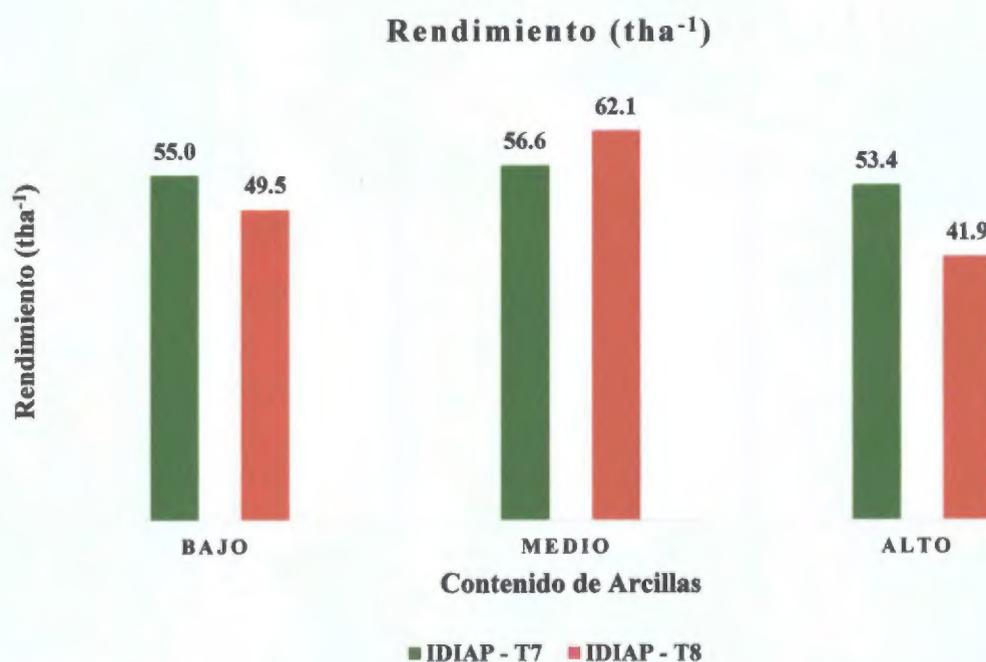


**Figura 27.** Producción de biomasa del IDIAP – T8 en los tres suelos bajo estudio.

Las plantas cultivadas en los tres tipos de suelo presentaron un comportamiento similar en la producción de biomasa hasta los 40 ddt (Figura 27), en este punto se presenta un incremento en las plantas cultivadas en suelo alto en arcillas. Para los 60 ddt las plantas cultivadas en los suelos medio y bajo en contenido de arcillas presentaron un alto incremento en la producción de biomasa, mientras que las plantas cultivadas en suelo alto en arcillas mostraron una producción de biomasa muy inferior a las cultivadas en los otros suelos.

El suelo con contenido bajo de arcillas produjo 6.9 tha<sup>-1</sup> MS, esto se tradujo en un rendimiento de 49.5 tha<sup>-1</sup>, el suelo con contenido medio de arcillas produjo 7.4 tha<sup>-1</sup> MS y un rendimiento de 62.1 tha<sup>-1</sup>, mientras que el suelo alto en arcillas produjo 5.1 tha<sup>-1</sup> MS y un rendimiento de 41.9 tha<sup>-1</sup>.

Comparados con los rendimientos promedios de Panamá en los últimos cinco años, los obtenidos en esta investigación son excelentes (Figura 28); es importante mencionar que a estos cultivos se les proporcionó un manejo apropiado, siguiendo los planes de fertilización recomendados y el control de plagas y enfermedades.



**Figura 28.** Rendimiento (tha<sup>-1</sup>) de las variedades en estudio en los tres tipos de suelo.

Los resultados finales en cuanto al rendimiento de la variedad *IDIAP T7*, cultivada en estos tres tipos de suelo (alto, medio y bajo contenido de arcillas) se determinaron así: suelo con contenido medio de arcillas produjo 56.6 tha<sup>-1</sup>, seguido del suelo bajo en arcillas con 55 tha<sup>-1</sup> y por último el suelo alto en arcillas con 53.4 tha<sup>-1</sup> (Figura 28). Los tres rendimientos son excelentes si son comparados con los rendimientos promedio de Panamá en los últimos cinco años (Figura 8), tomando en consideración la producción de biomasa

al momento del llenado de fruto (55 ddt) se observa que el suelo con contenido medio de arcillas estaba en mejores condiciones para dar un mejor rendimiento

**Cuadro XI** Comparacion de medias del rendimiento de las variedades *IT-7* e *IT 8* en tres tipos de suelo

<b>Tratamientos (Cont de Arcillas)</b>	<b><i>IDIAP T7</i></b>	<b><i>IDIAP T8*</i></b>
<b>Bajo</b>	53 41 <sup>a</sup>	49 47 <sup>a</sup>
<b>Medio</b>	56 65 <sup>a</sup>	62 07 <sup>a</sup>
<b>Alto</b>	55 00 <sup>a</sup>	41 91 <sup>b</sup>
<b><i>CV (%)</i></b>	<i>14 65</i>	<i>19 80</i>

El Cuadro XI muestra la comparacion de medias de rendimientos de los tratamientos para ambas variedades con un nivel de significancia de 0 05, la variedad IDIAP T7 no muestra diferencia significativa entre los tratamientos y tiene un coeficiente de variacion de 14% Con relacion a la variedad IDIAP T8 no se presenta diferencia significativa entre los tratamientos 1 y 2 sin embargo si hay diferencia significativa entre estos y el tratamiento 3, el coeficiente de variación de este analisis fue de 19 8%

Para la epoca de llenado de fruto (55 ddt) las plantas de la variedad IDIAP T8 cultivadas en el suelo con contenido medio de arcillas produjeron 300 kg $ha^{-1}$  mas de biomasa que las cultivadas en el suelo bajo de arcillas esta diferencia se tradujo en 12 6  $tha^{-1}$  de produccion este mismo suelo produjo 100 kg $ha^{-1}$  menos de biomasa que el suelo alto en arcillas, sin embargo, en este caso el suelo alto en arcillas no transformó esta ventaja en produccion ya que produjo 20 2  $tha^{-1}$  menos que el suelo con medio contenido de arcillas

## 2 CURVAS DE ASBSORCIÓN DE NUTRIMENTOS

En el Cuadro XII se puede observar la extracción total de nutrimentos en kilogramos por hectarea de la variedad *IDIAP T7* en tres tipos de suelo. Las plantas cultivadas en el suelo con mayor contenido de arcillas presentaron la menor extracción para todos los nutrimentos en estudio. La extracción está relacionada con el contenido de arcillas de los diferentes suelos, se observó que hay una mayor extracción de potasio en las plantas cultivadas en los suelos con un contenido intermedio de arcillas.

El Cuadro XII incluye el coeficiente de variación para la absorción de nutrimentos en los tres tipos de suelos en estudio. Se encontró que hay diferencia significativa en la absorción de hierro para esta variedad, los tratamientos 1 y 3 son estadísticamente similares, sin embargo, el tratamiento 2 mostró un comportamiento diferente.

**Cuadro XII** Extracción total de nutrimentos para la variedad *IDIAP T7* según tipo de suelo

<i>VARIEDAD IDIAP T7</i>									
Cont de Arcillas	Extracción Total (kg ha <sup>-1</sup> )								
	Macronutrimento					Micronutrimento			
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe*	Zn	Cu
Bajo	183.9 <sup>a</sup>	21.1 <sup>a</sup>	218.7 <sup>a</sup>	50.1 <sup>a</sup>	20.1 <sup>a</sup>	2.55 <sup>a</sup>	0.93 <sup>b</sup>	0.69 <sup>a</sup>	0.023 <sup>a</sup>
Medio	165.3 <sup>a</sup>	18.9 <sup>a</sup>	234.4 <sup>a</sup>	43.2 <sup>a</sup>	21.0 <sup>a</sup>	2.39 <sup>a</sup>	1.77 <sup>a</sup>	0.86 <sup>a</sup>	0.044 <sup>a</sup>
Alto	168.7 <sup>a</sup>	21.2 <sup>a</sup>	205.4 <sup>a</sup>	42.0 <sup>a</sup>	26.4 <sup>a</sup>	1.74 <sup>a</sup>	0.99 <sup>b</sup>	0.65 <sup>a</sup>	0.041 <sup>a</sup>
<b>C V (%)</b>	20.6	29.1	23.2	43.6	21.5	45.7	27.5	45.7	45.3

\* diferencia significativa entre los tratamientos ns no hay diferencia significativa

El Cuadro XIII muestra la absorción de nutrientes de la variedad *IDIAP T8* en los tres suelos en estudio. Se encontraron diferencias significativas para K (tratamiento 2 presentó

diferencia significativa con los tratamientos 1 y 3) Mn (tratamiento 3 presento diferencia significativa con los tratamientos 1 y 2) y Cu (tratamiento 2 presento diferencia significativa con los tratamientos 1 y 3), en los otros nutrimentos no se encontro diferencia

Para los macronutrimentos los valores obtenidos en este estudio para la variedad IDIAP T8 son similares a los encontrados por Cerdas (1988) para el rubro tomate Este autor encontro valores >300 kg $ha^{-1}$  para nitrógeno y potasio para el fosforo reporto valores no mayores de 60 kg $ha^{-1}$ , sin embargo no hay referencias que profundicen en la absorcion de calcio magnesio y micronutrimentos, lo cual no permite tener puntos de comparacion para los mismos

**Cuadro XIII** Extraccion total de nutrimentos para la variedad IDIAP T8 segun tipo de suelo

<i><b>VARIEDAD IDIAP T8</b></i>									
<b>Cont de Arcillas</b>	<b>Extraccion Total (kg<math>ha^{-1}</math>)</b>								
	<b>Macronutrimento</b>					<b>Micronutrimento</b>			
	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K*</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn*</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu*</b>
<b>Bajo</b>	259 2 <sup>a</sup>	19 7 <sup>a</sup>	198 1 <sup>b</sup>	20 3 <sup>a</sup>	11 6 <sup>a</sup>	0 44 <sup>a</sup>	1 51 <sup>a</sup>	0 68 <sup>a</sup>	0 063 <sup>b</sup>
<b>Medio</b>	249 3 <sup>a</sup>	24 9 <sup>a</sup>	316 9 <sup>a</sup>	28 1 <sup>a</sup>	11 0 <sup>a</sup>	0 51 <sup>a</sup>	1 69 <sup>a</sup>	0 96 <sup>a</sup>	0 116 <sup>a</sup>
<b>Alto</b>	185 5 <sup>a</sup>	18 6 <sup>a</sup>	144 1 <sup>b</sup>	18 2 <sup>a</sup>	17 5 <sup>a</sup>	0 21 <sup>b</sup>	1 78 <sup>a</sup>	0 75 <sup>a</sup>	0 055 <sup>b</sup>
<b>C V (%)</b>	27 1	21 1	23 4	49 3	37 0	21 7	11 4	47 9	29 6

\* *diferencia significativa entre los tratamientos ns no hay diferencia significativa*

Tomando como base los datos de extraccion total (kg $ha^{-1}$ ) y el rendimiento (tha<sup>-1</sup>) se calculo la extraccion de cada nutrimento con respecto al rendimiento en un suelo determinado, dando como resultado la extraccion en kilogramos por tonelada producida (Cuadro XIV)

La extraccion total (kg $t^{-1}$ ) es una representacion que nos permite determinar que cantidad de un determinado nutrimento se requiere para la produccion de una tonelada de

tomate Los valores obtenidos en esta investigación son consonos con los presentados por Bertsch (2009) donde presenta un cuadro donde resume la extracción ( $\text{kg t}^{-1}$ ) de cosecha reportada en investigaciones de varios autores desde finales de la década de 1970 principalmente en macronutrientes

**Cuadro XIV** Extracción total de nutrimentos por tonelada de fruto producida para las variedades I-T7 e I T8 según tipo de suelo

<i><b>VARIEDAD IDIAP T7</b></i>									
<b>Producción (<math>\text{tha}^{-1}</math>)</b>	<b>Extracción Total (<math>\text{kg t}^{-1}</math>)</b>								
	<b>Macronutriente</b>					<b>Micronutriente</b>			
	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>
Bajo (55.0)	3.34	0.38	3.98	0.91	0.37	0.046	0.017	0.013	0.00042
Medio (56.6)	2.92	0.33	4.14	0.76	0.37	0.042	0.031	0.015	0.00078
Alto (53.4)	3.16	0.40	3.85	0.79	0.49	0.033	0.019	0.012	0.00077
<i><b>VARIEDAD IDIAP T8</b></i>									
Bajo (49.5)	5.24	0.40	4.00	0.41	0.23	0.009	0.031	0.014	0.0013
Medio (62.1)	5.04	0.40	5.10	0.45	0.18	0.008	0.027	0.015	0.0018
Alto (41.9)	3.75	0.44	3.44	0.43	0.42	0.005	0.042	0.018	0.0013

El Cuadro XV presenta la concentración de nutrimentos presente en los tejidos de la planta de tomate y en sus frutos para las dos variedades que se estudiaron en los tres suelos seleccionados. Estos valores son similares a los reportados por Bertsch (2009) en su trabajo sobre la absorción de nutrimentos por los cultivos de importancia económica.

**Cuadro XV** Concentracion de nutrimentos y rangos de referencia para el cultivo de tomate

Variedad	Tipo de Suelo	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
		%						mgkg <sup>-1</sup>		
IT-7	Bajo	3.4	0.4	4.1	0.9	0.2	480	170	130	4
	Medio	3.0	0.3	4.2	0.8	0.2	427	320	153	7
	Alto	3.4	0.4	4.2	0.9	0.4	360	200	130	10
IT-8	Bajo	3.7	0.3	2.9	0.3	0.3	64	220	99	9
	Medio	3.4	0.3	4.3	0.4	0.3	70	230	130	15
	Alto	3.6	0.4	2.8	0.4	0.5	40	350	150	10
<b>Nivel critico</b>		<2.5	<0.2	<1.05	<0.8	<0.25	<40	<40	<20	<3
<b>Suficiencia</b>		4.6	0.25-0.75	2.9-5	1.3	0.4-0.6	40-250	40-200	20-50	5-20
<b>Toxicidad</b>		n/t	n/t	n/t	n/t	n/t	>250	>200	>50	>20

Niveles Adaptados de Molina (2016)

Se puede ver que los valores para N P K están dentro de los niveles de suficiencias propuestos por Molina (2016). En el caso del Ca y Mg para la variedad IT-7 las concentraciones están por encima del nivel crítico sin llegar a los niveles de suficiencia. La variedad IT-8 en cuanto a calcio se encuentra por debajo del nivel crítico y el magnesio se encuentra apenas sobre este nivel (Cuadro XV).

En lo referente a los micronutrientes a excepción del cobre, todos están sobre los niveles considerados máximos. Sin embargo, durante el desarrollo del cultivo no se observaron síntomas de toxicidad y la producción no sufrió merma, esto nos indica que posiblemente estas variedades poseen tolerancia a niveles elevados de microelementos (Figura 28).

El Cuadro XVI reúne las ecuaciones de regresión potencial, modelo que mejor explica la extracción de nutrimentos en una etapa fenológica determinada para cada uno de los nutrimentos en estudio y tipo de suelo en la variedad *IDIAP – T7*. Además, presenta el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), que indica cuánto de la variabilidad de los datos de absorción de nutrimentos con respecto a las fases fenológicas del cultivo es explicada por

la ecuacion Se puede decir que valores altos de este coeficiente les confieren mayor valor a las ecuaciones generadas por el modelo de regresion utilizado Las ecuaciones son la herramienta que va a permitir estimar la absorción de un nutrimento determinado en un momento especifico del ciclo de cultivos Para esta variedad se presentan valores de ajuste del modelo que van desde 70% en hierro en suelo bajo en arcillas hasta 93 % en potasio en suelo alto en arcilla

**Cuadro XVI** Resumen de las ecuaciones de regresion y coeficiente  $R^2$  para cada tipo de suelo

<b>VARIEDAD IDIAP T7</b>			
<b>NUTRIMENTO</b>	<b>CONTENIDO DE ARCILLA</b>		
	<b>BAJO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>ALTO</b>
<b>Nitrogeno (N)</b>	$y = 0.0241x^{2.04}$ $R^2 = 0.87$	$y = 0.0203x^{2.08}$ $R^2 = 0.88$	$y = 0.0109x^{2.17}$ $R^2 = 0.93$
<b>Fósforo (P)</b>	$y = 0.0039x^{1.96}$ $R^2 = 0.85$	$y = 0.0032x^{1.97}$ $R^2 = 0.90$	$y = 0.0013x^{2.17}$ $R^2 = 0.93$
<b>Potasio (K)</b>	$y = 0.0152x^{2.19}$ $R^2 = 0.88$	$y = 0.0177x^{2.18}$ $R^2 = 0.93$	$y = 0.0074x^{2.27}$ $R^2 = 0.94$
<b>Calcio (Ca)</b>	$y = 0.0035x^{2.11}$ $R^2 = 0.77$	$y = 0.0017x^{2.25}$ $R^2 = 0.94$	$y = 0.0022x^{2.16}$ $R^2 = 0.89$
<b>Magnesio (Mg)</b>	$y = 0.0277x^{1.41}$ $R^2 = 0.89$	$y = 0.0181x^{1.16}$ $R^2 = 0.90$	$y = 0.0031x^{1.96}$ $R^2 = 0.85$
<b>Manganeso (Mn)</b>	$y = 3E-07x^{3.59}$ $R^2 = 0.94$	$y = 2E-06x^{3.18}$ $R^2 = 0.91$	$y = 3E-07x^{3.52}$ $R^2 = 0.95$
<b>Hierro (Fe)</b>	$y = 0.0006x^{1.68}$ $R^2 = 0.71$	$y = 0.0014x^{1.66}$ $R^2 = 0.74$	$y = 0.0009x^{1.63}$ $R^2 = 0.73$
<b>Zinc (Zn)</b>	$y = 7E-06x^{2.65}$ $R^2 = 0.88$	$y = 6E-06x^{2.76}$ $R^2 = 0.89$	$y = 4E-06x^{2.70}$ $R^2 = 0.95$
<b>Cobre (Cu)</b>	$y = 8E-07x^{2.34}$ $R^2 = 0.83$	$y = 2E-06x^{2.23}$ $R^2 = 0.88$	$y = 3E-06x^{2.16}$ $R^2 = 0.81$

El Cuadro XVII resume las ecuaciones de regresión generadas por el modelo para los datos de absorción obtenidos para la variedad *IDIAP T8*. Para esta variedad los coeficientes de determinación van desde 66% para el cobre en suelo con bajo contenido de arcillas hasta 96% para el fósforo en suelo con alto contenido de arcillas.

**Cuadro XVII** Resumen de las ecuaciones de regresión y del coeficiente  $R^2$  para la variedad *IDIAP T8*

<b>VARIEDAD IDIAP T8</b>			
<b>NUTRIMENTO</b>	<b>CONTENIDO DE ARCILLA</b>		
	<b>BAJO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>ALTO</b>
<b>Nitrógeno (N)</b>	$y = 0.006x^{2.34}$ $R^2 = 0.92$	$y = 0.011x^{2.18}$ $R^2 = 0.90$	$y = 0.0036x^{2.39}$ $R^2 = 0.92$
<b>Fósforo (P)</b>	$y = 0.0146x^{1.56}$ $R^2 = 0.80$	$y = 0.0116x^{1.67}$ $R^2 = 0.91$	$y = 0.0012x^{2.18}$ $R^2 = 0.97$
<b>Potasio (K)</b>	$y = 0.01172x^{1.58}$ $R^2 = 0.77$	$y = 0.0629x^{1.81}$ $R^2 = 0.81$	$y = 0.006x^{2.27}$ $R^2 = 0.96$
<b>Calcio (Ca)</b>	$y = 0.0132x^{1.58}$ $R^2 = 0.81$	$y = 0.01x^{1.75}$ $R^2 = 0.91$	$y = 0.0021x^{2.05}$ $R^2 = 0.91$
<b>Magnesio (Mg)</b>	$y = 0.0047x^{1.68}$ $R^2 = 0.85$	$y = 0.0035x^{1.75}$ $R^2 = 0.87$	$y = 0.0002x^{2.48}$ $R^2 = 0.94$
<b>Manganeso (Mn)</b>	$y = 2E-05x^{2.07}$ $R^2 = 0.72$	$y = 6E-05x^{1.88}$ $R^2 = 0.67$	$y = 3E-06x^{2.45}$ $R^2 = 0.91$
<b>Hierro (Fe)</b>	$y = 0.0034x^{1.32}$ $R^2 = 0.87$	$y = 0.0016x^{1.62}$ $R^2 = 0.86$	$y = 0.0017x^{1.56}$ $R^2 = 0.88$
<b>Zinc (Zn)</b>	$y = 6E-05x^{1.97}$ $R^2 = 0.74$	$y = 2E-05x^{2.39}$ $R^2 = 0.82$	$y = 4E-06x^{2.65}$ $R^2 = 0.86$
<b>Cobre (Cu)</b>	$y = 0.0002x^{1.26}$ $R^2 = 0.66$	$y = 4E-05x^{1.74}$ $R^2 = 0.83$	$y = 2E-05x^{1.85}$ $R^2 = 0.92$

Es importante mencionar que la ecuación de regresión potencial ( $y = a \cdot x^b$ ) es un método que se emplea para predecir el valor de la variable dependiente ( $y$ ) en función de valores dados a otra variable ( $x$ ). El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) refleja la bondad de ajuste de un modelo a la variable que pretende explicar; este valor oscila entre 0 – 1, cuanto más se aproxime a uno más confiabilidad tiene el modelo.

## **2.1 Curvas de absorción de nitrógeno para *IDIAP T7* e *IDIAP T8***

El nitrógeno es un nutrimento de gran importancia para el desarrollo apropiado de las plantas. Un buen manejo de este elemento puede optimizar los rendimientos y por ende la rentabilidad de cualquier explotación agrícola. La gestión del nitrógeno es compleja; una deficiencia de este elemento le producirá a la planta crecimiento detenido, reducción significativa de producción, el exceso de este puede dar como resultado plantas débiles, retraso en la producción, mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades (Smart Fertilizer Management 2017).

El nitrógeno en el suelo es muy móvil y presenta cambios rápidos y constantes, es por ello por lo que un análisis de nitrógeno en suelo solo es válido al momento de la toma de la muestra y no es una fuente de información fiable para la toma de decisiones. Por lo tanto, lo recomendable para tomar decisiones en cuanto a las aplicaciones de este nutrimento es en base a los rendimientos esperados y a los requerimientos del cultivo.

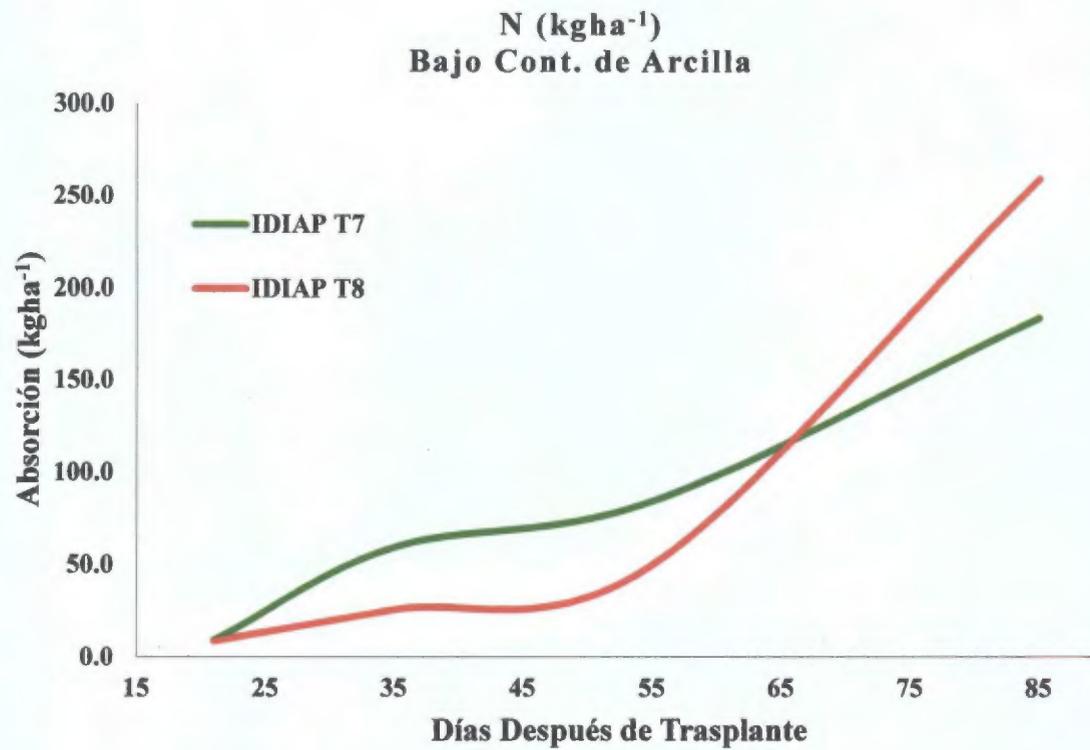
Dentro de la planta el destino de este nutrimento está dirigido en mayor medida hacia los tejidos verdes (tallos y hojas), luego hacia los frutos y en menor medida hacia las raíces. Esto se debe a que en los tejidos verdes este interviene en la formación de proteínas (masa vegetal) e interviene como fuente de reserva de las semillas y de energía al momento de la germinación. A parte de estas funciones, es importante en varios procesos enzimáticos como oxidasa, catalasa, deshidrogenasa, nucleoproteínas, entre otras (Nuez 1995).

**a) Suelo con bajo contenido de arcillas**

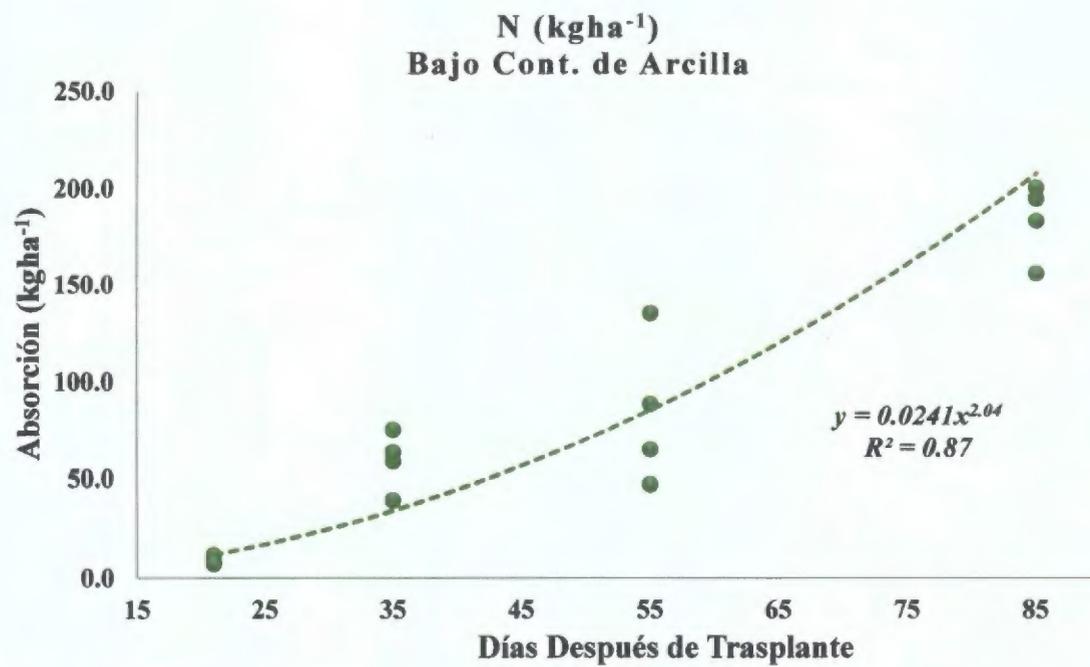
La Figura 29 muestra que la variedad *IDIAP T7* presenta un mayor consumo de nitrógeno en las tres primeras etapas fenológicas del cultivo, la curva para esta variedad es una curva de crecimiento lento pero sostenido. En el caso de la variedad *IDIAP T8* la curva casi parece estable desde la fase de desarrollo vegetativo hasta la etapa de producción; en esta etapa la variedad comenzó a incrementar su consumo de nitrógeno y llegó a superar a la variedad *IDIAP T7*.

La extracción de nitrógeno de la variedad *IDIAP T7* en este tipo de suelo se comportó de esta manera: 9.0 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de desarrollo vegetativo (21 ddt), 59.2 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de floración (35 ddt), 84.2 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de producción (55 ddt), 183.8 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de maduración (85 ddt). La extracción de nitrógeno por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 87% (Figura 30).

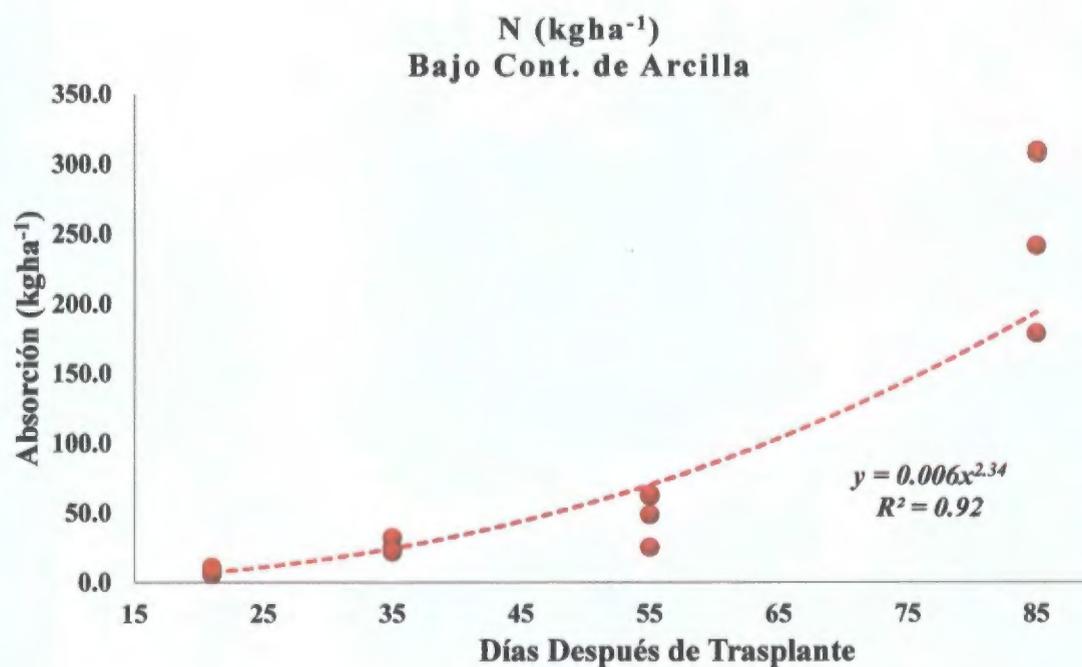
Para la variedad *IDIAP T8* la extracción de nitrógeno fue de 8.4 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de desarrollo vegetativo (21 ddt), 25.56 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de floración (35 ddt), 49.66 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de producción (55 ddt), 259.18 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de maduración (85 ddt). La extracción por etapa fenológica posee un coeficiente de determinación de 91% (Figura 31).



**Figura 29.** Curva de absorción de nitrógeno en suelo bajo en arcillas.



**Figura 30.** Regresión de la extracción total de nitrógeno para un suelo bajo en arcillas para la variedad IDIAP T7.



**Figura 31.** Regresión de la extracción total de nitrógeno para un suelo bajo en arcillas para la variedad IDIAP T8.

**b) Suelo con contenido medio de arcillas.**

La Figura 32 muestra el comportamiento de la absorción de nitrógeno en un suelo con contenido medio de arcillas para las dos variedades en estudio. En lo referente a la variedad *IDIAP T7*, esta curva presenta una absorción sostenida y creciente desde la etapa de desarrollo vegetativo hasta la etapa de maduración, el consumo de nitrógeno de esta variedad fue mayor que la del *IDIAP T8* durante las primeras tres etapas fenológicas en estudio; en el caso de la variedad *IDIAP T8*, el comportamiento de la curva muestra un consumo bajo casi estable hasta los 45 ddt, en este punto comienza a mostrar un mayor

consumo de nitrógeno pero solo hasta los 70 ddt esta variedad logra superar a la variedad *IDIAP T7*

La variedad *IDIAP T7* presentó una absorción de nitrógeno de la siguiente forma 8.6 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de desarrollo vegetativo (21 ddt), 55.2 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de floración (35 ddt), 106.3 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de producción (55 ddt), 165.4 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de maduración (85 ddt). En este tipo de suelo la extracción de nitrógeno por esta variedad presentó un coeficiente de determinación de 87% (Figura 33)

La variedad *IDIAP T8* presentó una absorción de nitrógeno durante su ciclo de vida de la siguiente manera 9.95 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de desarrollo vegetativo (21 ddt), 29.15 kg ha<sup>-1</sup> se absorbieron en la etapa de floración (35 ddt), 46.54 kg ha<sup>-1</sup> se absorbieron durante la etapa de producción (55 ddt) y 249.29 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de maduración (85 ddt). La extracción de nitrógeno de esta variedad para este tipo de suelo presentó un coeficiente de determinación de 90% (Figura 34)

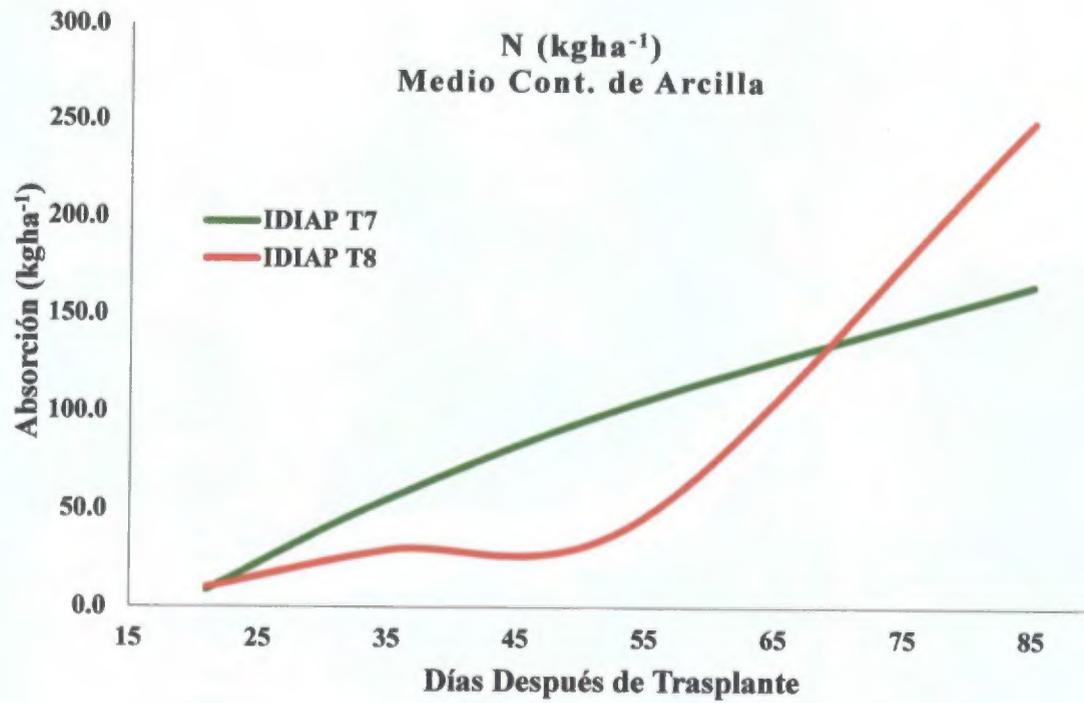


Figura 32. Curva de absorción de nitrógeno en suelo con contenido medio de arcillas.

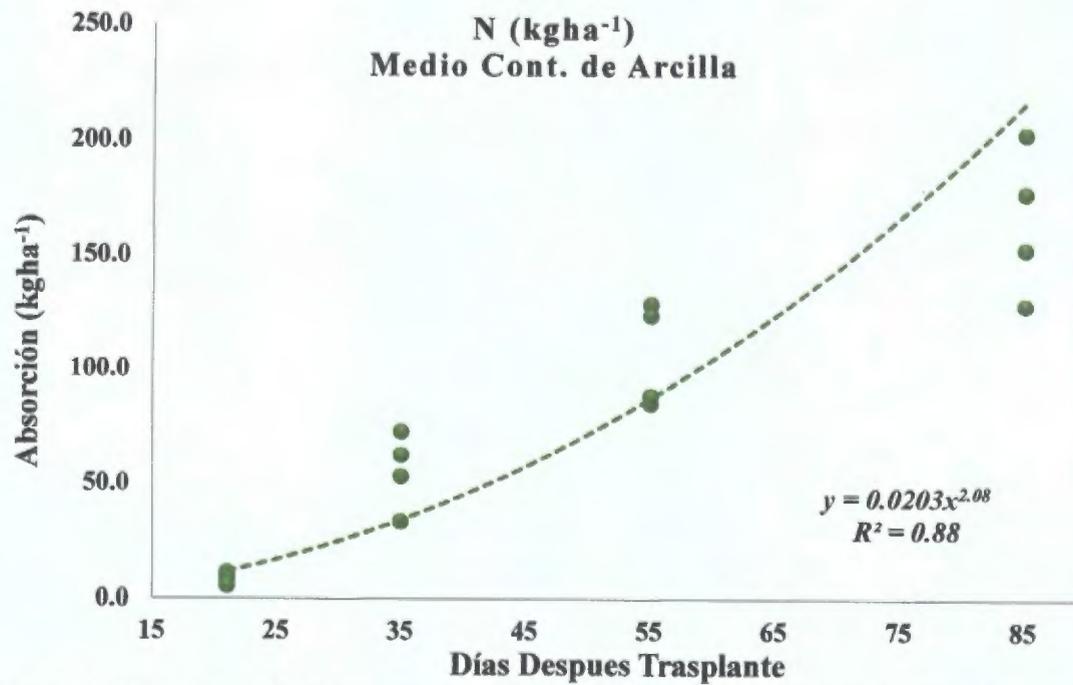
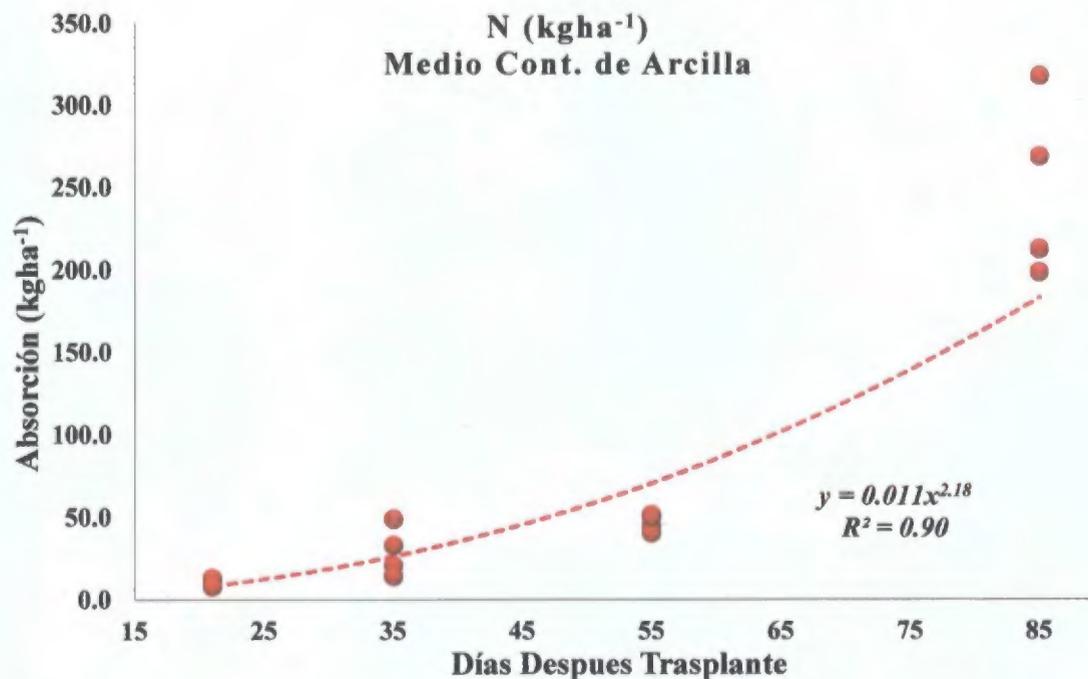


Figura 33. Regresión de la extracción total de nitrógeno en suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 34.** Regresión de la extracción total de nitrógeno en suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

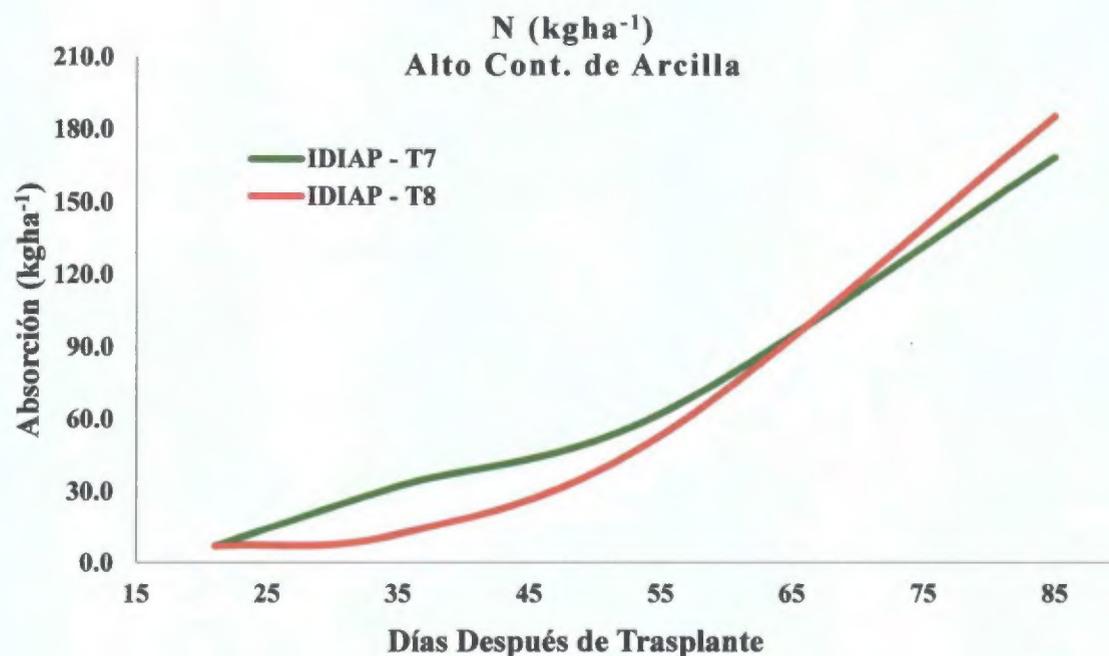
**c) Suelo alto en contenido de arcillas.**

La Figura 35, muestra el comportamiento de las curvas de absorción para las dos variedades en estudio. Para este tipo de suelo ambas variedades presentaron un comportamiento similar en la extracción de nitrógeno, la variedad *IDIAP T7* presentó un consumo apenas mayor que la variedad *IDIAP T8*, este comportamiento cambió a partir de los 65 ddt, donde el *IDIAP T8* comenzó a absorber más nitrógeno que el *IDIAP T7*.

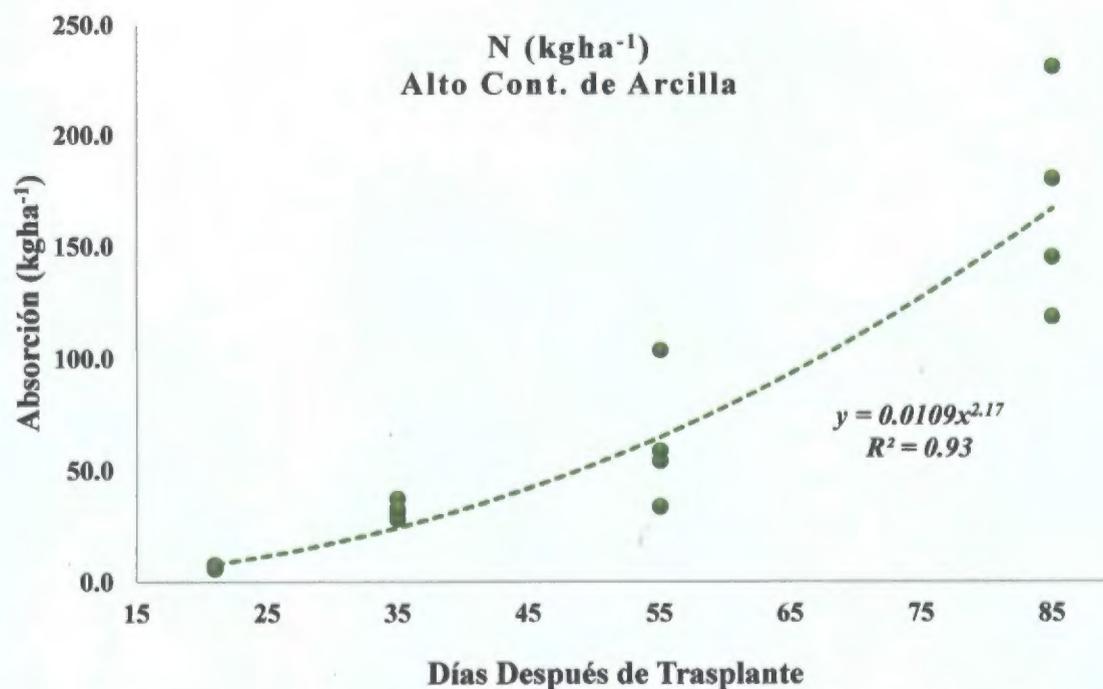
Para este tipo de suelo la variedad *IDIAP T7* presentó una extracción de nitrógeno de 7.0 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa vegetativa (21 ddt), 32.3 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt), 62.6 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción (55 ddt) y 168.7 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de maduración

(85 ddt). La extracción de nitrógeno por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 93% (Figura 36).

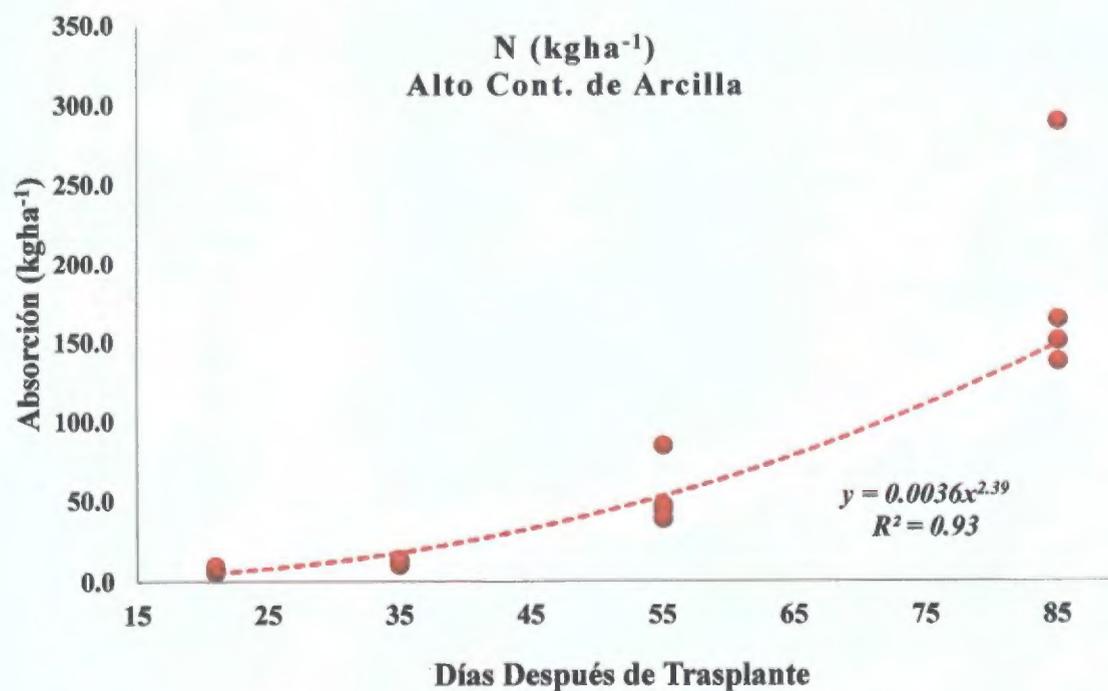
La variedad *IDIAP T8* en este tipo de suelo presentó una extracción de  $7.0 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo (21 ddt),  $12.0 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de floración (35 ddt),  $53.45 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de producción (55 ddt),  $185.7 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de maduración (85 ddt). La extracción de nitrógeno en este tipo de suelo presentó un coeficiente de determinación de 90% (Figura 37).



**Figura 35.** Curvas de absorción de nitrógeno para un suelo alto en arcillas.



**Figura 36.** Regresión de la extracción total de nitrógeno en suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 37.** Regresión de la extracción total de nitrógeno en suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

## **2.2 Curvas de absorción de fósforo para *IDIAP T7* e *IDIAP T8***

El fósforo es vital para el crecimiento y la salud de las plantas. Dentro de la planta este nutrimento básicamente es componente de las funciones estructurales de la planta, además de ser la fuente de energía para los procesos fisiológicos en forma de ADP y ATP, y participa en los procesos de síntesis y degradación de carbohidratos (Kass 2007).

La movilidad del fósforo en el suelo es muy limitada, es por ello por lo que las plantas se ven limitadas a absorber solo el que se encuentre próximo a sus raíces. La absorción de fósforo es un proceso dependiente del pH. Todos los suelos en Panamá son deficientes en fósforo; cuando la concentración de fósforo en el suelo es baja, la absorción se vuelve activa (contra el gradiente), este tipo de absorción es un proceso que demanda energía, así que los procesos que inhiben la actividad radicular (bajas temperaturas o exceso de agua) afectan la absorción de fósforo (Gordon 2016).

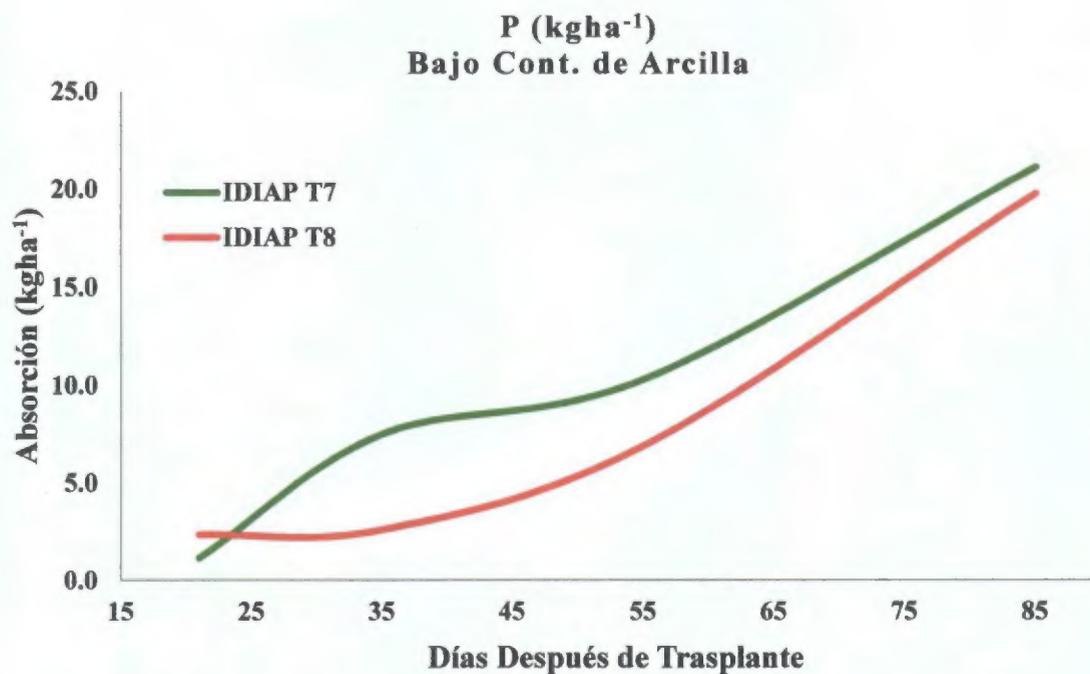
### **a) Suelo bajo en contenido de arcillas**

La Figura 38 muestra el comportamiento de la absorción de fósforo en un suelo con bajo contenido de arcillas por las variedades de tomate *IDIAP T7* e *IDIAP T8*. La curva muestra que para la etapa de desarrollo vegetativo la variedad *IDIAP T8* presenta una mayor extracción de este nutrimento; sin embargo, para las etapas siguientes (floración y

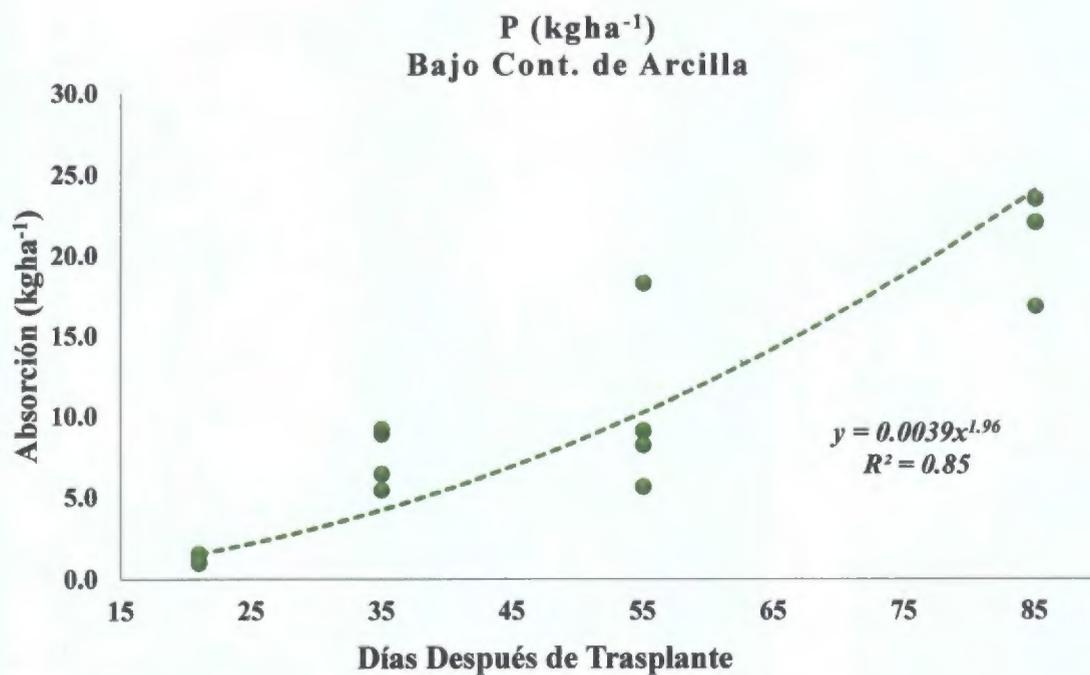
produccion) la variedad *IDIAP T7* tiene una mayor extraccion hacia los 65 ddt se presenta otro cambio en el cual la variedad *IDIAP T8* comienza a absorber mas fosforo que *IDIAP T7* esta ventaja la mantiene hasta el final del ciclo de cultivo

La extraccion de fosforo para este tipo de suelo por la variedad *IDIAP T7* se determino en 1 14 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenologica de desarrollo vegetativo (21 ddt) 7 48 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floracion (35 ddt), 10 3 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de produccion o llenado de fruto (55 ddt) y 21 1 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduracion (85 ddt) La extraccion de fosforo por etapa fenologica muestra un coeficiente de determinacion de 85% (Figura 39)

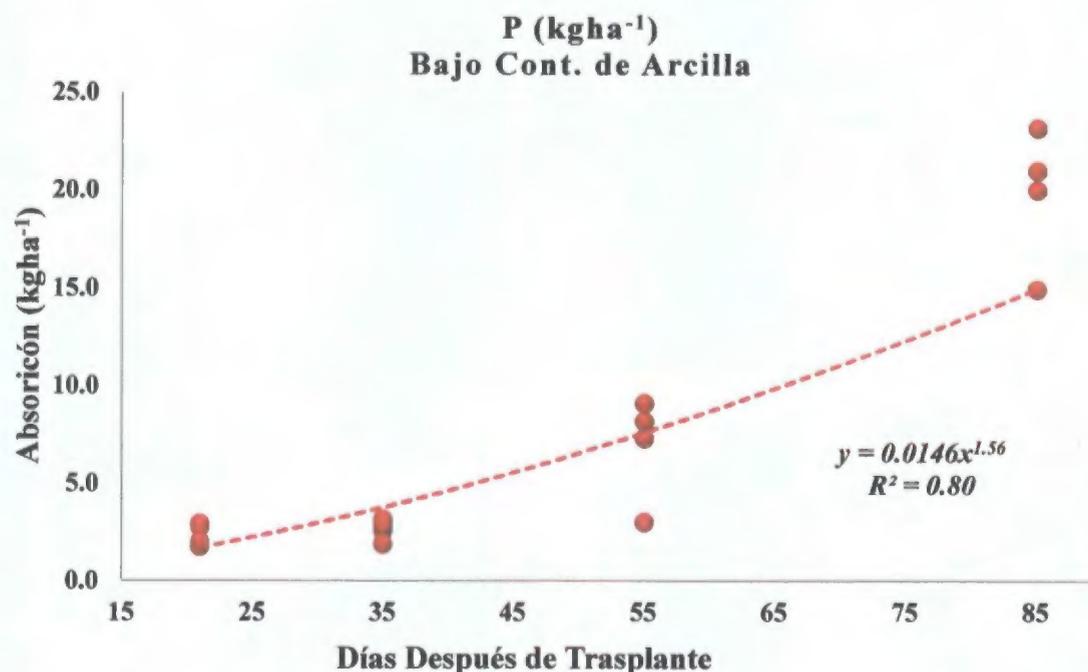
La variedad *IDIAP T8* presento una extraccion de fosforo por el orden de 2 34 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de desarrollo vegetativo (21 ddt) 2 59 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de floracion (35 ddt) 6 87 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de produccion (55 ddt) 19 77 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de maduracion (85 ddt) Para este tipo de suelo la extraccion de fósforo presento un coeficiente de diferenciacion de 80% (Figura 40)



**Figura 38.** Curva de absorción de fósforo para un suelo bajo en arcillas.



**Figura 39.** Regresión de la extracción total de fósforo en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



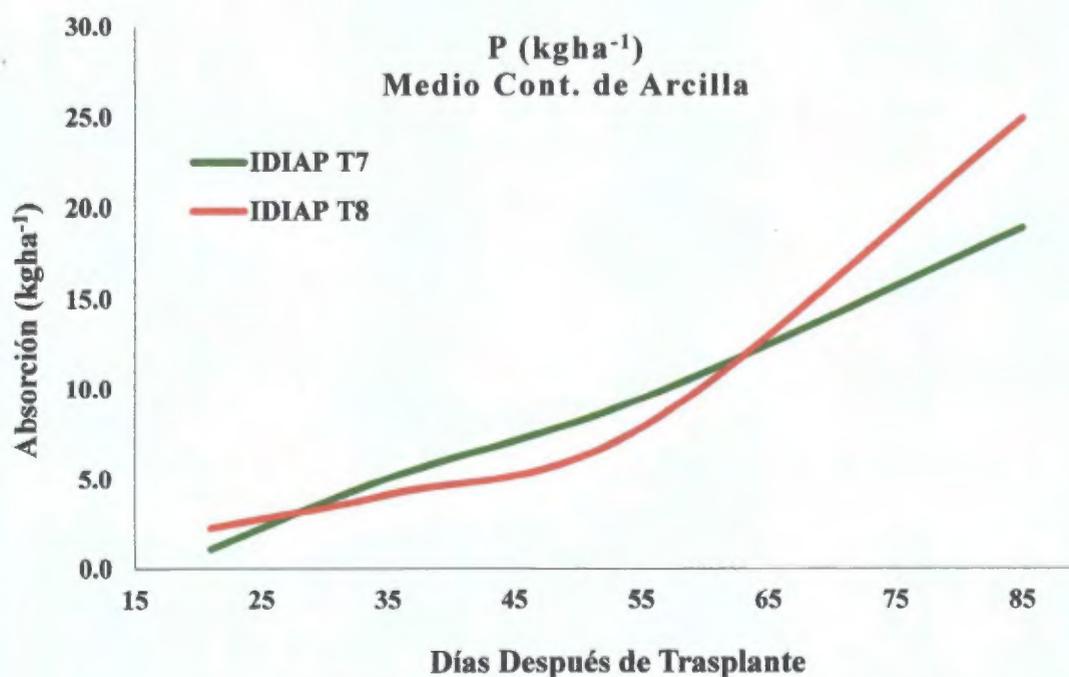
**Figura 40.** Regresión de la extracción total de fósforo en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

**b) Suelo con contenido medio de arcillas.**

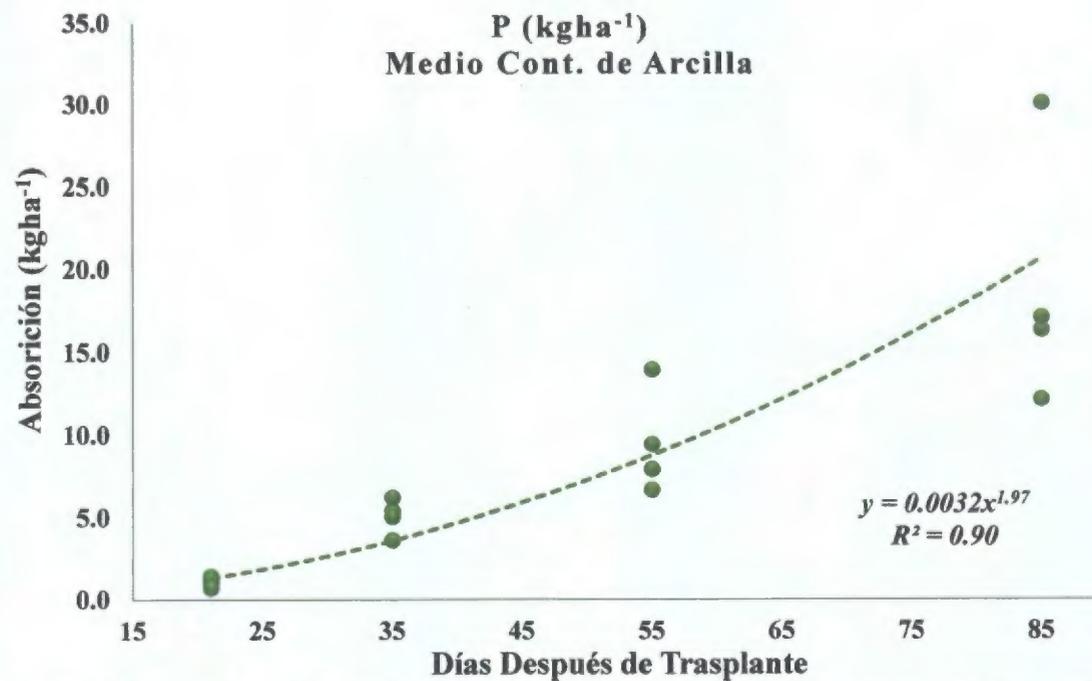
La Figura 41 presenta el comportamiento de la absorción de fósforo en un suelo con contenido medio de arcillas. La variedad *IDIAP T8*, presenta un comportamiento en la absorción que tiende a ser estable durante las tres primeras etapas fenológicas en estudio, pasados los 65 ddt ocurre un aumento acelerado en la absorción de este nutrimento. En cuanto a la variedad *IDIAP T7*, esta presenta una absorción constante y creciente desde la etapa de desarrollo vegetativo hasta la etapa de maduración; la absorción de esta variedad fue mayor hasta los 65 ddt cuando el consumo de fósforo de la variedad *IDIAP T8* sobrepasó al de *IDIAP T7*.

Para la variedad *IDIAP T7* se determinó la extracción de fósforo en un suelo de este tipo en 1.09  $\text{kg ha}^{-1}$  para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 5.05  $\text{kg ha}^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt), 9.48  $\text{kg ha}^{-1}$  para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 18.90  $\text{kg ha}^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de fósforo por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 90% (Figura 42).

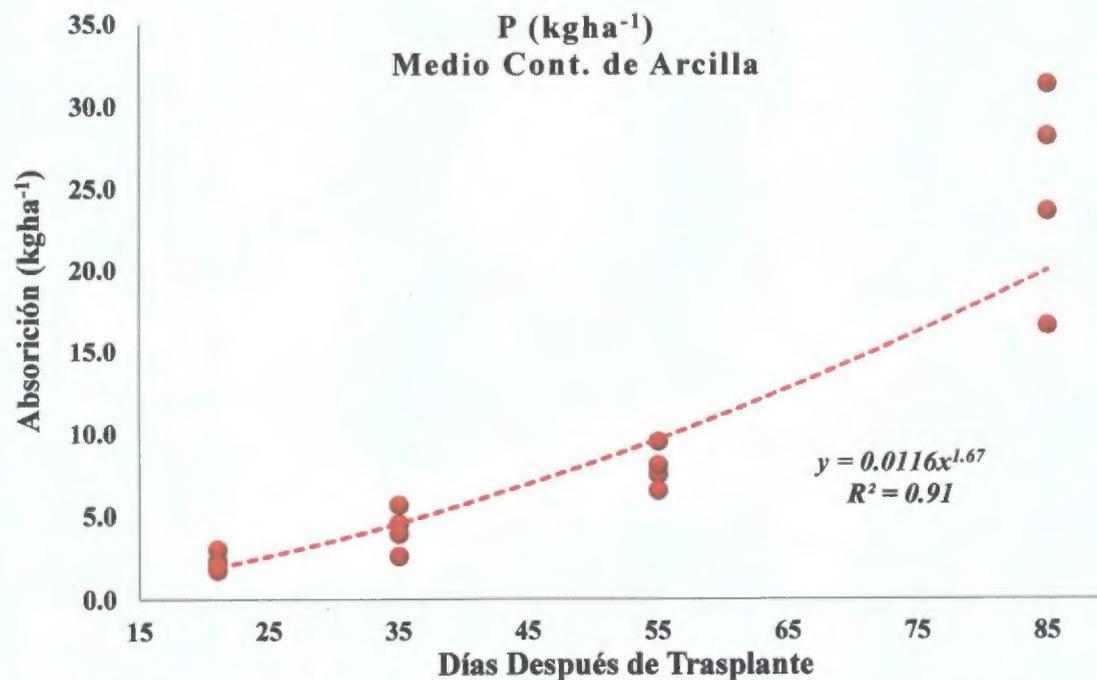
La variedad *IDIAP T8*, presento una extracción de fósforo en este tipo de suelo de 2.26  $\text{kg ha}^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo, 4.14  $\text{kg ha}^{-1}$  en la etapa de floración, 7.85  $\text{kg ha}^{-1}$  en la etapa de producción, 24.9  $\text{kg ha}^{-1}$  en la etapa de maduración. La extracción de fósforo por etapa fenológica mostró un coeficiente de determinación de 90% (Figura 43).



**Figura 41.** Curva de absorción de fósforo, suelo con contenido medio de arcillas.



**Figura 42.** Regresión de la extracción total de fósforo en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



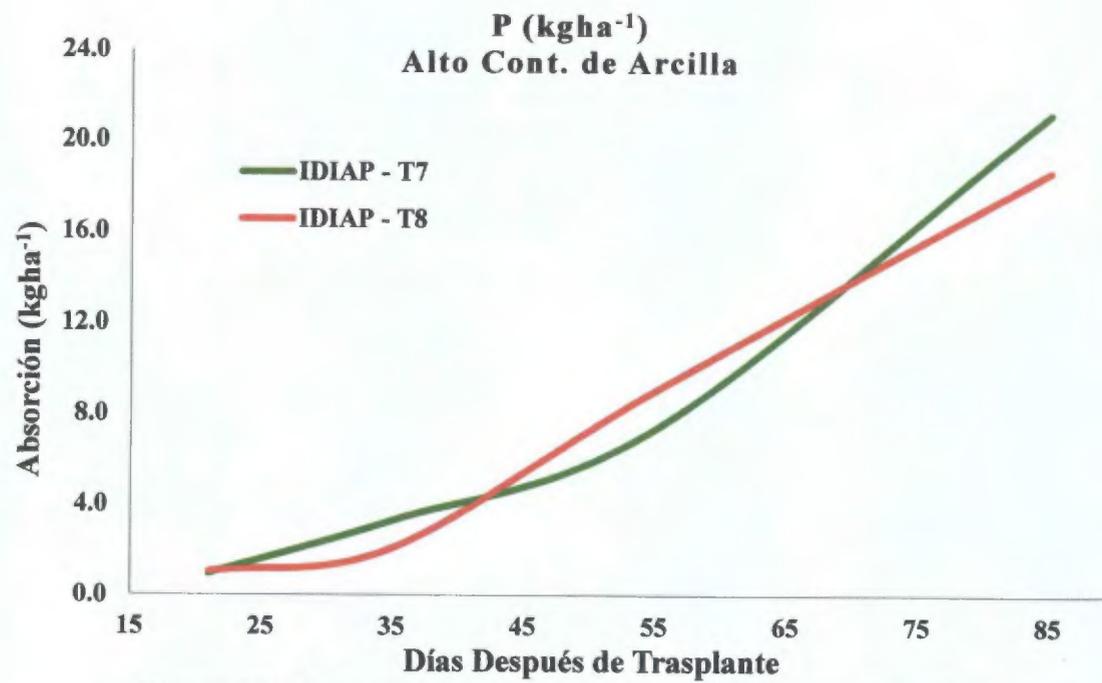
**Figura 43.** Regresión de la extracción total de fósforo en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

### c) Suelo con alto contenido de arcillas

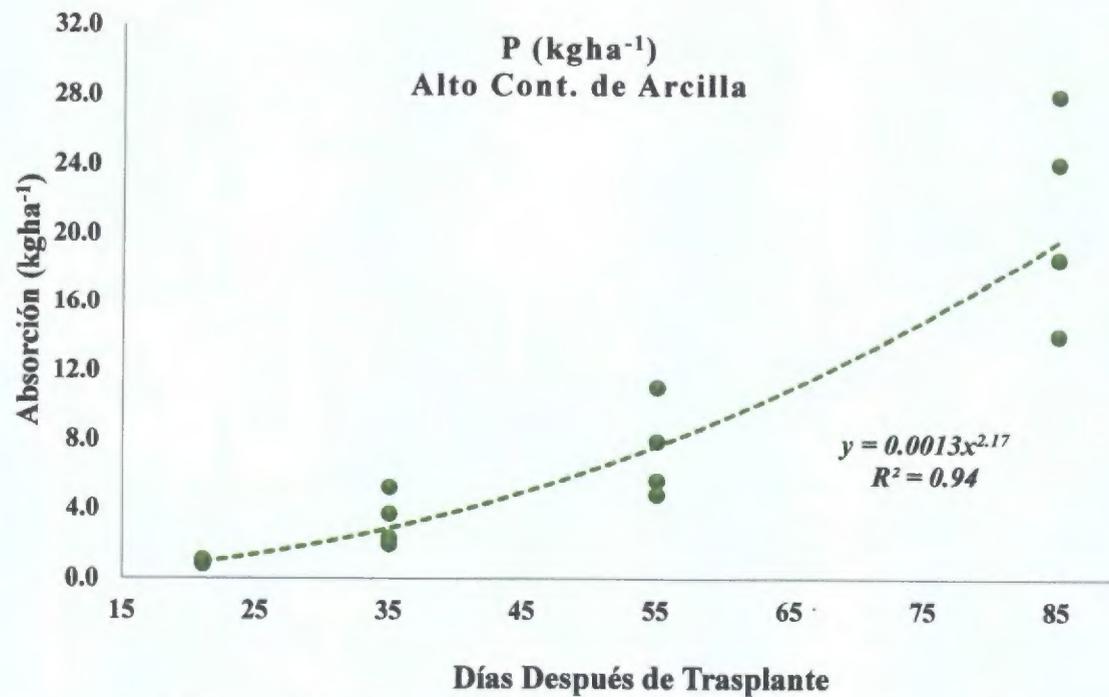
La Figura 44 presenta el comportamiento de las curvas de absorción de fósforo de las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en un suelo con alto contenido de arcillas. Ambas variedades presentaron una absorción constante de este nutriente durante las etapas fenológicas en estudio. La variedad *IDIAP T7* presentó un consumo ligeramente superior a la variedad *IDIAP T8* durante las tres primeras etapas fenológicas. A los 65 ddt la absorción de este nutriente por la variedad *IDIAP T8* superó a la absorción de la variedad *IDIAP T7*.

La extracción de fósforo para este tipo de suelo por la variedad *IDIAP T7* se determinó en 0,90 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 3,30 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt), 7,6 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 21,2 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de fósforo por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 90% (Figura 45).

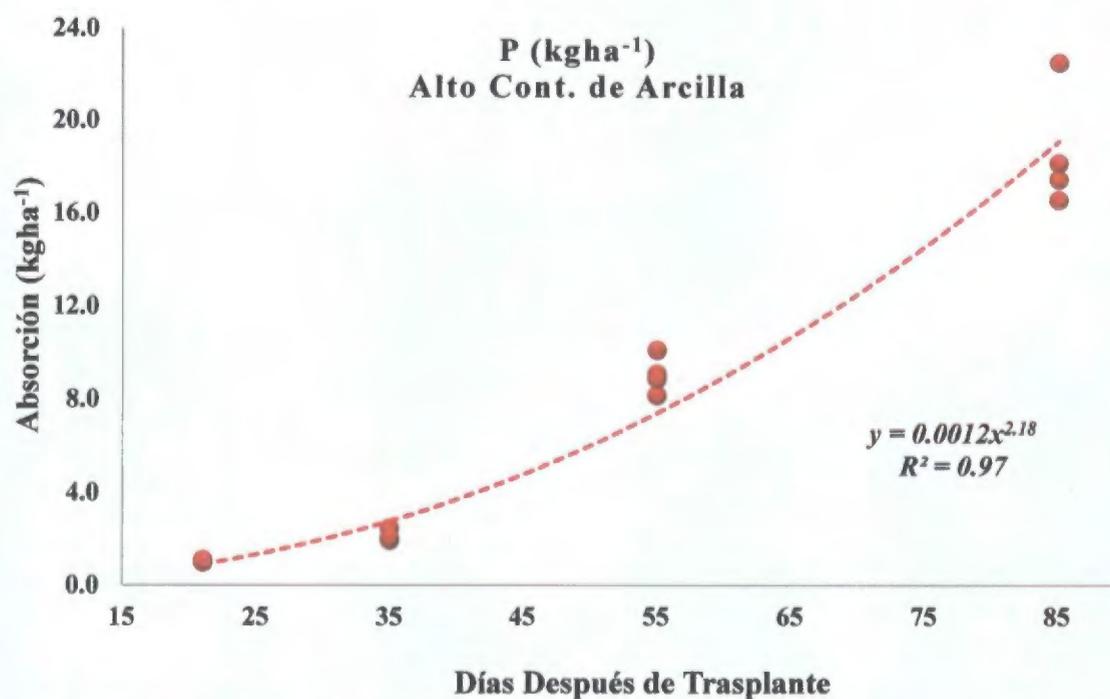
La variedad *IDIAP T8* presentó un consumo de 1,02 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de desarrollo vegetativo, 2,08 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de floración, 9,04 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de producción, 18,65 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de maduración. La extracción de fósforo de esta variedad por etapa fenológica presenta un coeficiente de determinación de 96% (Figura 46).



**Figura 44.** Curva de absorción de fósforo en suelo alto en arcillas.



**Figura 45.** Regresión de la extracción total de fósforo en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 46.** Regresión de la extracción total de fósforo en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

### 2.3. Curvas de absorción de potasio para *IDIAP T7* e *IDIAP T8*.

Según Sela (2017), el potasio es un nutriente esencial para las plantas y es requerido en grandes cantidades para su crecimiento y reproducción. En importancia se encuentra en segundo lugar luego del nitrógeno, es considerado el “nutriente de la calidad”, ya que influye en la forma, tamaño, color, y sabor de las plantas. Este nutriente juega un papel clave en los procesos de la fotosíntesis, es el activador de más de sesenta procesos enzimáticos, promueve la síntesis, translocación y almacenamiento de carbohidratos y

optimiza la hidratación de los tejidos vegetales en lo anterior radica la importancia de este nutrimento en la fertilización de los cultivos

Como ya se ha mencionado anteriormente este nutrimento es de gran movilidad dentro de la planta por lo que las deficiencias tienden a presentarse en forma de clorosis en las hojas viejas ya que las reservas de este nutrimento en estas se movilizan hacia las hojas jóvenes

#### **a) Suelo con bajo contenido de arcilla**

La Figura 47 muestra el comportamiento de las curvas de absorción de potasio en un suelo con bajo contenido de arcillas por las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8*. La variedad *IDIAP T7* presentó una absorción constante desde la etapa fenológica de desarrollo vegetativo hasta la etapa de maduración en lo referente a la variedad *IDIAP T8* esta presentó un consumo prácticamente estable de potasio hasta los 45 ddt donde comienza una absorción acelerada de potasio hasta el final del ciclo productivo. Cabe mencionar que el consumo de potasio en este suelo siempre fue menor en la variedad *IDIAP T8*.

La extracción de potasio para este tipo de suelo para la variedad *IDIAP T7* se determinó en 9 12 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt) 60 84 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt) 104 55 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 218 66 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de potasio por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 88% (Figura 48).

La variedad *IDIAP T8* presentó una absorción de 20.55 kg $ha^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo, 23.82 kg $ha^{-1}$  en la etapa de floración, 49.58 kg $ha^{-1}$  en la etapa de producción, 198.09 kg $ha^{-1}$  en la etapa de maduración. La extracción de este nutrimento por etapa fenológica presentó un coeficiente de determinación de 77% (Figura 49).

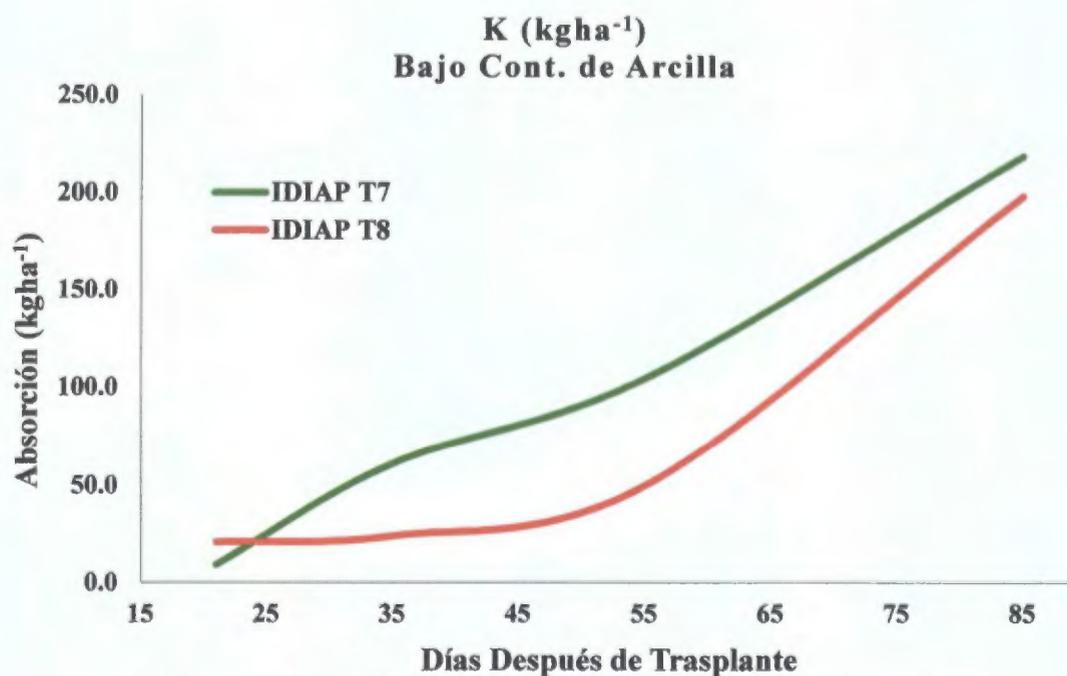
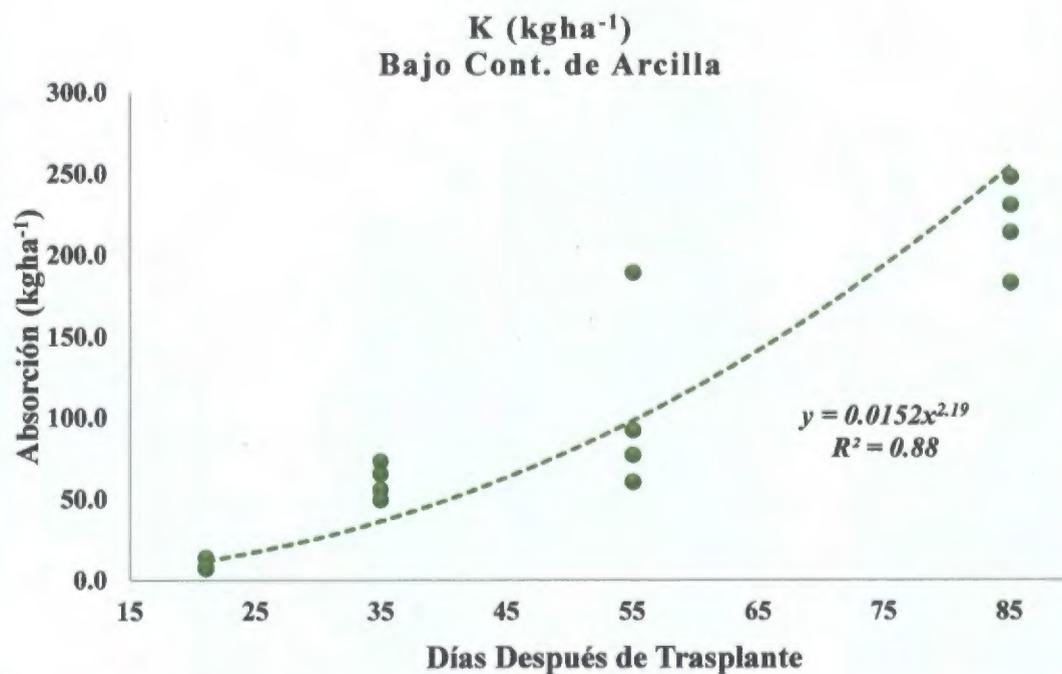
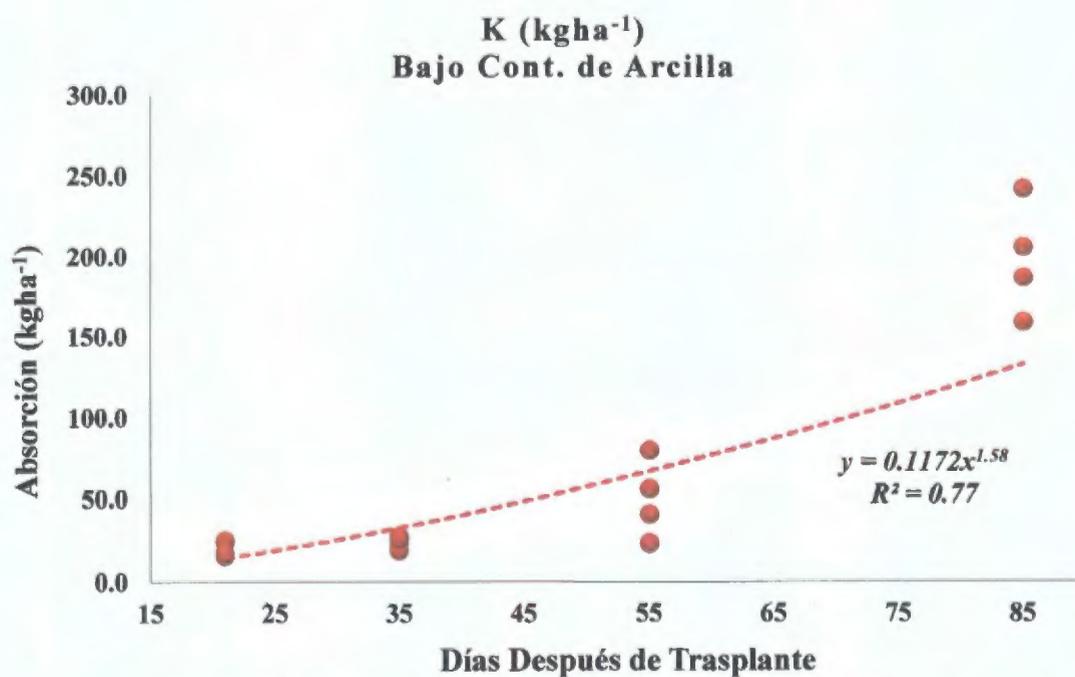


Figura 47. Curva de absorción de potasio en suelo bajo en arcillas.



**Figura 48.** Regresión de la extracción total de potasio en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 49.** Regresión de la extracción total de potasio en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

## **b) Suelo con contenido medio de arcillas**

La Figura 50 presenta las curvas de absorcion de potasio para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en un suelo con contenido medio de arcillas. La curva presenta que el *IDIAP T7* posee un consumo siempre en aumento durante todas sus etapas fenologicas en lo referente a la variedad *IDIAP T8* esta presenta un consumo bajo y estable durante los primeros 50 ddt momento en el cual comienza un alto consumo de potasio que superar al *IDIAP T7* aproximadamente a los 70 ddt

La extraccion de potasio en un suelo con este tipo de textura para la variedad *IDIAP T7* fue de 11 61 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenologica de desarrollo vegetativo (21 ddt) 48 55 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floracion (35 ddt) 143 26 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 234 44 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduracion (85 ddt). La extraccion de potasio por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinacion de 93% (Figura 51)

En el caso de la variedad *IDIAP T8* esta presento un consumo de 20 9 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de desarrollo vegetativo, 35 14 kg ha<sup>-1</sup> en la floracion 56 16 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de produccion 316 9 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de maduracion. La extraccion de potasio por etapa fenológica presenta un coeficiente de determinacion de 81% (Figura 52)

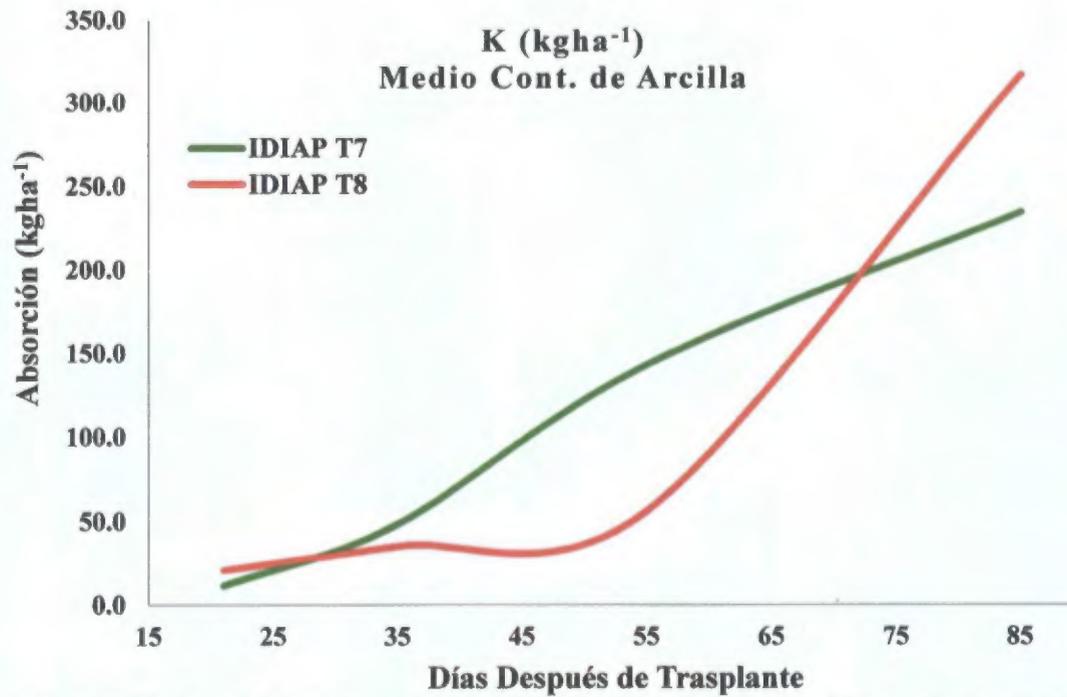


Figura 50. Curva de absorción de potasio en suelo con contenido medio de arcillas.

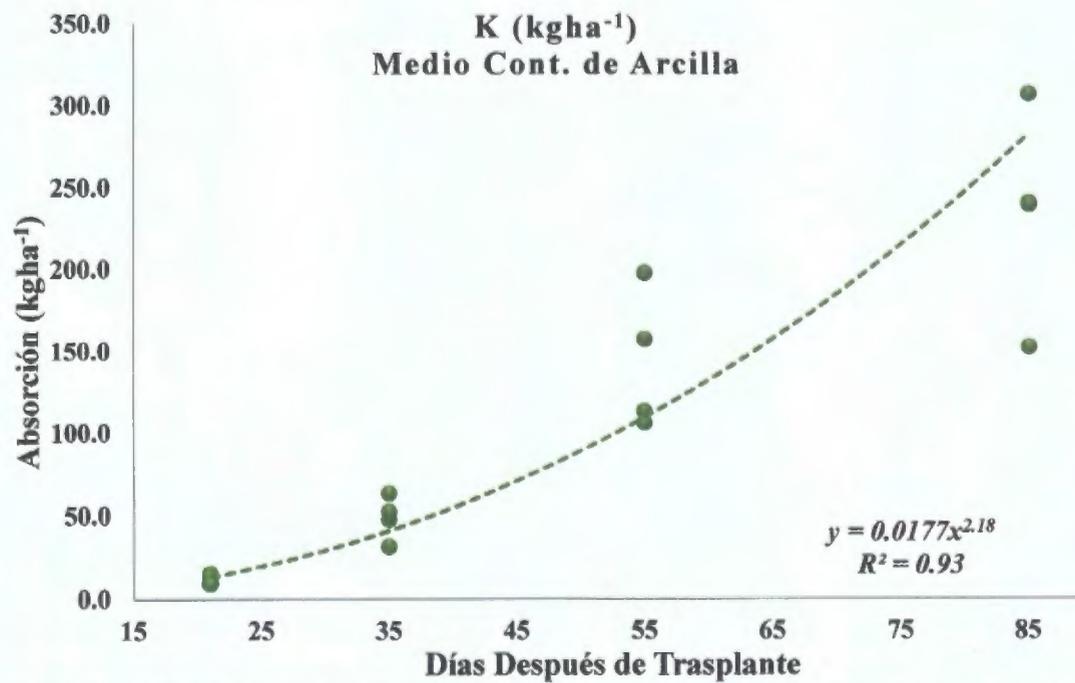
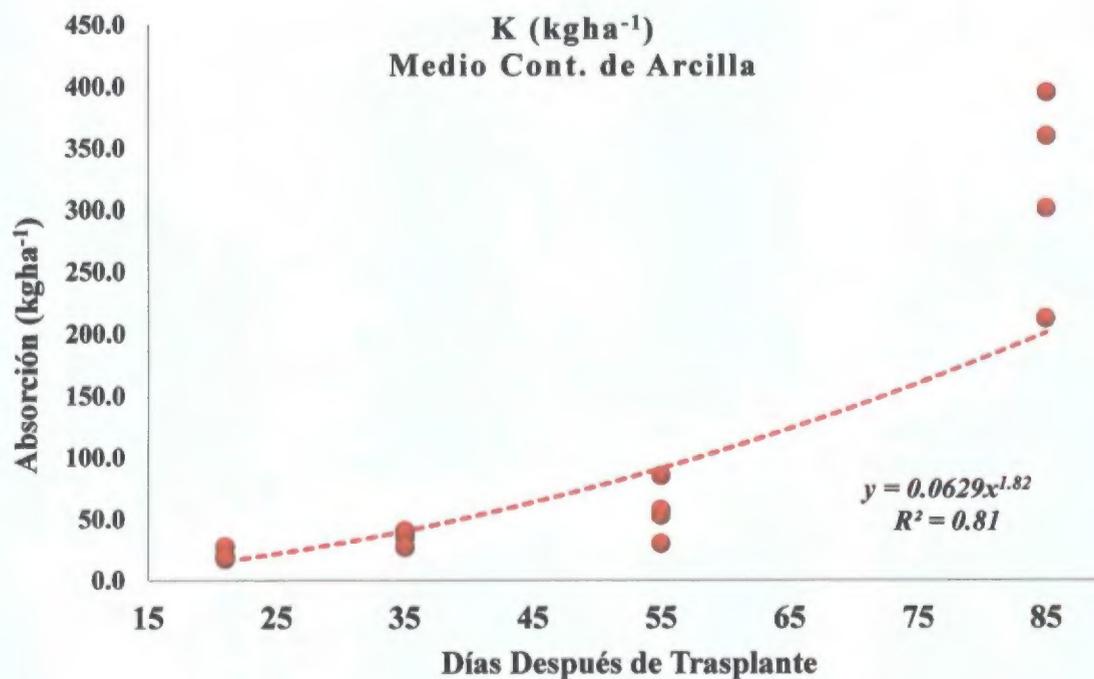


Figura 51. Regresión de la extracción total de potasio en suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 52.** Regresión de la extracción total de potasio en suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

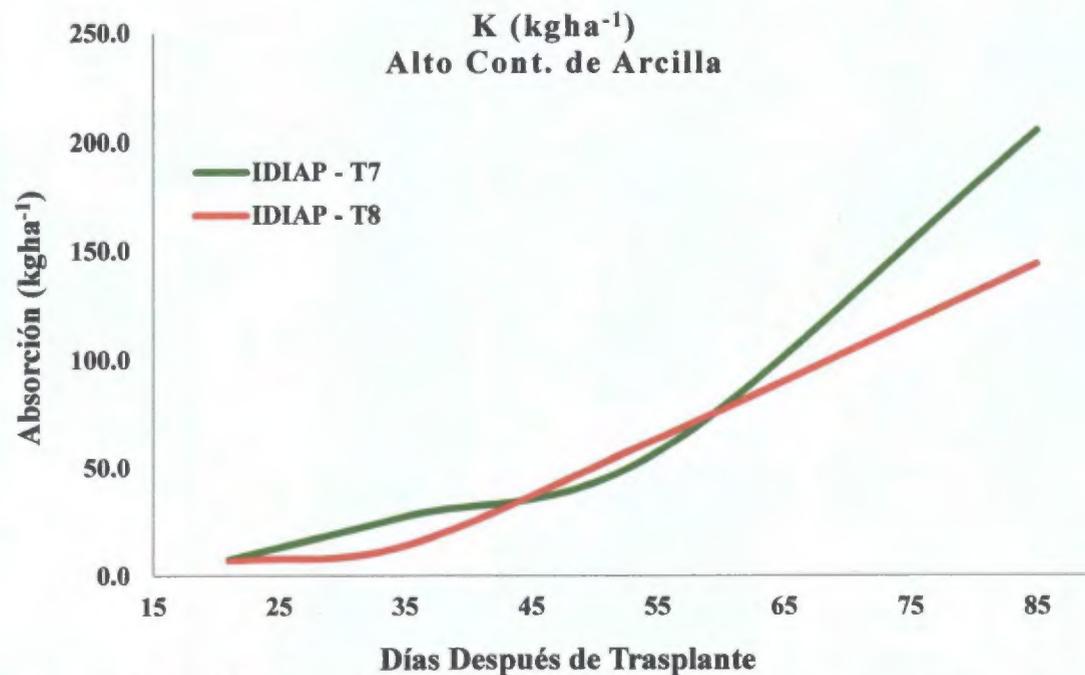
**c) Suelo con alto contenido de arcillas.**

La Figura 53 muestra el comportamiento de la absorción de potasio por las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en un suelo con alto contenido de arcillas. Ambas variedades presentaron un comportamiento similar en la absorción hasta los 60 ddt, momento en que la variedad *IDIAP T7* incrementó el consumo de este nutriente, mientras que el *IDIAP T8* mantuvo su comportamiento inicial.

La extracción de potasio en un suelo con este tipo de textura para la variedad *IDIAP T7* fue de 7.52 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 27.52

kg $ha^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt), 57.5 kg $ha^{-1}$  para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 205.45 kg $ha^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de potasio por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 93% (Figura 54).

Para la variedad *IDIAP T8* la extracción de potasio se presentó así, 7.03 kg $ha^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo, 14.02 kg $ha^{-1}$  en la etapa de floración, 63.76 kg $ha^{-1}$  en la etapa de producción, 144.07 kg $ha^{-1}$  en la etapa de maduración. La extracción de potasio por etapa fenológica para esta variedad presentó un coeficiente de determinación de 96% (Figura 55).



**Figura 53.** Curva de absorción de potasio en suelo alto en arcillas.

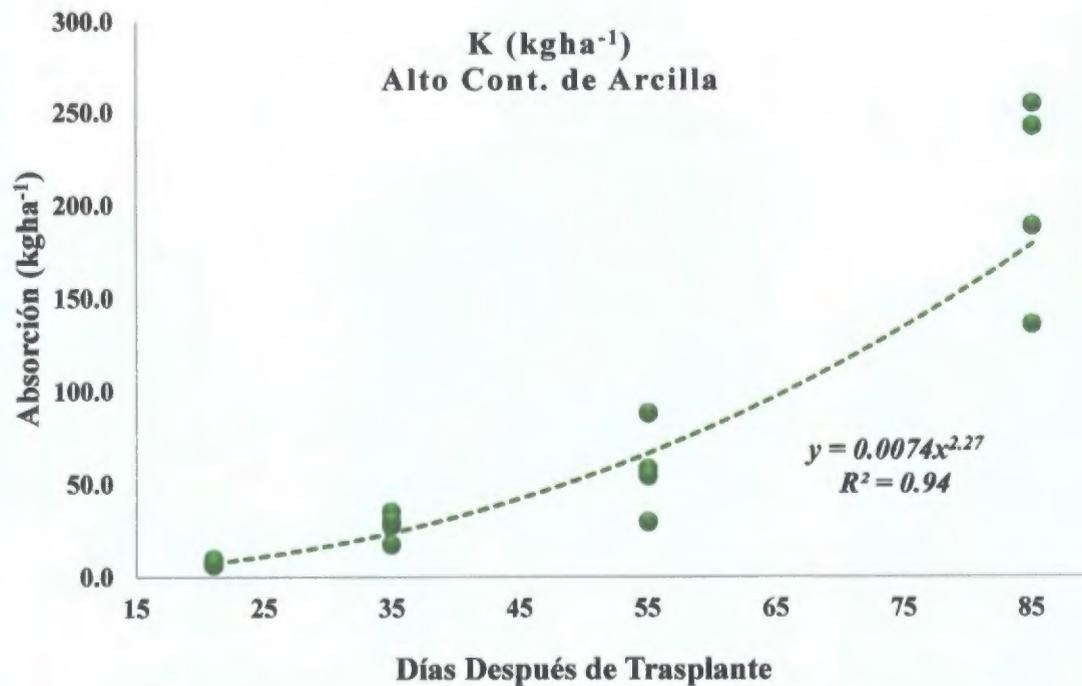


Figura 54. Regresión de la extracción total de potasio en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.

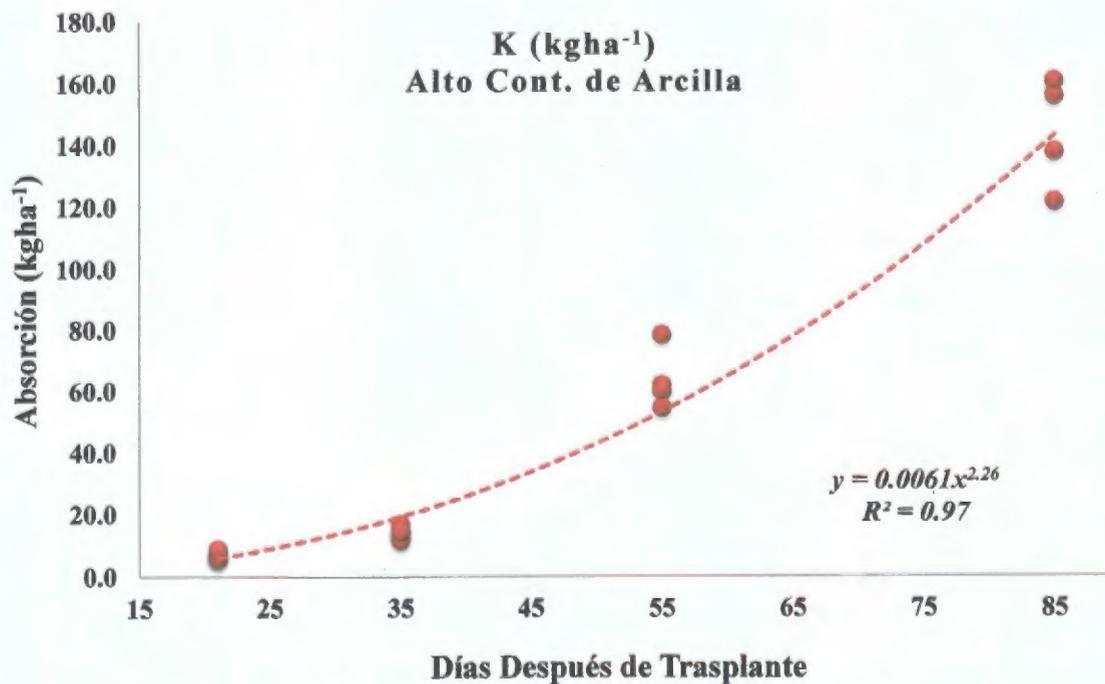


Figura 55. Regresión de la extracción total de potasio en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

#### **2 4 Curvas de absorcion de calcio para *IDIAP T7* e *IDIAP T8***

El mecanismo de absorción de este nutrimento está influenciado por la tasa de transpiración de la planta esto quiere decir que en condiciones de alta humedad, heladas y un bajo nivel de transpiración de la planta se pueden presentar problemas de deficiencia Este nutrimento es de poca movilidad dentro de la planta sin embargo participa en algunos procesos enzimáticos, en los metabolismos de absorción de otros nutrimentos y es importante para fortalecer la estructura de la pared celular (Sela 2017)

Las deficiencias de calcio en la planta afectan el desarrollo de la planta, producen hojas arrugadas y partidas poco desarrollo radicular provocan la pudrición apical del follaje y los frutos (Figura 14) que en el caso del tomate es un problema muy importante y que causa grandes pérdidas

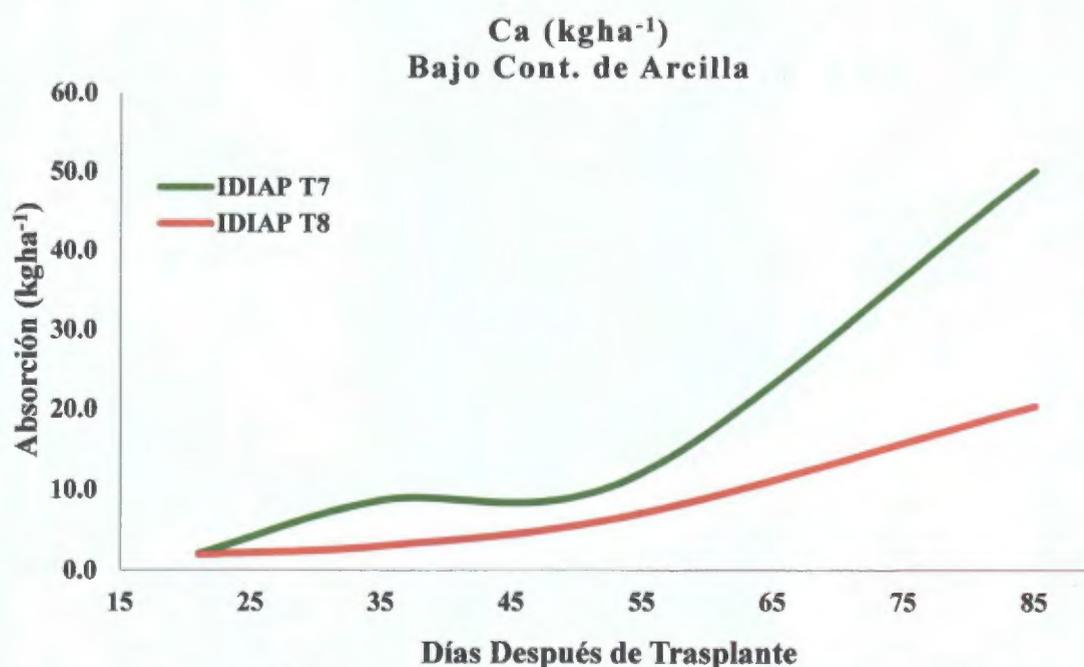
##### **a) Suelo con bajo contenido de arcillas**

La Figura 56 presenta el comportamiento de las curvas de absorción de calcio en un suelo con bajo contenido de arcillas para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* Estas variedades solo presentaron un comportamiento similar en la absorción de estos nutrimentos

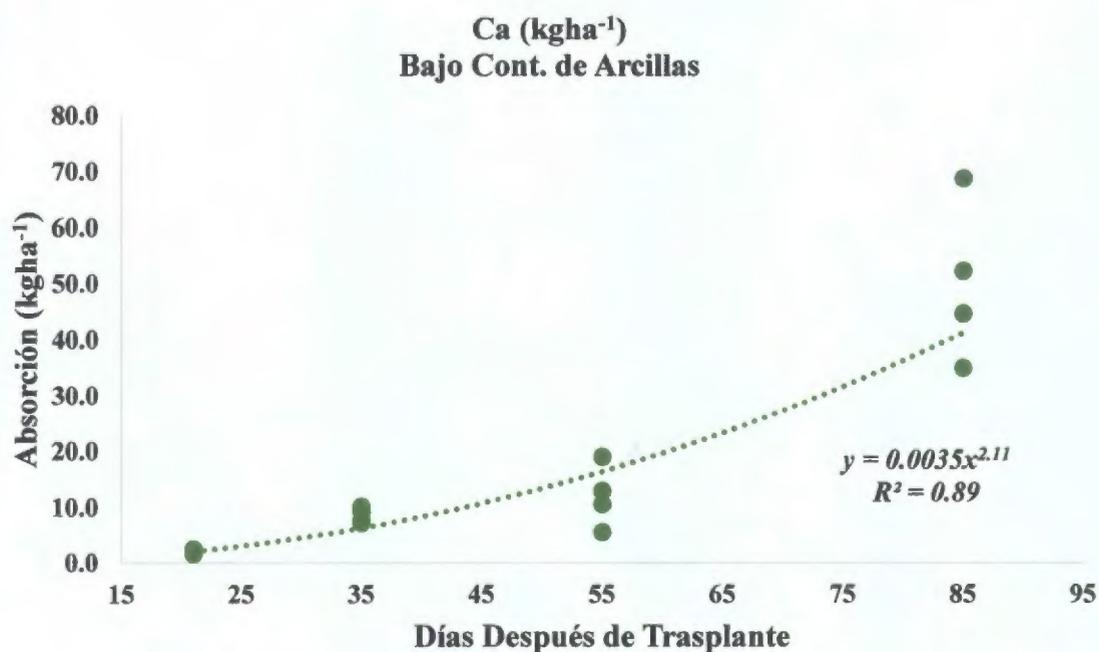
en la primera etapa fenológica, desde allí y hasta la etapa de maduración la variedad *IDIAP T7* presenta un consumo que prácticamente dobla a la absorción del *IDIAP T8* en cada una de las etapas fenológicas siguientes.

La extracción de calcio por la variedad *IDIAP T7* en un suelo con este tipo de textura fue de 2.04  $\text{kg ha}^{-1}$  para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 8.62  $\text{kg ha}^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt), 12.05  $\text{kg ha}^{-1}$  para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 50.14  $\text{kg ha}^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de calcio por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 89% (Figura 57).

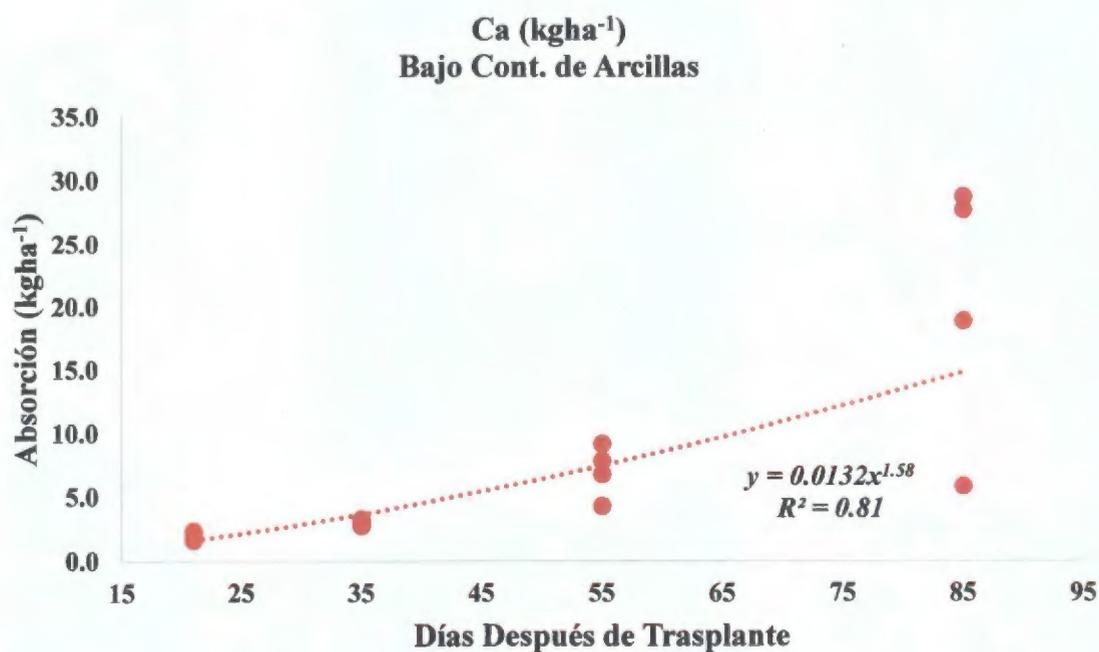
En cuanto a la variedad *IDIAP T8*, esta presentó una absorción de 1.95  $\text{kg ha}^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo, 2.96  $\text{kg ha}^{-1}$  en la etapa de floración, 7.03  $\text{kg ha}^{-1}$  en la etapa de producción, 20.3  $\text{kg ha}^{-1}$  en la etapa de maduración. La extracción de calcio por etapa fenológica para esta variedad presentó un coeficiente de determinación de 81% (Figura 58).



**Figura 56.** Curva de absorción de calcio en suelo bajo en arcillas.



**Figura 57.** Regresión de la extracción total de calcio en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 58.** Regresión de la extracción total de calcio en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

#### **b) Suelo con contenido medio de arcillas**

La Figura 59 muestra el comportamiento de las curvas de absorción de calcio para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en un suelo con contenido medio de arcillas. La curva para ambas variedades presenta un crecimiento similar hasta los 50 ddt. En este momento se produce un incremento en la absorción de la variedad *IDIAP T7* mientras que la variedad *IDIAP T8* continúa con el mismo ritmo de absorción.

La extracción de calcio para la variedad *IDIAP T7* en un suelo con este tipo de textura fue de 1.58 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 5.69 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt), 12.64 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 43.19 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de calcio por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 93% (Figura 60).

La variedad *IDIAP T8* presentó una extracción de calcio así: 2.23 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de desarrollo vegetativo, 5.17 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de floración, 10.57 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de producción, 28.06 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de maduración. La extracción de calcio por etapa fenológica para esta variedad se determinó en 91% (Figura 61).

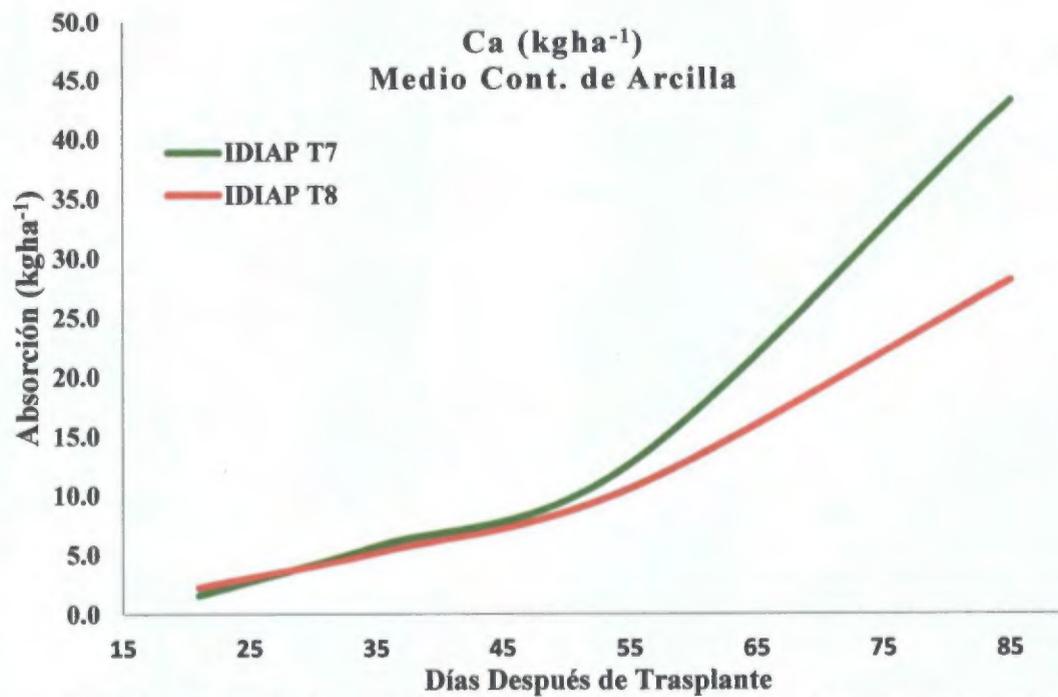


Figura 59. Curva de absorción de calcio en suelo con contenido medio de arcillas.

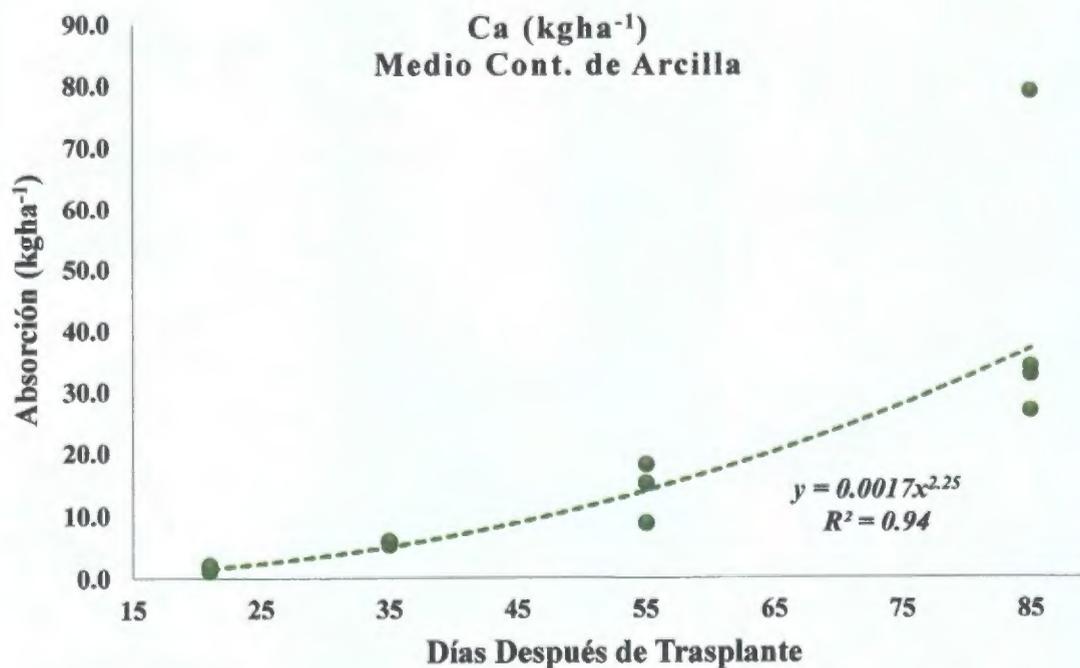
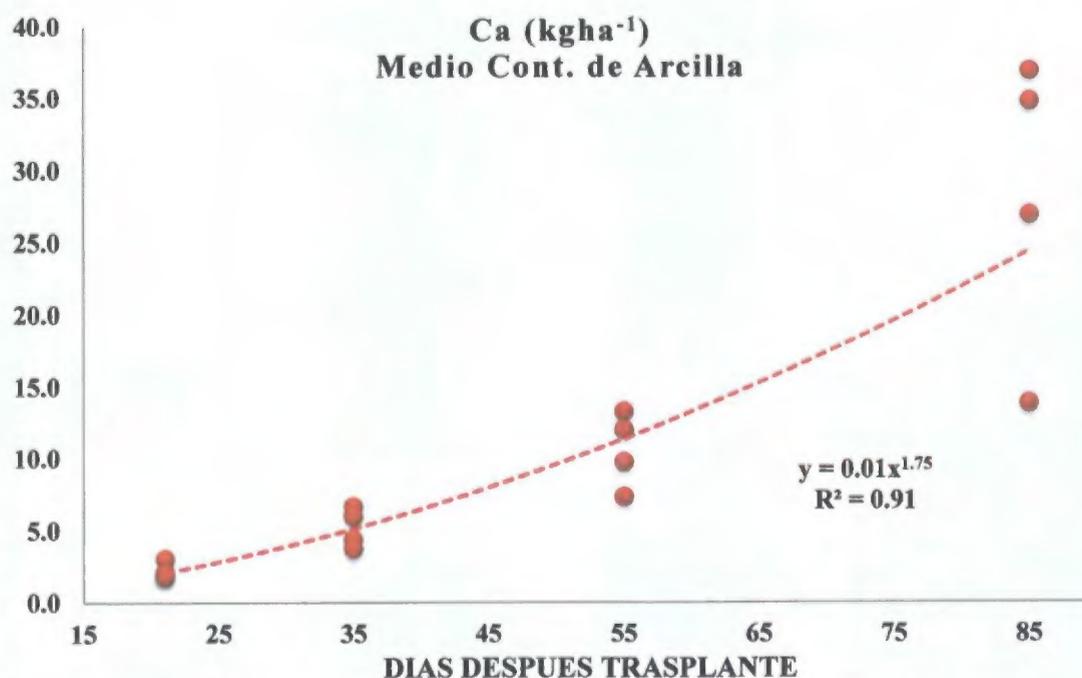


Figura 60. Regresión de la extracción de calcio en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



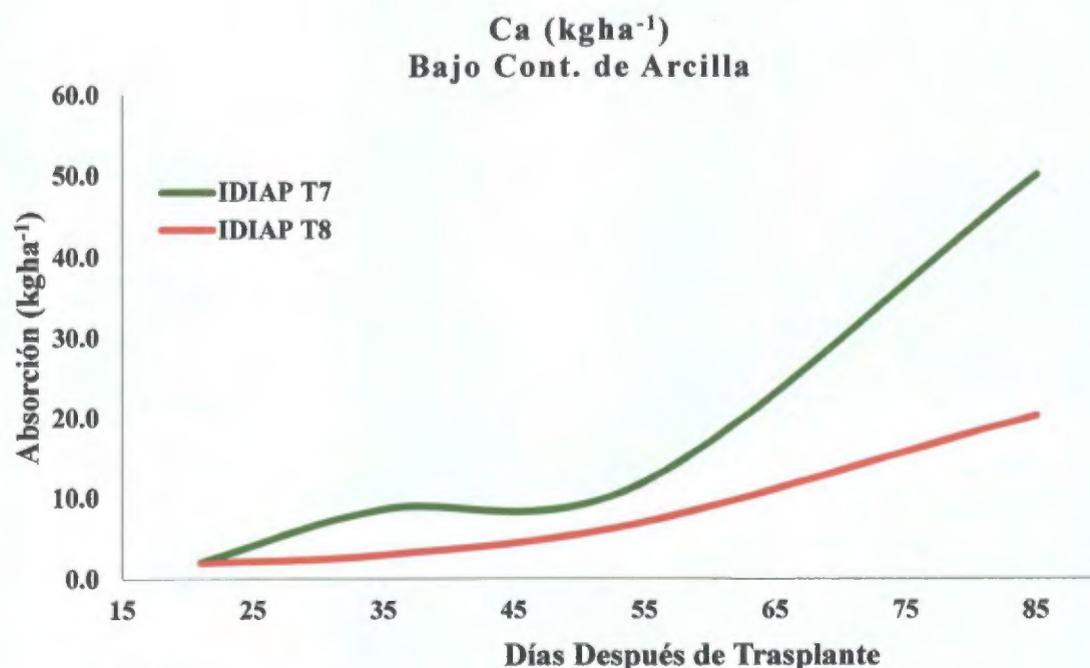
**Figura 61.** Regresión de la extracción de calcio en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

**c) Suelo con alto contenido de arcillas.**

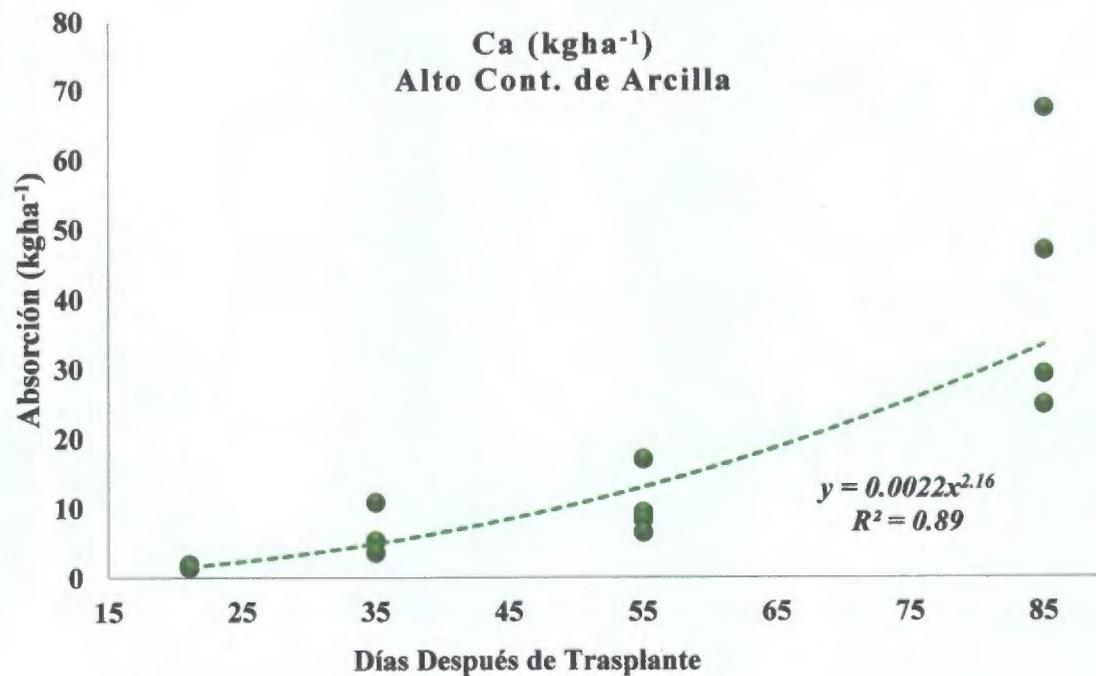
La Figura 62, representa las curvas de absorción de calcio para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en un suelo con alto contenido de arcillas. Se puede observar que la variedad *IDIAP T7* presenta una mayor absorción de calcio durante su ciclo de producción, solo se presenta un intervalo a los 50 ddt donde la demanda de calcio de la variedad *IDIAP T8* es más alta; luego de este lapso, se da un incremento en la demanda del nutriente por la variedad *IDIAP T7*, mientras que la absorción por el *IDIAP T8* mantiene su ritmo de crecimiento.

La extracción de calcio en un suelo con este tipo de textura para la variedad *IDIAP T7* fue de 1.62  $\text{kg ha}^{-1}$  para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 6.22  $\text{kg ha}^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt), 10.28  $\text{kg ha}^{-1}$  para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 42.04  $\text{kg ha}^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de calcio por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 89% (Figura 63).

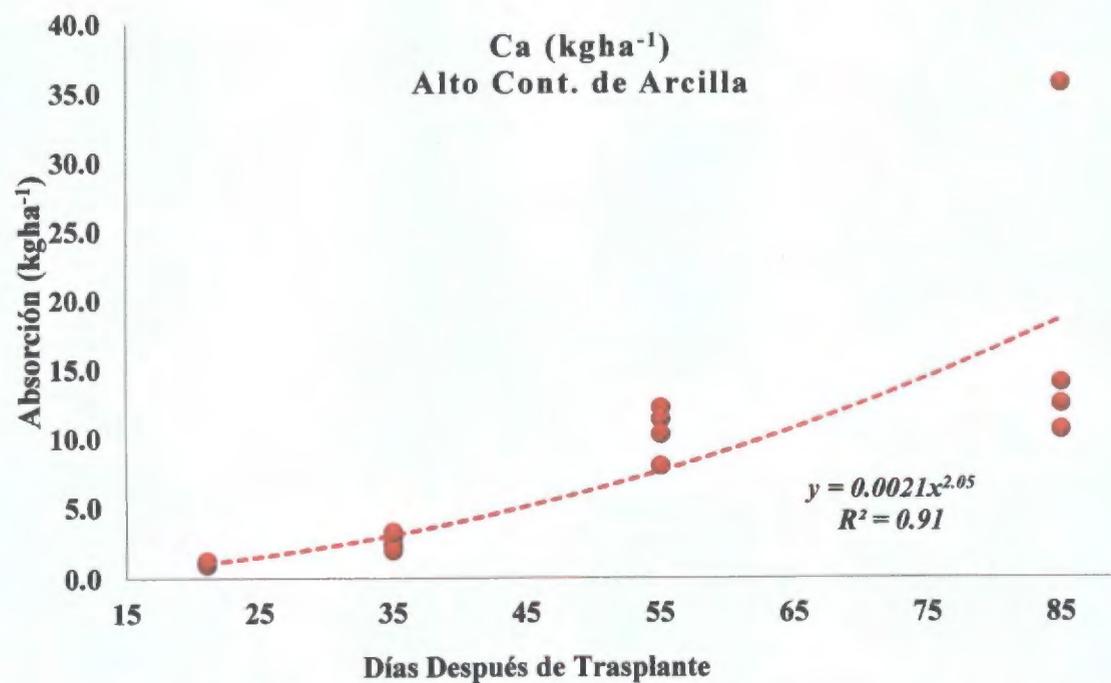
La variedad *IDIAP T8* presento una absorción de calcio de 1.08  $\text{kg ha}^{-1}$  en la fase de desarrollo vegetativo, 2.62  $\text{kg ha}^{-1}$  en la fase de floración, 10.48  $\text{kg ha}^{-1}$  en la fase de producción, 18.19  $\text{kg ha}^{-1}$  en la fase de maduración. La extracción de calcio por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 91% (Figura 64).



**Figura 62.** Curva de absorción de calcio en un suelo alto en arcillas.



**Figura 63.** Regresión de la extracción total de calcio en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 64.** Regresión de la extracción total de calcio en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

## **2.5 Curvas de absorción de magnesio para *IDIAP T7* e *IDIAP T8***

El magnesio es un elemento muy importante para la planta este es el componente básico de la clorofila sin la cual no se puede dar el proceso de fotosíntesis. La absorción del magnesio por la planta se puede dar de dos formas por absorción pasiva que involucra la transpiración y por difusión que tiene que ver con los gradientes de concentración. La disponibilidad y absorción de magnesio se ve afectada por factores como bajo pH del suelo, bajas temperaturas, suelos con condiciones secas y altos niveles de potasio y calcio que tienen efectos antagonistas sobre el magnesio. Junto al calcio y el azufre es uno de los nutrientes secundarios esto no quiere decir que posee poca importancia, se debe a la cantidad que las plantas extraen del suelo. Este elemento es de mucha importancia en los procesos metabólicos de las plantas y su deficiencia afecta el buen desarrollo de los cultivos y sus rendimientos (PROMIX 2017).

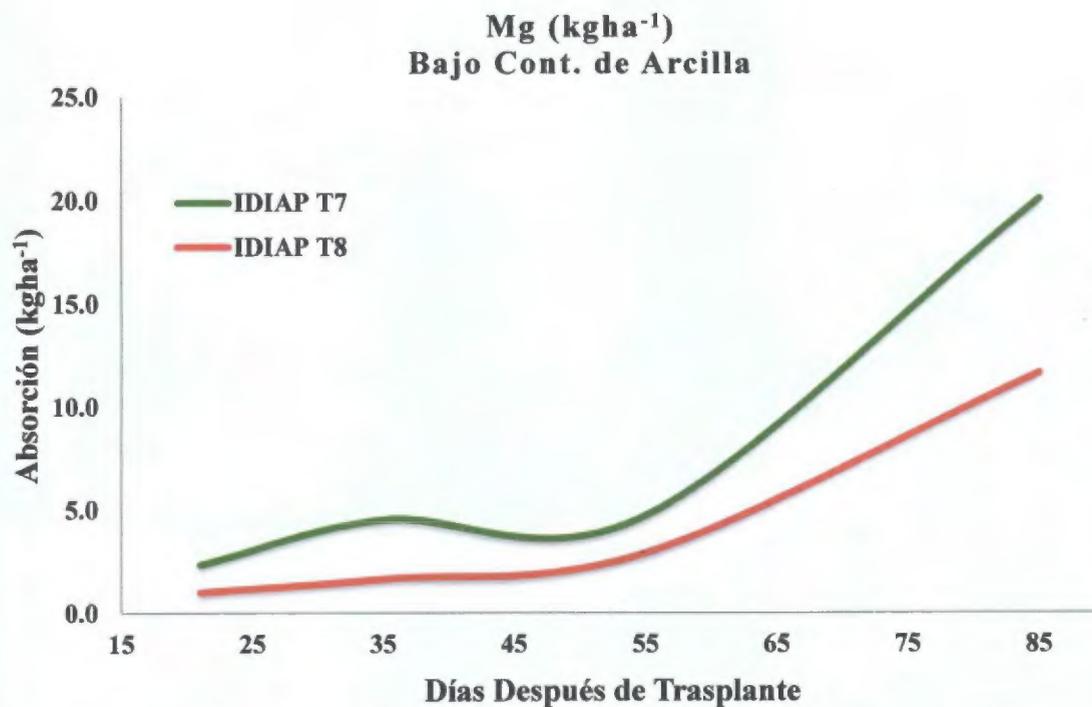
### **a) Suelo con bajo contenido de arcillas**

La Figura 65 representa el comportamiento de las curvas de absorción de magnesio en un suelo con bajo contenido de arcillas para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8*. Las curvas presentan una baja extracción del nutriente en las primeras tres etapas fenológicas en estudio durante las cuales la absorción no superó los 50 kg ha<sup>-1</sup> de magnesio sin

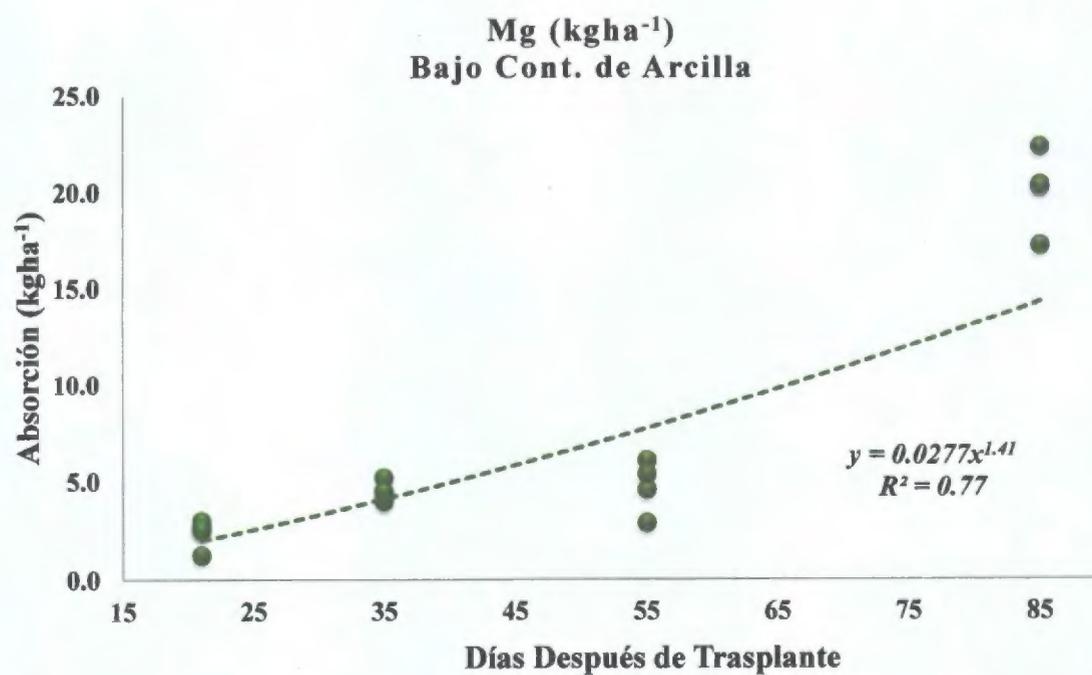
embargo luego de la etapa de producción la absorción de magnesio de la variedad *IDIAP T7* se incrementó de forma acelerada mientras que la variedad *IDIAP T8* mantuvo el ritmo de crecimiento de la curva durante todo el ciclo de cultivo

La extracción de magnesio de la variedad *IDIAP T7* en un suelo con este tipo de textura fue de 2.35 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt) 4.53 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt) 4.72 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 20.08 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduración (85 ddt) La extracción de magnesio por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 77% (Figura 66)

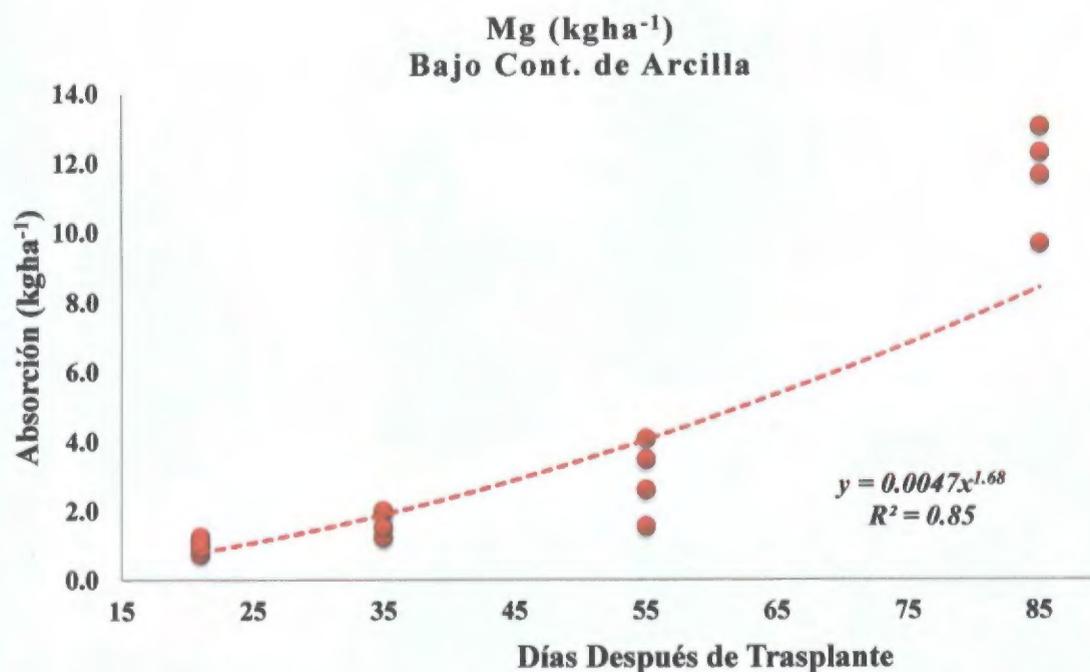
La variedad *IDIAP T8* extrajo las siguientes cantidades de magnesio durante su ciclo de cultivo 1.01 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de desarrollo vegetativo 1.66 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de floración 2.91 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de producción, 11.64 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de maduración La extracción de magnesio por etapa fenológica para esta variedad presentó un coeficiente de diferenciación de 84% (Figura 67)



**Figura 65.** Curva de absorción de magnesio en un suelo bajo en arcillas.



**Figura 66.** Regresión de la extracción total de magnesio en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



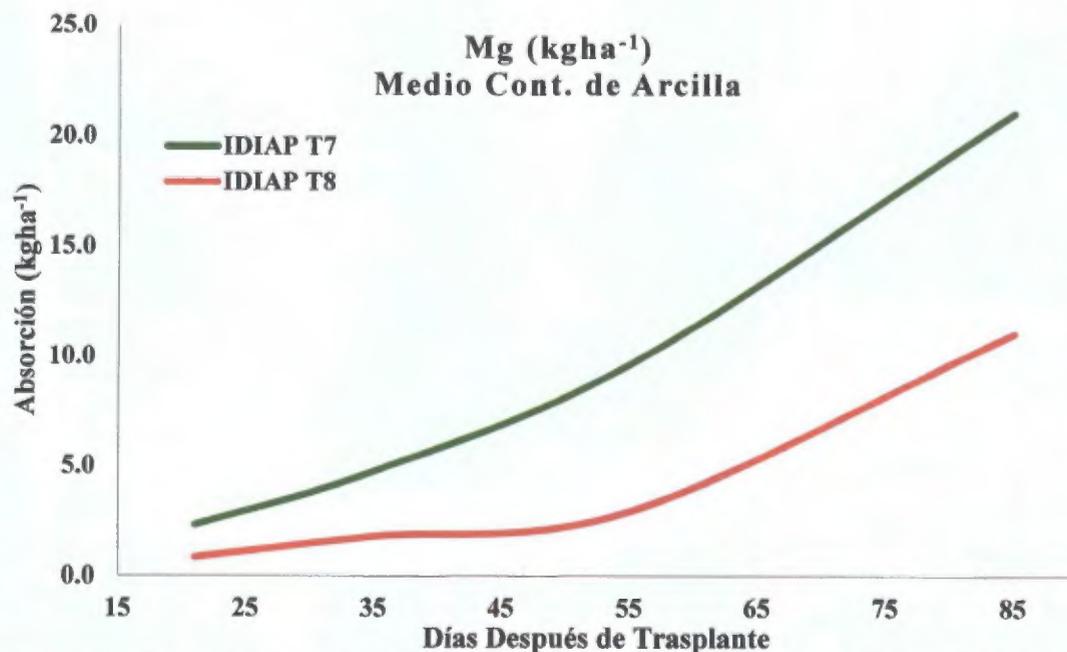
**Figura 67.** Regresión de la extracción total de magnesio en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

**b) Suelo con contenido medio de arcillas.**

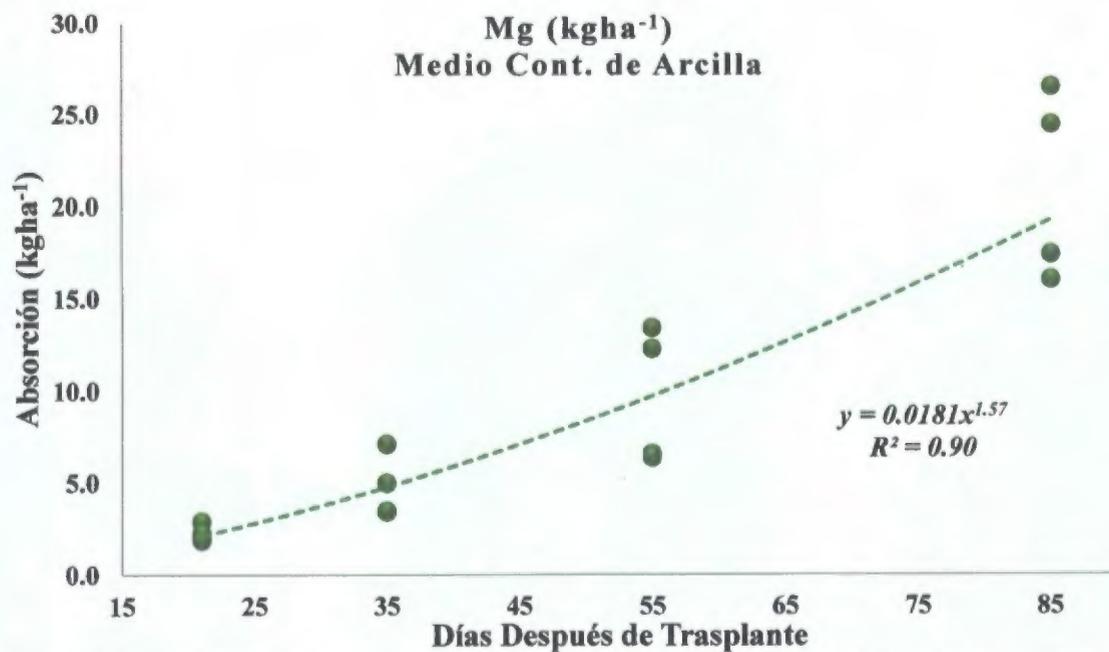
La Figura 68, muestra el comportamiento de las curvas de absorción de magnesio para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en un suelo con contenido medio de arcillas. La curva para la variedad *IDIAP T7* presenta un crecimiento constante desde la primera etapa fenológica hasta la etapa de maduración; para la variedad *IDIAP T8*, la curva presenta un crecimiento más lento a lo largo de los diferentes estados fenológicos del cultivo; es oportuno mencionar que la absorción de magnesio de la variedad *IDIAP T7* fue siempre mayor a la de *IDIAP T8*.

La absorción de magnesio por etapa fenológica para la variedad *IDIAP T7* en un suelo con este tipo de textura fue de 2.30 kg $ha^{-1}$  para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 4.74 kg $ha^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt), 9.63 kg $ha^{-1}$  para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 21.04 kg $ha^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de magnesio por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 90% (Figura 69).

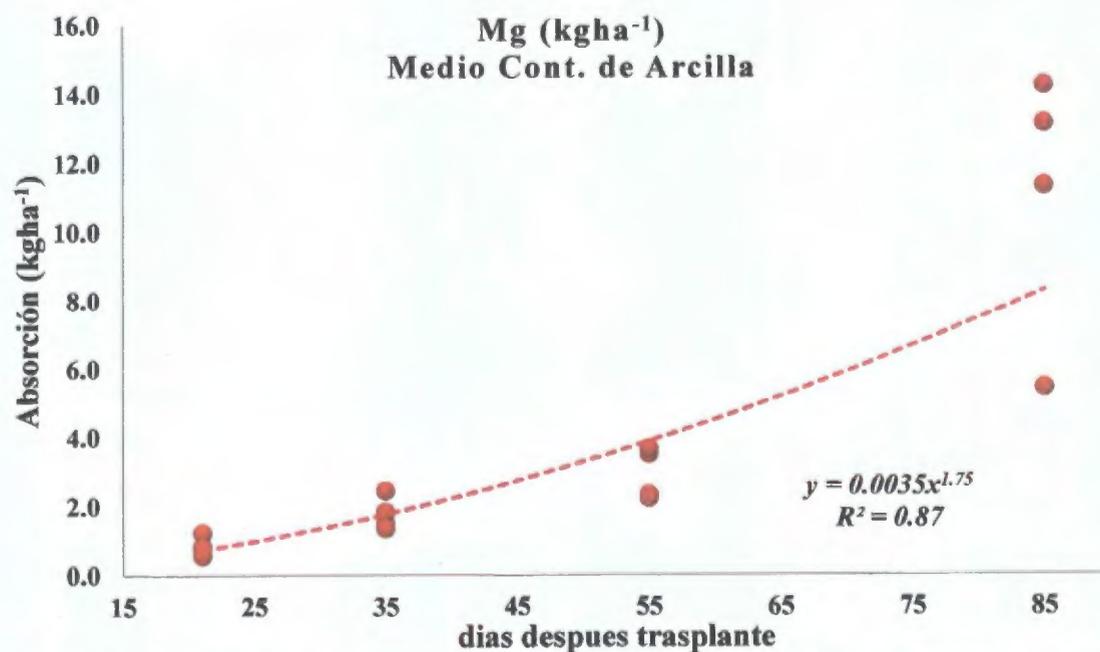
La variedad *IDIAP T8* presento una absorción de magnesio de 0.84 kg $ha^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo, 1.78 kg $ha^{-1}$  en la etapa de floración, 2.93 kg $ha^{-1}$  en la etapa de producción, 11.04 kg $ha^{-1}$  en la etapa de maduración. La extracción de magnesio por etapa fenológica presentó un coeficiente de diferenciación de 87% (Figura 70).



**Figura 68.** Curva de absorción de magnesio en un suelo con contenido medio de arcillas.



**Figura 69.** Regresión de la extracción total de magnesio en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 70.** Regresión de la extracción total de magnesio en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

### c) Suelo con alto contenido de arcillas

La Figura 71 representa las curvas de absorción de magnesio para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en un suelo con alto contenido de arcillas. Las curvas presentan una absorción baja en las primeras dos etapas fenológicas en estudio, luego en la etapa de producción se presenta un incremento en el consumo de este nutrimento. Siempre desde la primera etapa fenológica el *IDIAP T7* presentó una mayor extracción de magnesio que la *IDIAP T8*.

La extracción de magnesio para la variedad *IDIAP T7* en un suelo con este tipo de textura fue de 1.47 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 3.57 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt), 5.88 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 26.45 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de magnesio por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 84% (Figura 72).

Para la variedad *IDIAP T8*, la extracción de magnesio en este tipo de suelo fue de 0.55 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de desarrollo vegetativo, 0.99 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de floración, 4.12 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de producción, 17.54 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de maduración. La extracción total de magnesio por etapa fenológica para esta variedad presentó un coeficiente de determinación de 93% (Figura 73).

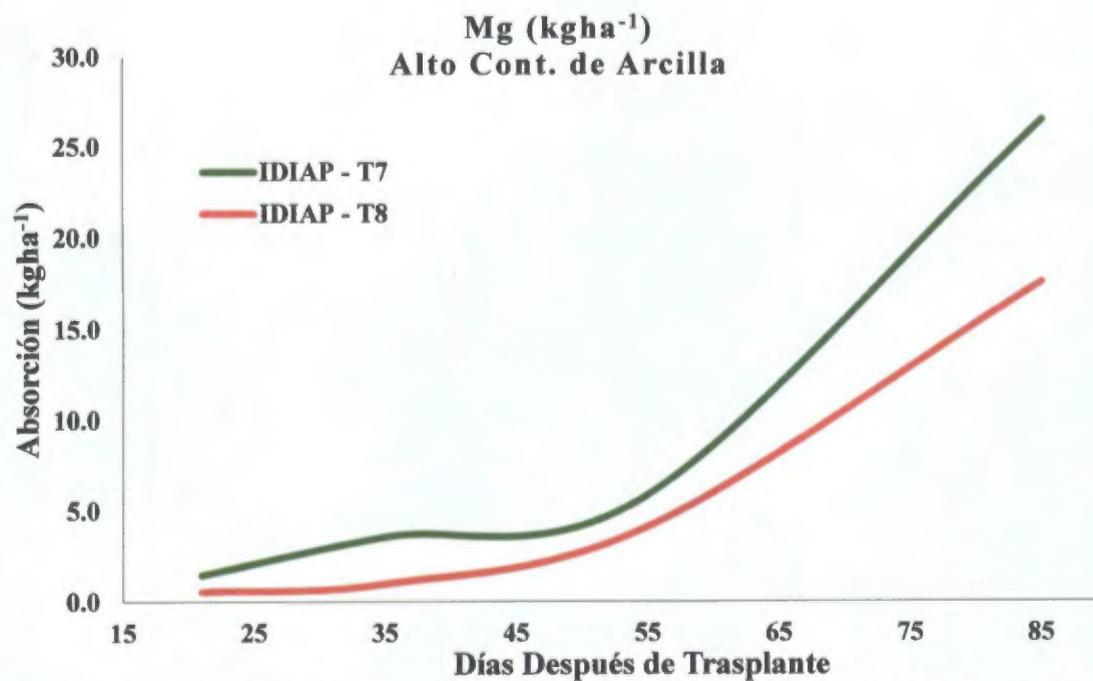


Figura 71. Curva de absorción de magnesio en suelo con contenido alto de arcillas.

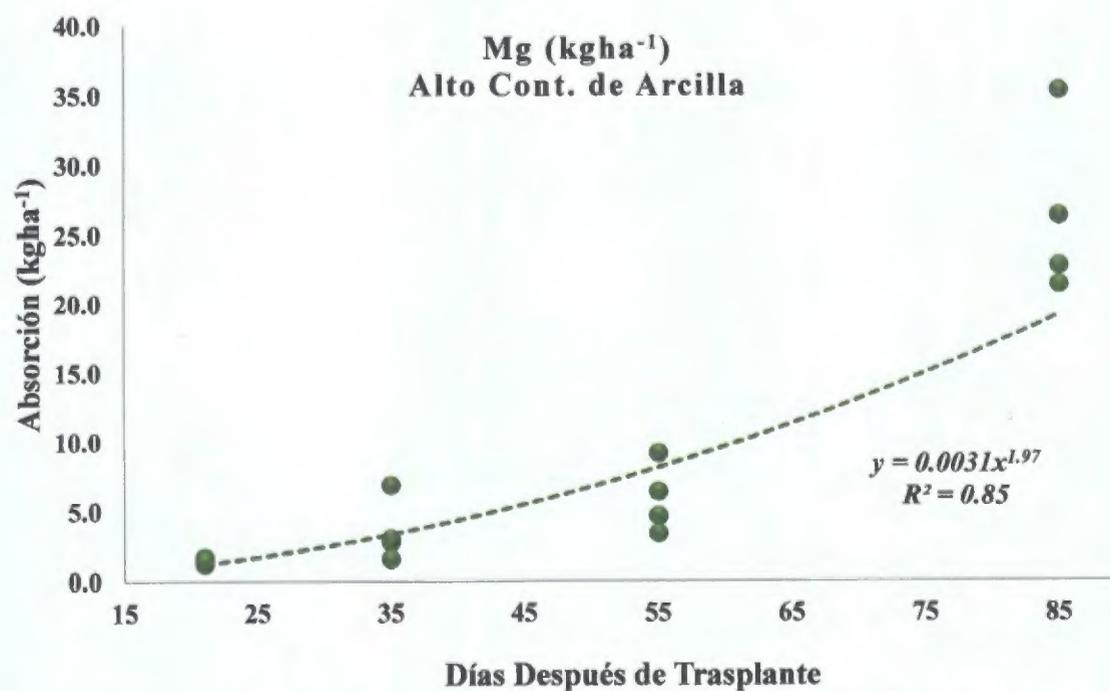
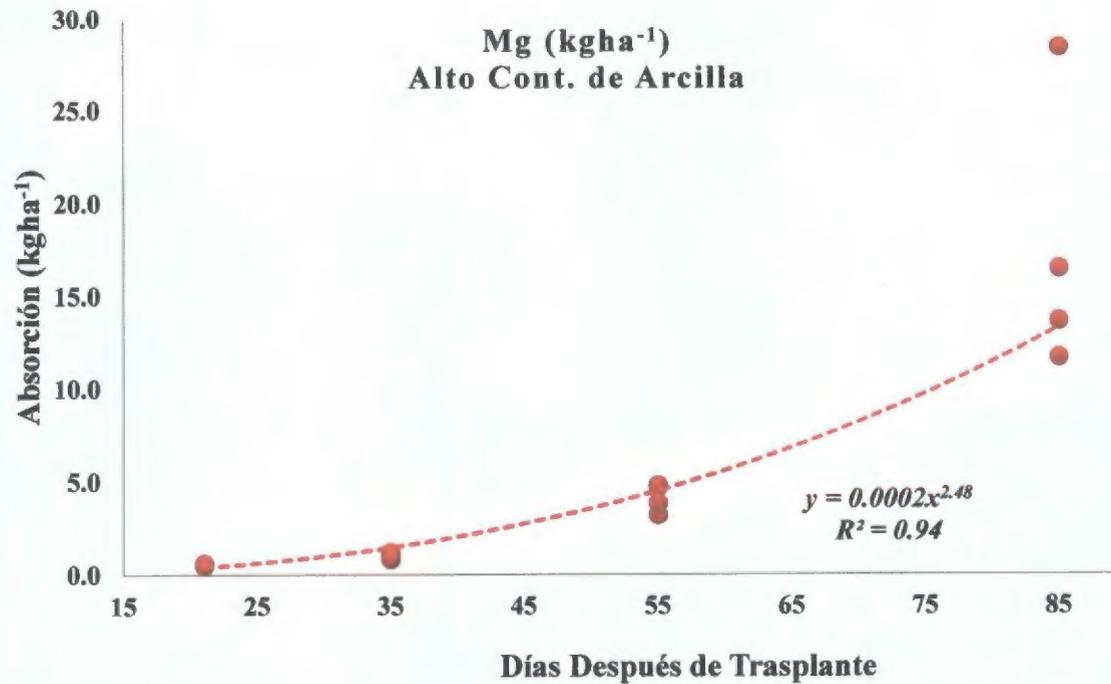


Figura 72. Regresión de la extracción total de magnesio en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 73.** Regresión de la extracción total de magnesio en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

### 2.6. Curvas de absorción de manganeso para *IDIAP T7* e *IDIAP T8*.

Es absorbido por las plantas en forma de radical bivalente ( $Mn^{+2}$ ), interviene procesos muy importantes dentro de la planta como: la respiración, liberación de  $O_2$  en la fotólisis del agua, activador enzimático del ciclo de Krebs, síntesis de proteínas, entre otras (Bloodnick, 2017). Dentro de los micronutrientes es el segundo en importancia después del hierro, los suelos ricos en materia orgánica que tengan un pH menor o igual a 5.5 y con grandes condiciones reductoras pueden llegar a tener grandes acumulaciones de este elemento.

**a) Suelo con bajo contenido de arcillas**

La Figura 74 muestra el comportamiento de las curvas de absorción de manganeso en un suelo con bajo contenido de arcillas para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8*. La curva para la variedad *IDIAP T7* presenta una absorción inferior a  $0.50 \text{ kg ha}^{-1}$  durante las tres primeras etapas fenológicas. Luego de la etapa de producción la variedad aumenta la demanda hasta el final del cultivo. En el caso de la variedad *IDIAP T8* la curva muestra una extracción durante los tres primeros estados fenológicos inferior a  $0.10 \text{ kg ha}^{-1}$ . Luego de la etapa de producción se da un pequeño aumento en la absorción que no logra superar los  $0.50 \text{ kg ha}^{-1}$  hasta el final del ciclo de vida.

La absorción de manganeso para la variedad *IDIAP T7* en un suelo con este contenido de arcillas fue de  $0.01 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt),  $0.21 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt),  $0.60 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y  $2.55 \text{ kg ha}^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de manganeso por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 93% (Figura 75).

La variedad *IDIAP T8* presenta una extracción de  $0.02 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo,  $0.019 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de floración,  $0.053 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de producción,  $0.44 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de maduración. La extracción de manganeso por etapa fenológica para esta variedad presentó un coeficiente de diferenciación de 72% (Figura 76).

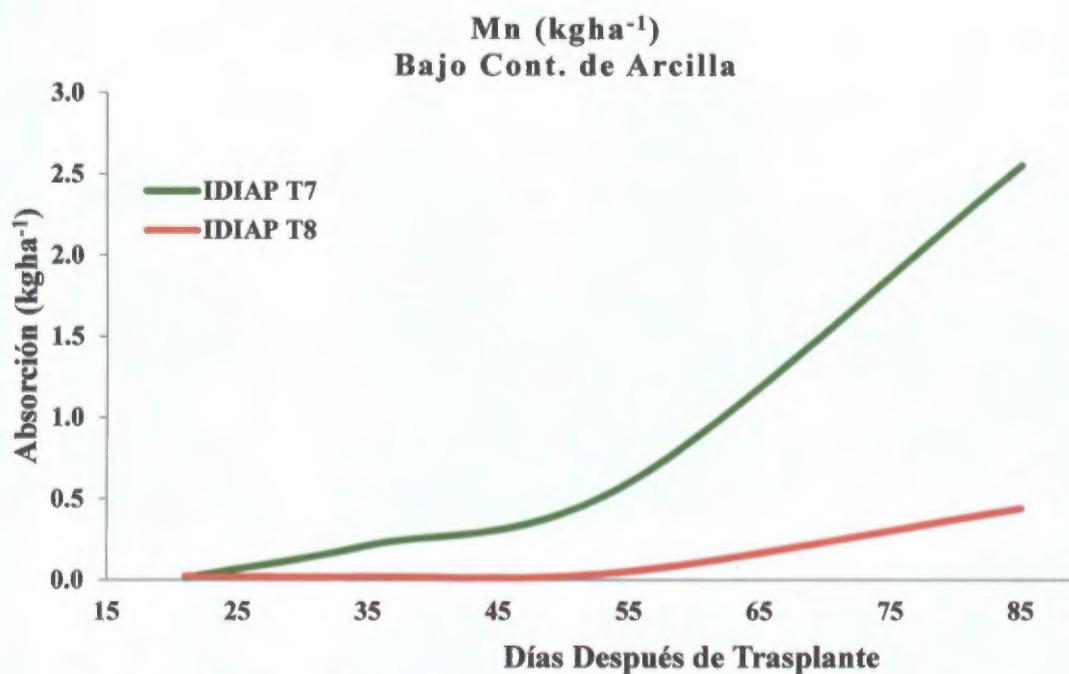


Figura 74. Curva de absorción de manganeso en un suelo bajo en arcillas.

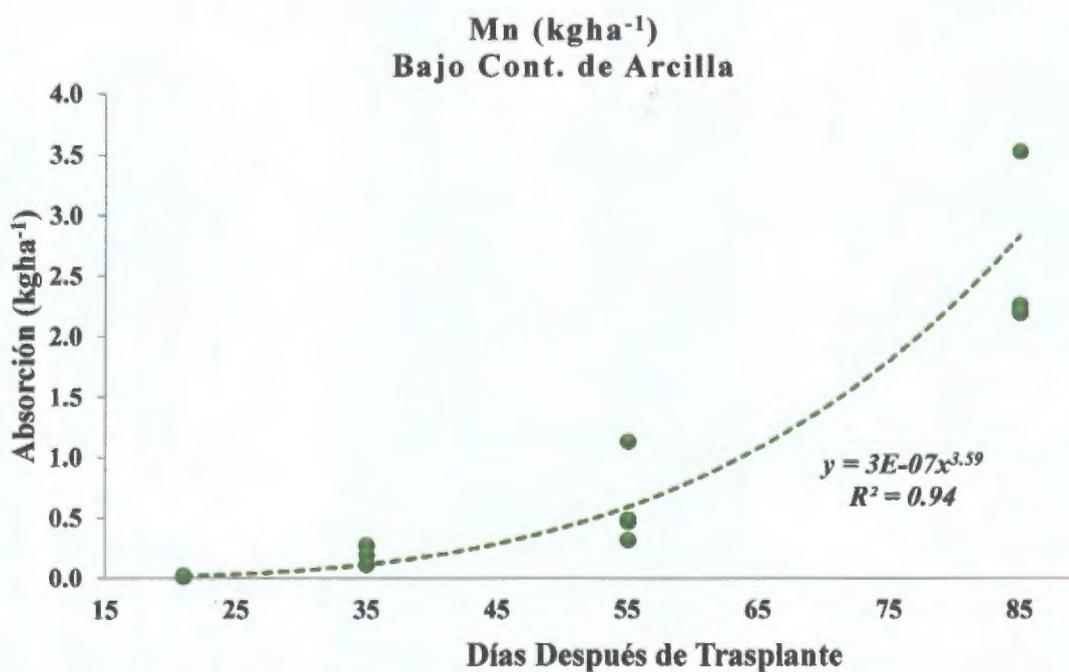
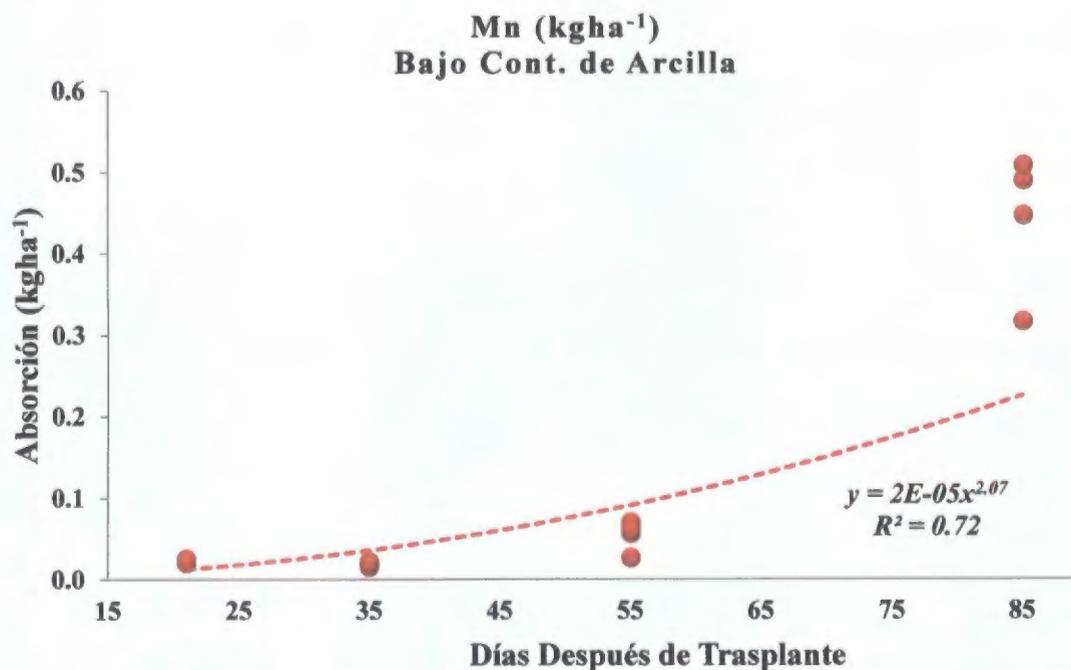


Figura 75. Regresión de la extracción total de manganeso en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



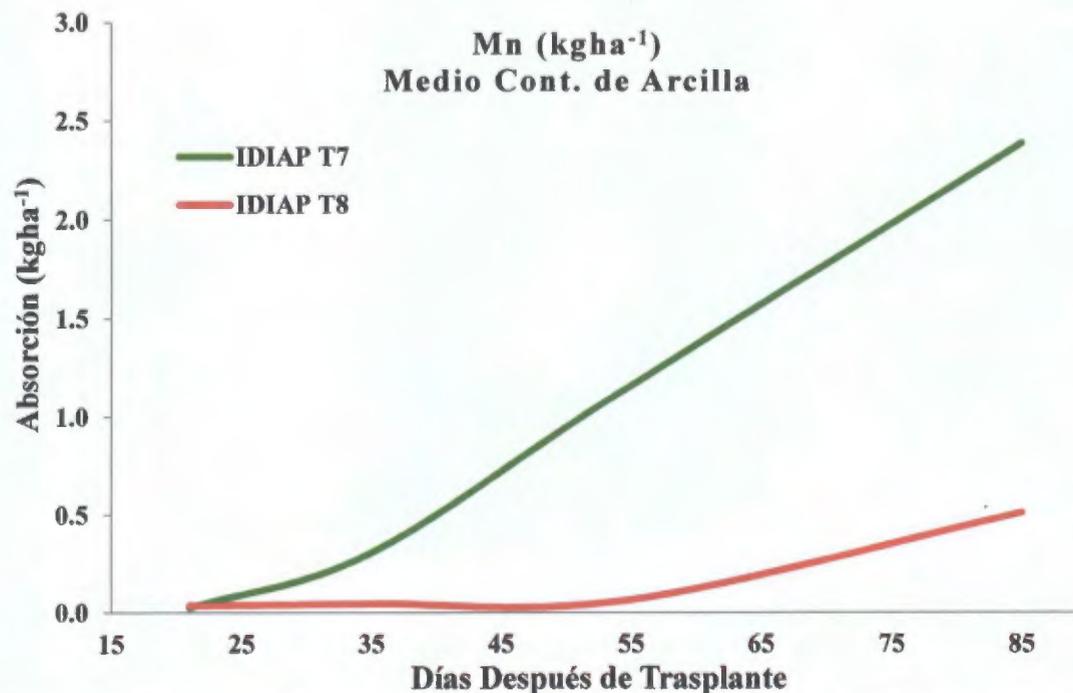
**Figura 76.** Regresión de la extracción total de manganeso en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

**b) Suelo con contenido medio de arcillas.**

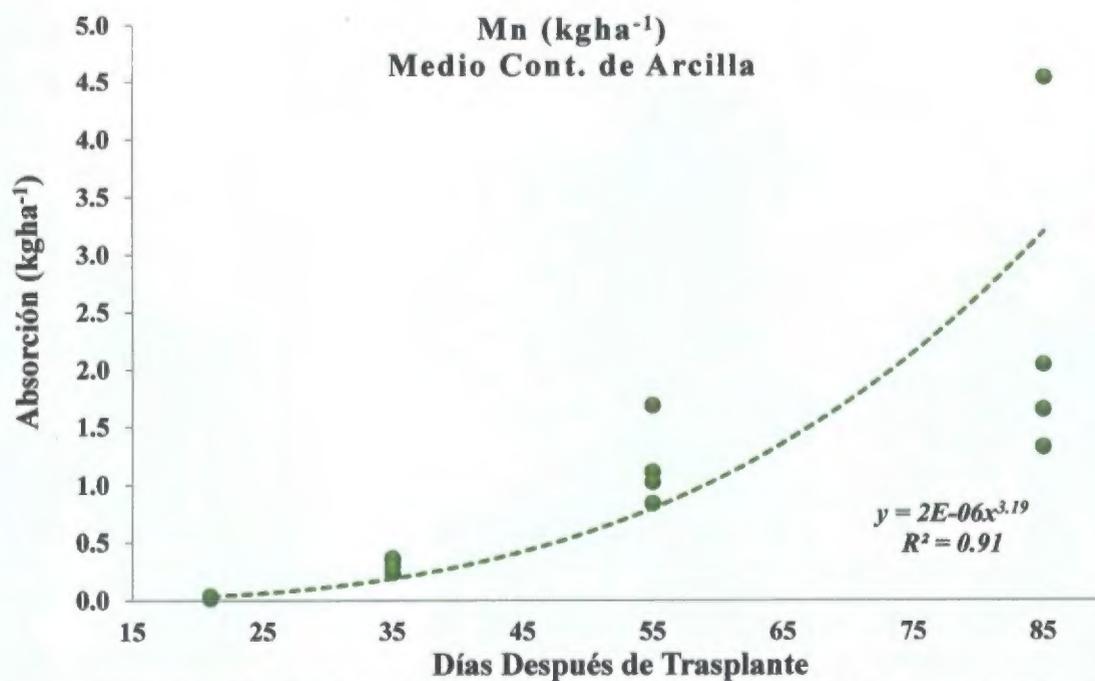
En la Figura 77 se presentan las curvas de absorción de manganeso para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en suelos con contenido medio de arcillas. La curva correspondiente a la variedad *IDIAP T7*, presenta un crecimiento constante en la absorción de este nutrimento; se puede observar que para la etapa de producción ya la variedad supera el 1.0 kg ha<sup>-1</sup> de absorción. En lo referente a la variedad *IDIAP T8*, la absorción de este nutrimento es muy baja, durante la etapa de maduración la variedad apenas logró absorber 0.50 kg ha<sup>-1</sup> de manganeso.

La absorción de manganeso en un suelo con este contenido de arcillas fue de 0.02 kg $ha^{-1}$  para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 0.30 kg $ha^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt), 1.16 kg $ha^{-1}$  para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 2.38 kg $ha^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de manganeso por etapa fenológica mostró un coeficiente de determinación de 91% (Figura 78).

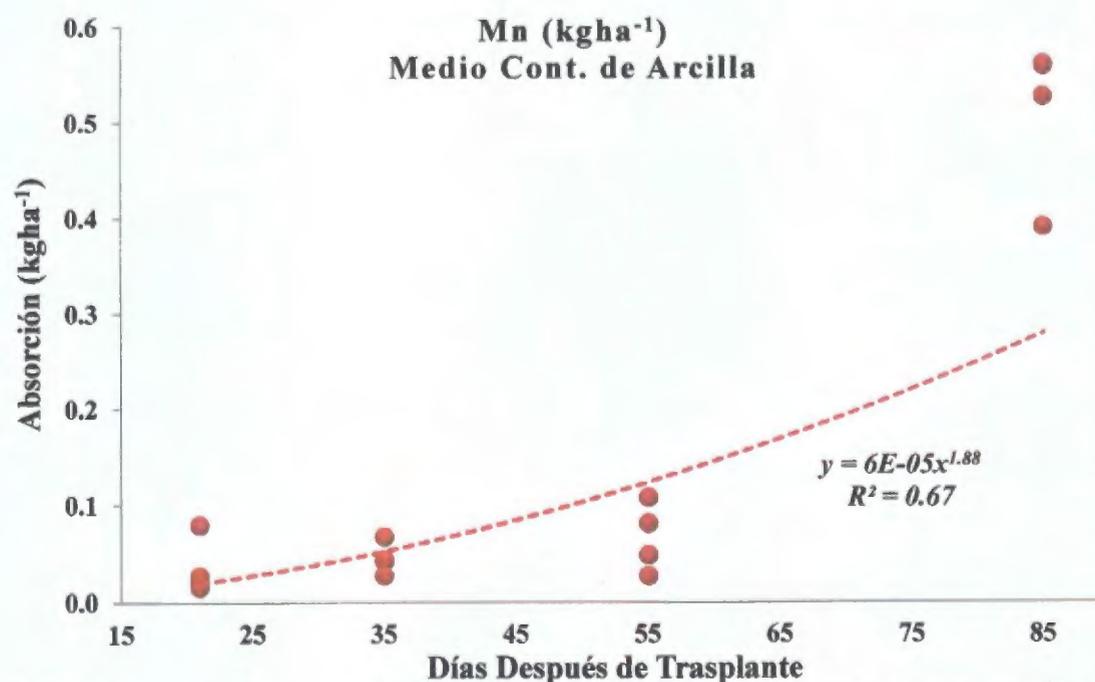
Para la variedad *IDIAP T8*, la absorción de manganeso fue de 0.04 kg $ha^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo, 0.05 kg $ha^{-1}$  en la etapa de floración, 0.07 kg $ha^{-1}$  en la etapa de producción, 0.51 kg $ha^{-1}$  en la etapa de maduración. La extracción de manganeso por etapa fenológica por esta variedad mostró un coeficiente de determinación de 67% (Figura 79).



**Figura 77.** Curva de absorción de manganeso en un suelo con contenido medio de arcillas.



**Figura 78.** Regresión de la extracción total de manganeso en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



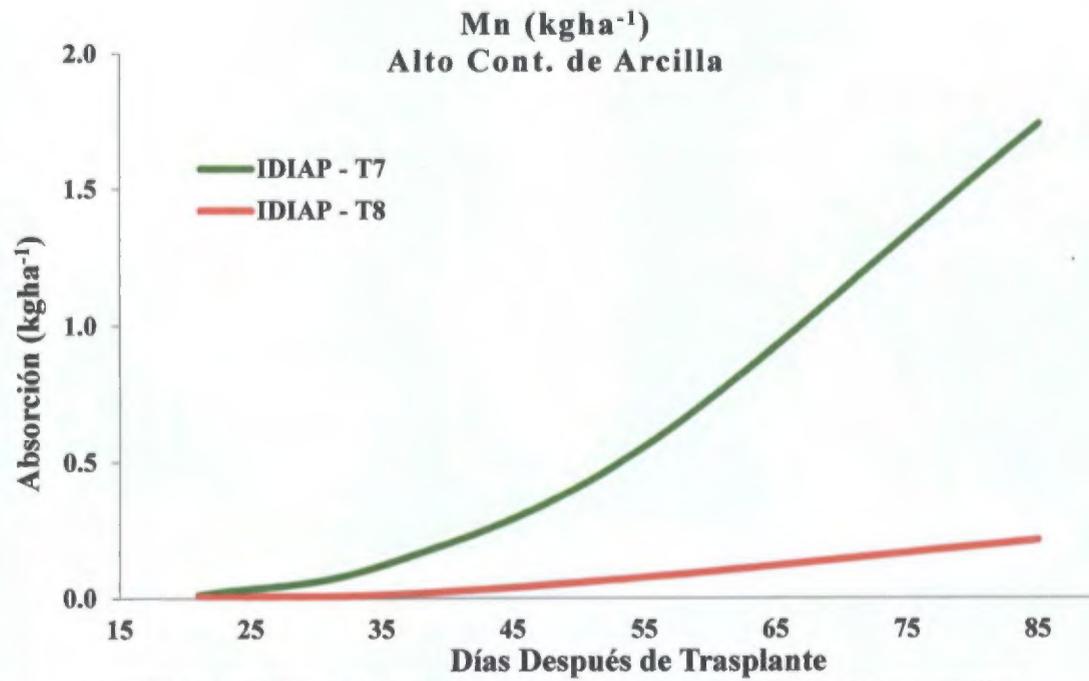
**Figura 79.** Regresión de la extracción total de manganeso en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

### c) Suelo con Alto Contenido de Arcillas

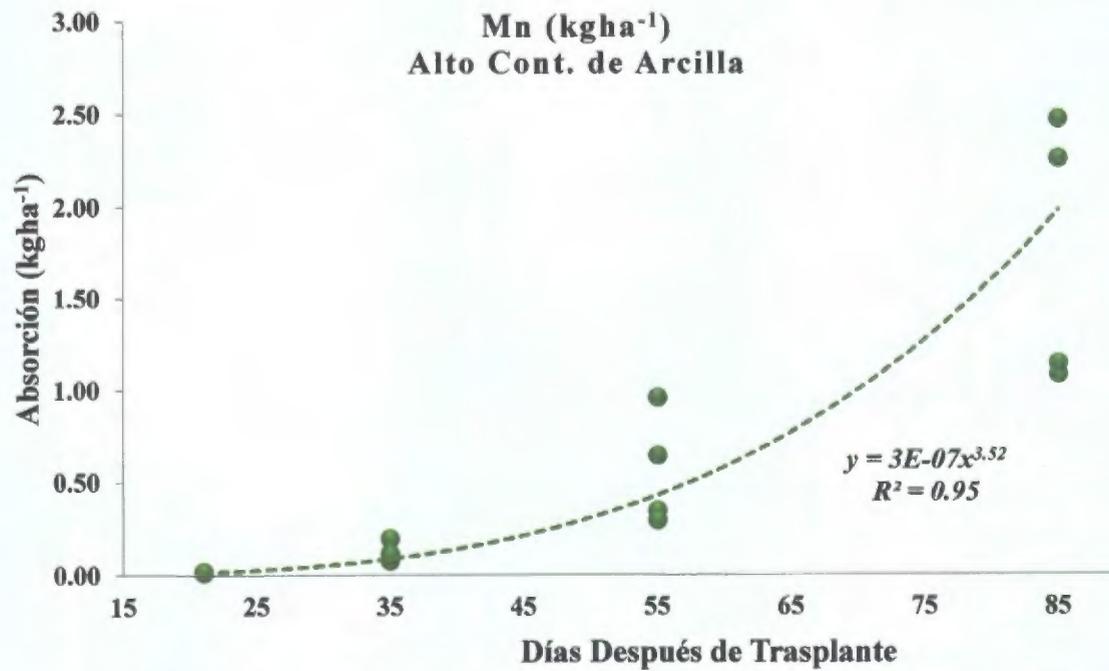
En la Figura 80 se muestra el comportamiento de las curvas de absorción de manganeso para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en un suelo con alto contenido de arcillas. Como se puede observar la curva de la variedad *IDIAP T7* presentó un crecimiento acelerado desde las primeras etapas fenológicas del cultivo. En el caso de la variedad *IDIAP T8* la absorción de este nutrimento es baja durante todas las etapas fenológicas del cultivo, la mayor absorción se presentó en la fase de maduración y solo alcanzó los 0.21 kg ha<sup>-1</sup>.

La absorción de manganeso de la variedad *IDIAP T7* en un suelo con este contenido de arcillas fue de 0.01 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 0.12 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt), 0.55 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 1.73 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de manganeso por etapa fenológica mostró un coeficiente de determinación de 95% (Figura 81).

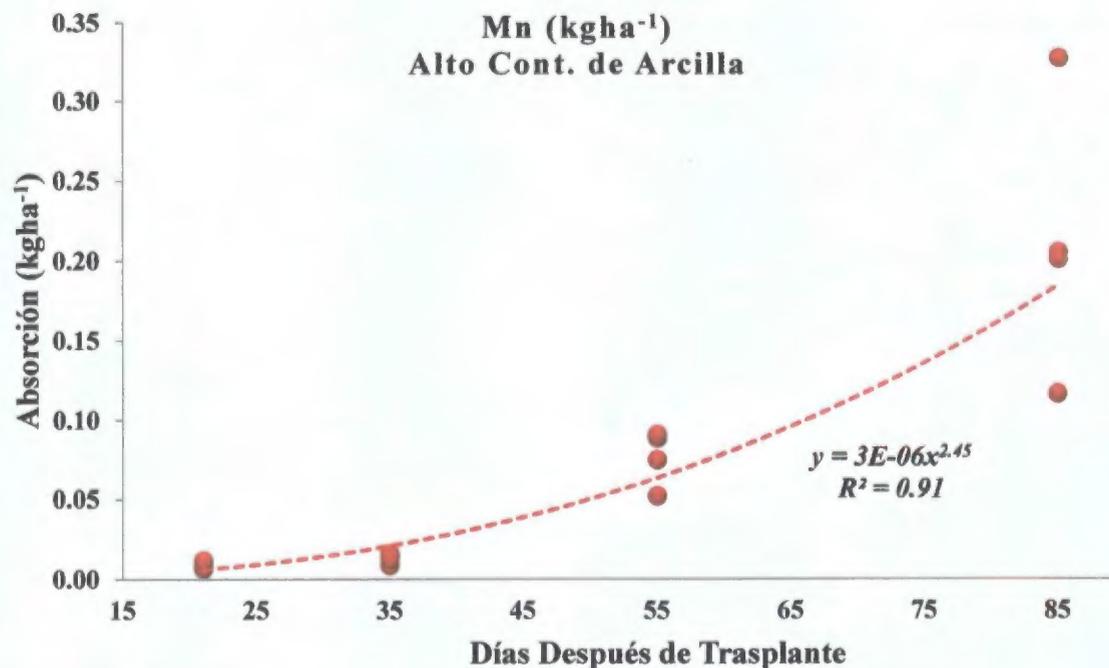
En lo referente a la variedad *IDIAP T8* la absorción de manganeso fue de 0.008 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de desarrollo vegetativo, 0.013 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de floración, 0.08 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de producción, 0.21 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de maduración. La extracción de manganeso por etapa fenológica para esta variedad mostró un coeficiente de diferenciación de 90% (Figura 82).



**Figura 80.** Curva de absorción de manganeso en un suelo alto en arcillas.



**Figura 81.** Regresión de la extracción total de manganeso en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 82.** Regresión de la extracción total de manganeso en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

### 2.7. Curvas de absorción de hierro para *IDIAP T7* e *IDIAP T8*.

El hierro es uno de los minerales más comunes en la corteza terrestre, este se presenta en dos estados de oxidación  $Fe^{+3}$  (férrico) y  $Fe^{+2}$  (ferroso), sin embargo, el estado ferroso en presencia de oxígeno es oxidado rápidamente a estado férrico; siendo este el estado más poco asimilable por los seres vivos. Es conocido que los iones de metales pesados no atraviesan libremente la membrana celular, estos lo logran en forma de quelatos conocidos como ionóforos; los ionóforos específicos para el hierro se llaman sideróforos. También, el uso de fertilizantes nitrogenados de base amoniacal aumenta la extrusión de protones y

favorece la absorcion de hierro sin embargo el uso de nitrogeno nitrico aumenta la extrusion de iones de hidróxido afectando la absorcion de este nutrimento (Benavides s/f)

Las plantas cuentan con dos estrategias para aumentar la disponibilidad de hierro en la solucion del suelo Estrategia I las monocotiledoneas no gramineas y las dicotiledóneas pueden disminuir el pH de la rizosfera Estrategia II las gramineas secretan fitosideroforos que solubilizan el  $Fe^{+3}$  formando complejos Fe fitosideroforos En el caso de la estrategia I la planta posee aminoacidos no proteicos que facilitan el transporte de Fe como la nicotinamina la carencia de esta da lugar déficit de Fe como el observado en el mutante *cloronerva* de tomate que tiene una falla genetica que no permite la produccion de nicotinamina Las plantas con la estrategia II, estas producen ácidos organicos pero aparentemente no excretan protones (Benavides s/f)

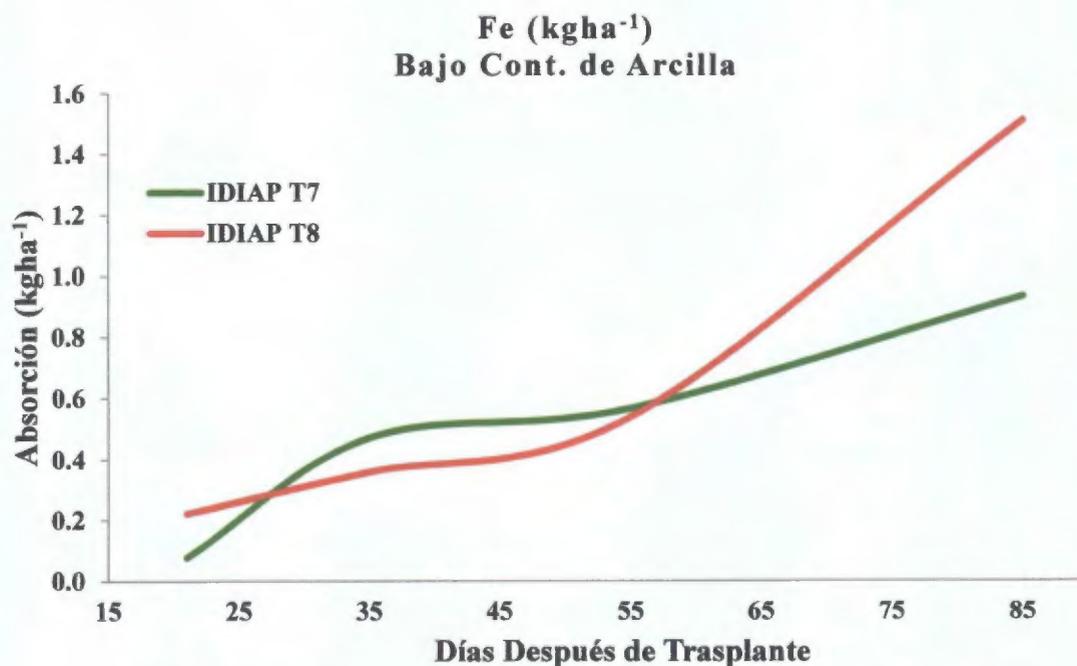
#### **a) Suelo con bajo contenido de arcillas**

La Figura 83 presenta el comportamiento de las curvas de absorcion de hierro en un suelo con bajo contenido de arcillas para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* Las curvas presentan un comportamiento similar desde la etapa de desarrollo vegetativo hasta la etapa de producción luego de esta etapa la variedad *IDIAP T8* aumenta su absorción de hierro con respecto a la variedad *IDIAP T7* mientras que esta mantiene su ritmo de absorcion

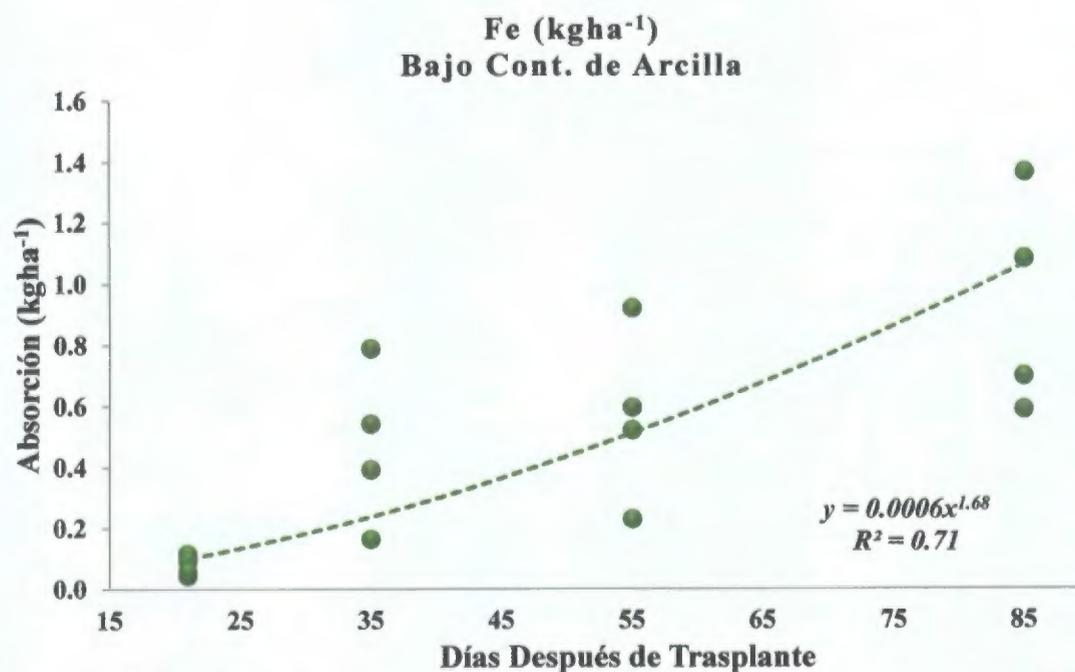
La extraccion de hierro por la variedad *IDIAP T7* en un suelo con este contenido de arcillas fue de  $0.07 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa fenologica de desarrollo vegetativo (21 ddt)  $0.47 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt),  $0.56 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa de produccion o llenado

de fruto (55 ddt) y  $0.93 \text{ kg ha}^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de hierro por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 70% (Figura 84).

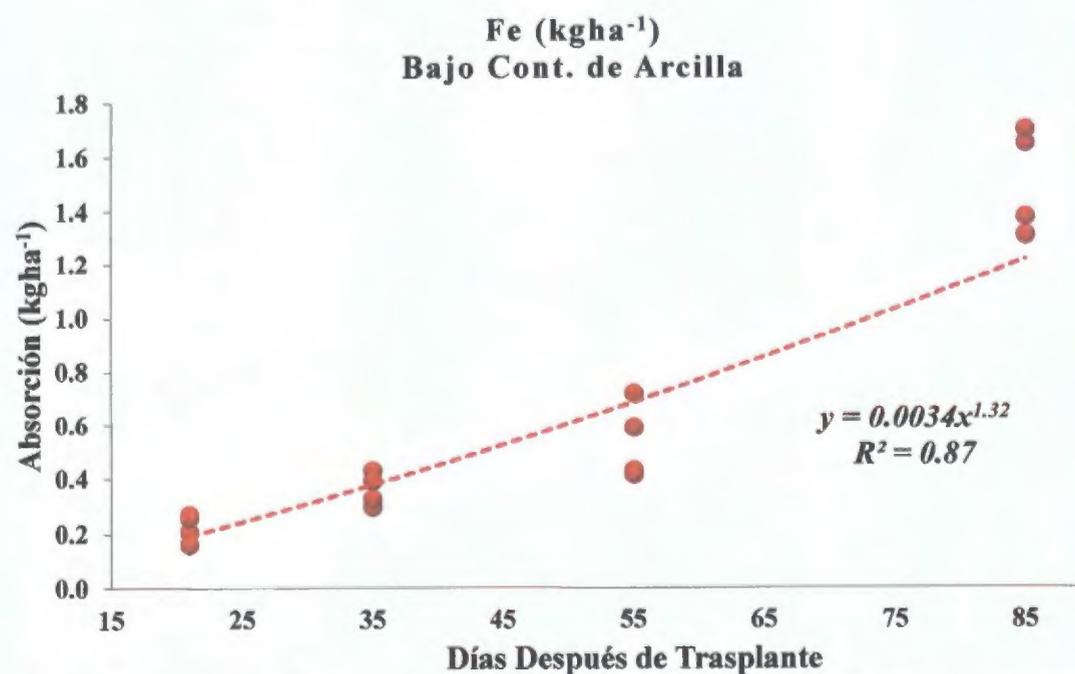
La variedad *IDIAP T8* presentó una extracción de hierro de  $0.22 \text{ kg ha}^{-1}$  en la fase de desarrollo vegetativo,  $0.36 \text{ kg ha}^{-1}$  en la fase de floración,  $0.54 \text{ kg ha}^{-1}$  en la fase de producción,  $1.51 \text{ kg ha}^{-1}$  en la fase de maduración. La extracción de hierro por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 87% (Figura 85).



**Figura 83.** Curva de absorción de hierro en un suelo bajo en arcillas.



**Figura 84.** Regresión de la extracción total de hierro en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 85.** Regresión de la extracción total de hierro en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

## b) Suelo con contenido medio de arcillas

En la Figura 86 se observan las curvas de absorción de hierro en un suelo con contenido medio de arcillas para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8*. Se verifica que ambas variedades presentan un consumo acelerado de hierro durante las primeras dos etapas fenológicas; durante este lapso las mismas consumen más de  $1.0 \text{ kg ha}^{-1}$  de hierro. Luego, para la fase de producción, el aumento en el consumo continúa, pero de una forma menos acelerada. Las variedades presentaron un comportamiento similar durante todo el ciclo de cultivo.

Para un suelo con una textura de este tipo, la extracción de hierro por la variedad *IDIAP T7* fue de  $0.15 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt),  $1.06 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt),  $1.21 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y  $1.77 \text{ kg ha}^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de hierro por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 73% (Figura 87).

En el caso de la variedad *IDIAP T8*, la absorción de hierro fue de  $0.19 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo,  $0.68 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de floración,  $1.36 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de producción,  $1.69 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de maduración, para una extracción total de  $3.9 \text{ kg ha}^{-1}$ . La extracción de hierro por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 86% (Figura 88).

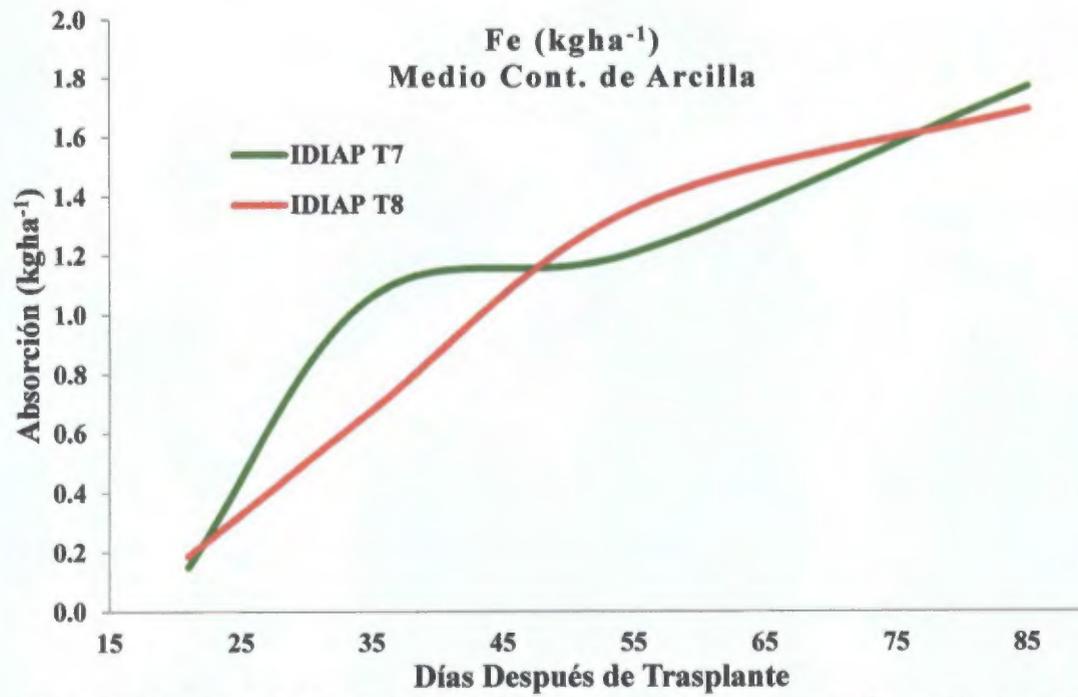


Figura 86. Curva de absorción de hierro en un suelo con contenido medio de arcillas.

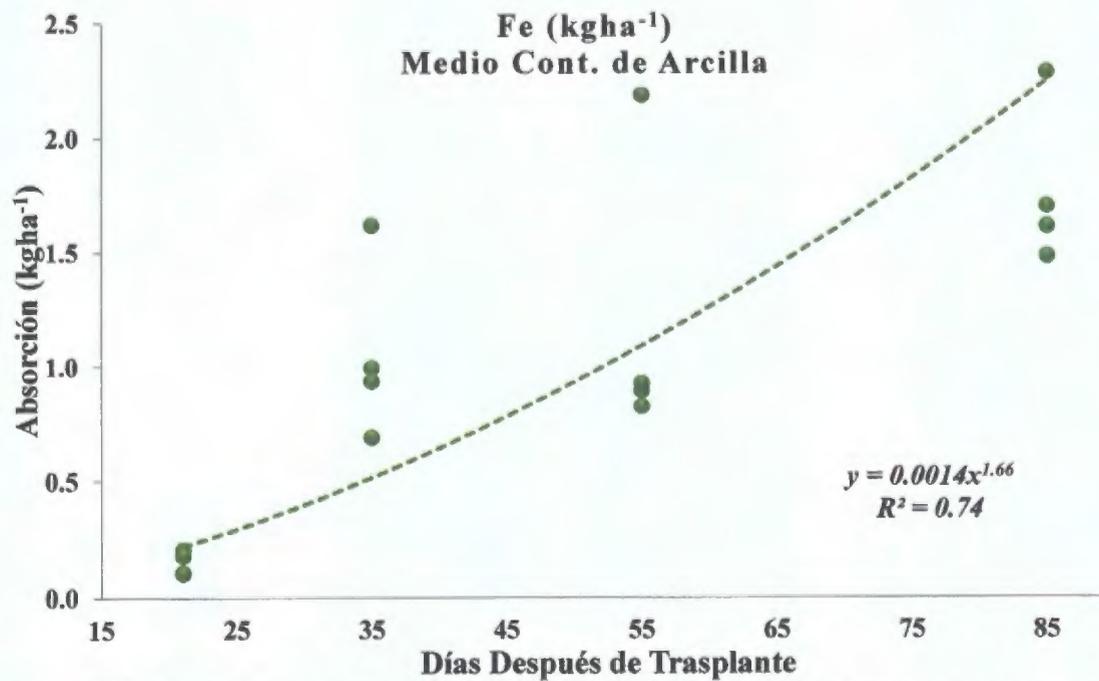
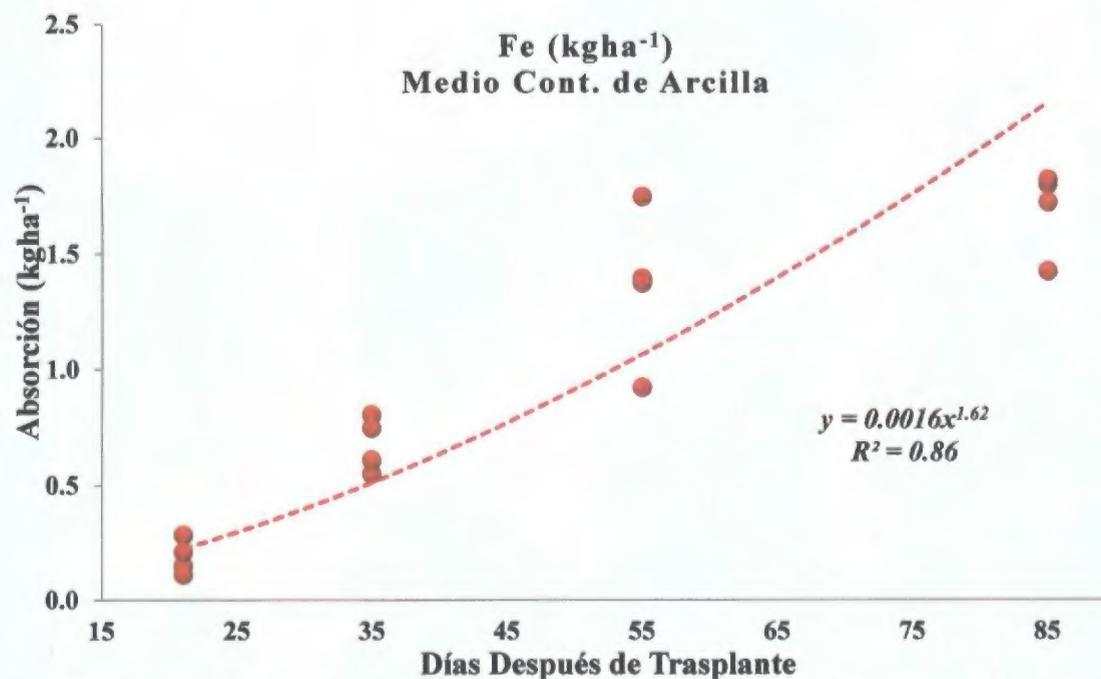


Figura 87. Regresión de la extracción total de hierro en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 88.** Regresión de la extracción total de hierro en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

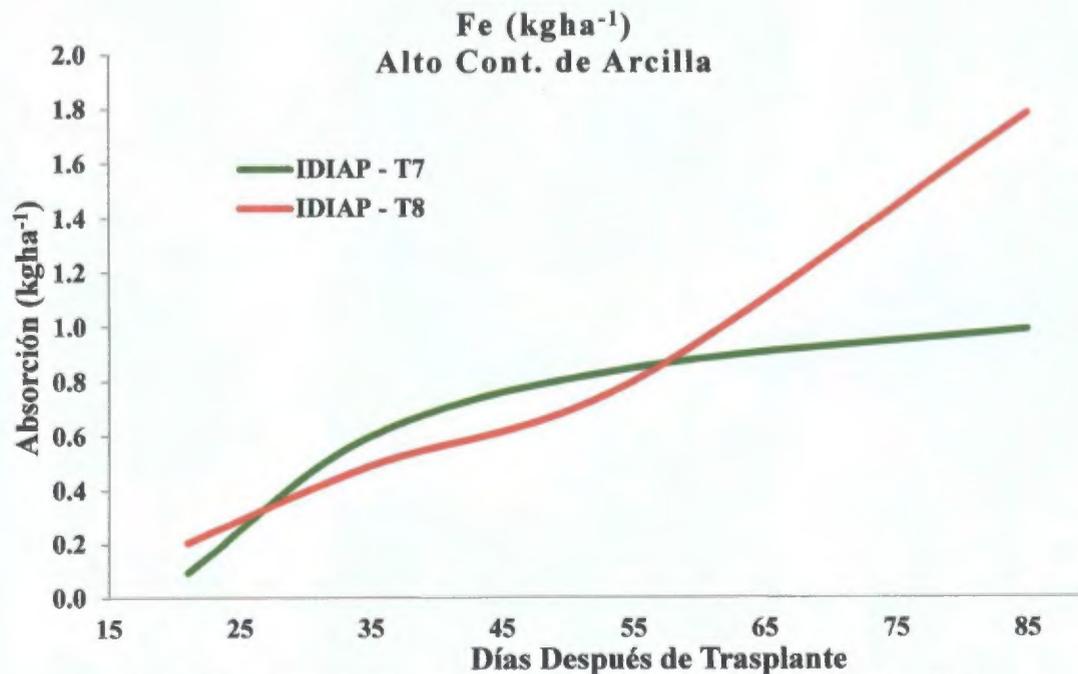
**c) Suelo con alto contenido de arcillas.**

En la Figura 89 se observa el comportamiento de las curvas de absorción de hierro para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en un suelo con alto contenido de arcillas. Las curvas de ambas variedades presentan una extracción similar hasta la fase de producción (55 ddt), cuando se produce un incremento en la extracción de la variedad *IDIAP T8*, mientras que la otra variedad mantiene su ritmo de extracción.

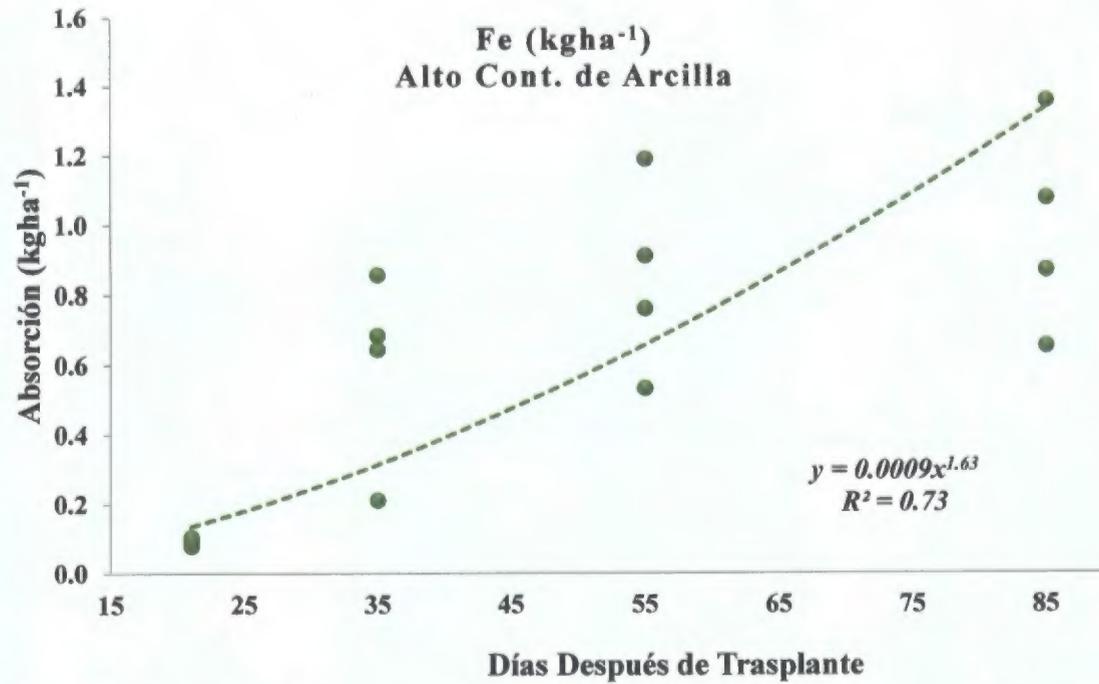
La extracción de hierro por la variedad *IDIAP T7* en un suelo con este contenido de arcillas fue de 0.09 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 0.59 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt), 0.84 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado

de fruto (55 ddt) y  $0.98 \text{ kg ha}^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de hierro por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 73% (Figura 90).

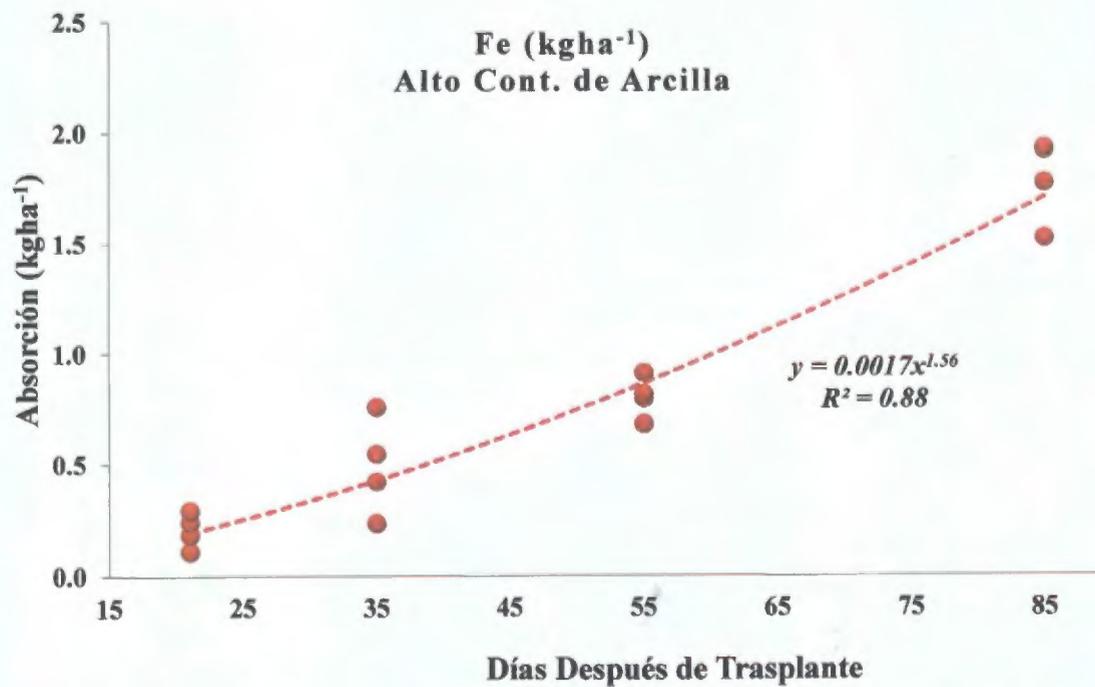
La variedad *IDIAP T8*, presenta una absorción de hierro de  $0.20 \text{ kg ha}^{-1}$  en la fase de desarrollo vegetativo,  $0.49 \text{ kg ha}^{-1}$  en la fase de floración,  $0.80 \text{ kg ha}^{-1}$  en la fase de producción,  $1.78 \text{ kg ha}^{-1}$  en la fase de maduración; para una extracción total de  $3.3 \text{ kg ha}^{-1}$ . La extracción de hierro por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 88% (Figura 91).



**Figura 89.** Curva de absorción de hierro en un suelo alto en arcillas.



**Figura 90.** Regresión de la extracción total de hierro en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 91.** Regresión de la extracción total de hierro en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

## **2.8 Curvas de absorción de zinc para *IDIAP T7* e *IDIAP T8***

Segun INTAGRI (2015) este es un nutrimento de escasa movilidad dentro de la planta sin embargo la estructura y funcionalidad de muchas proteínas depende de la presencia de zinc en la planta. Es esencial para la síntesis de carbohidratos durante la fotosíntesis en la transformación de azúcares en almidón, regula el nivel de auxinas a través de la síntesis del aminoácido triptófano en los procesos de maduración y producción de semillas favorece formación y fertilidad del polen por ello la deficiencia de Zinc tiene mayor efecto en el rendimiento del grano que en el desarrollo vegetativo. También ayuda al mantenimiento e integridad de las membranas celulares y aporta tolerancia a las plantas ante patógenos especialmente los del suelo. Es el micronutrimento más deficiente en el mundo se estima que su deficiencia puede reducir las cosechas en un 20% sin manifestar síntomas hambre oculta.

Segun Villarreal *et al* (2013) en Panamá se reporta que el 90% de los suelos son deficitarios del micronutrimento zinc con niveles bajos ( $0 - 4 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo)

### **a) Suelo con bajo contenido de arcillas**

La Figura 92 representa el comportamiento de las curvas de absorción de zinc para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8* en suelos con bajo contenido de arcillas. La curva de la

variedad *IDIAP T7* presenta un crecimiento constante desde las primeras etapas fenológicas del cultivo en cuanto a la curva de absorción para la variedad *IDIAP T8* esta presenta una estabilización durante las primeras etapas fenológicas para luego de la etapa de producción comenzar un fuerte aumento en la absorción de hierro aunque siempre por debajo del consumo de la otra variedad

La extracción de este nutrimento por la variedad *IDIAP T7* en un suelo con este contenido de arcillas fue de 0.01 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt) 0.13 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt), 0.41 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 0.69 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduración (85 ddt) La extracción de zinc por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 88% (Figura 93)

Para la variedad *IDIAP T8* la absorción de zinc fue de 0.042 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de desarrollo vegetativo 0.041 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de floración, 0.15 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de producción, 0.68 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de maduración La absorción de zinc por esta variedad mostro un coeficiente de determinación de 73% (Figura 94)

6  
t

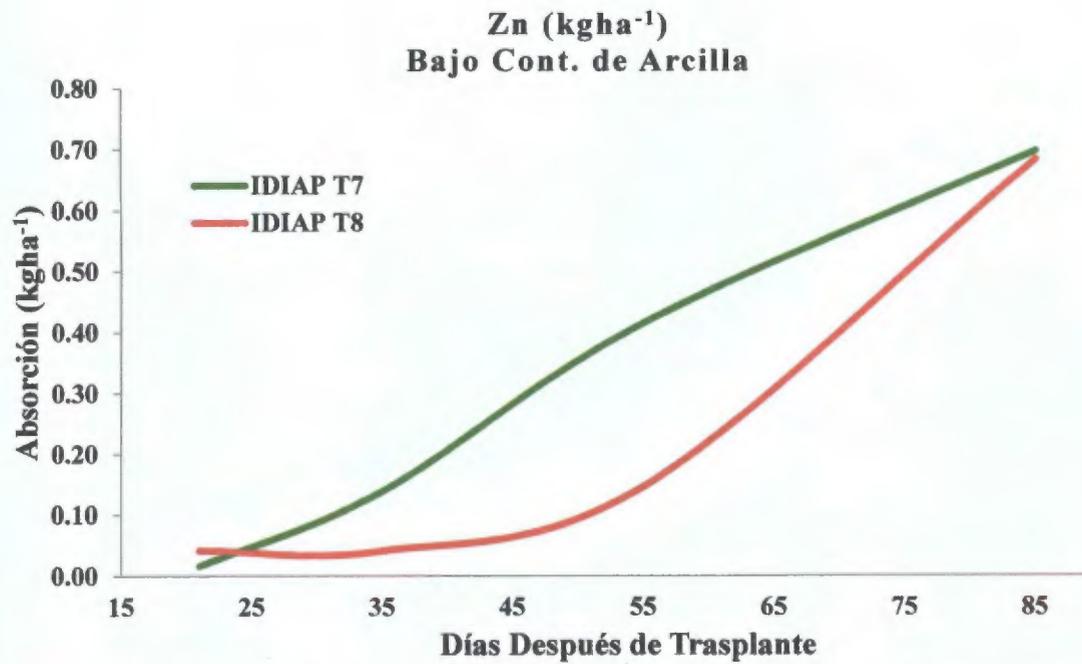


Figura 92. Curva de absorción de zinc en un suelo bajo en arcillas.

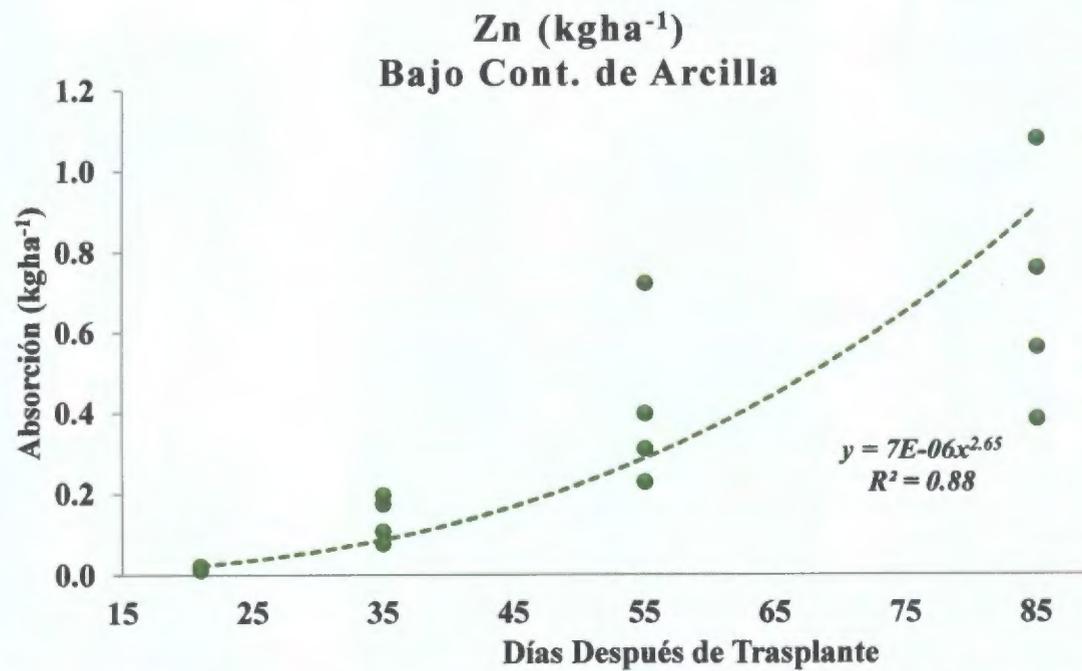
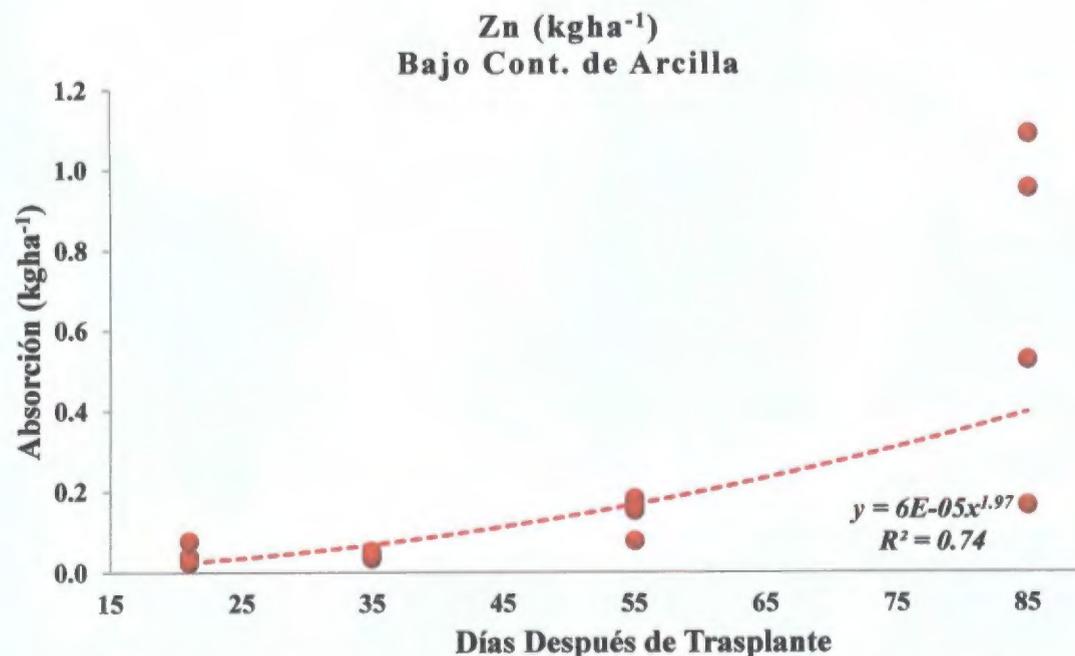


Figura 93. Regresión para la extracción total de zinc en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 94.** Regresión para la extracción total de zinc en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

**b) Suelo con contenido medio de arcillas.**

La Figura 95 muestra el comportamiento de las curvas de absorción de zinc en un suelo con contenido medio de arcillas para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8*. La curva de absorción para la variedad *IDIAP T7* presenta un crecimiento acelerado a partir de los 30 ddt que se mantiene hasta los 55 ddt, en este momento se produce una disminución en el ritmo de crecimiento de la curva. En el caso de la curva de absorción para *IDIAP T8* esta comienza con una absorción baja que se prolonga durante los primeros 45 ddt para luego comenzar un crecimiento acelerado de la absorción que se mantendrá hasta el final del ciclo de vida.

La extracción en un suelo con este contenido de arcillas fue de  $0.02 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt),  $0.14 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt),  $0.61 \text{ kg ha}^{-1}$  para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y  $0.85 \text{ kg ha}^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de zinc por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 89% (Figura 96).

En cuanto a la variedad *IDIAP T8*, la extracción de zinc fue de  $0.038 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo,  $0.053 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de floración,  $0.23 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de producción,  $0.96 \text{ kg ha}^{-1}$  en la etapa de maduración. La extracción de zinc por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 82% (Figura 97).

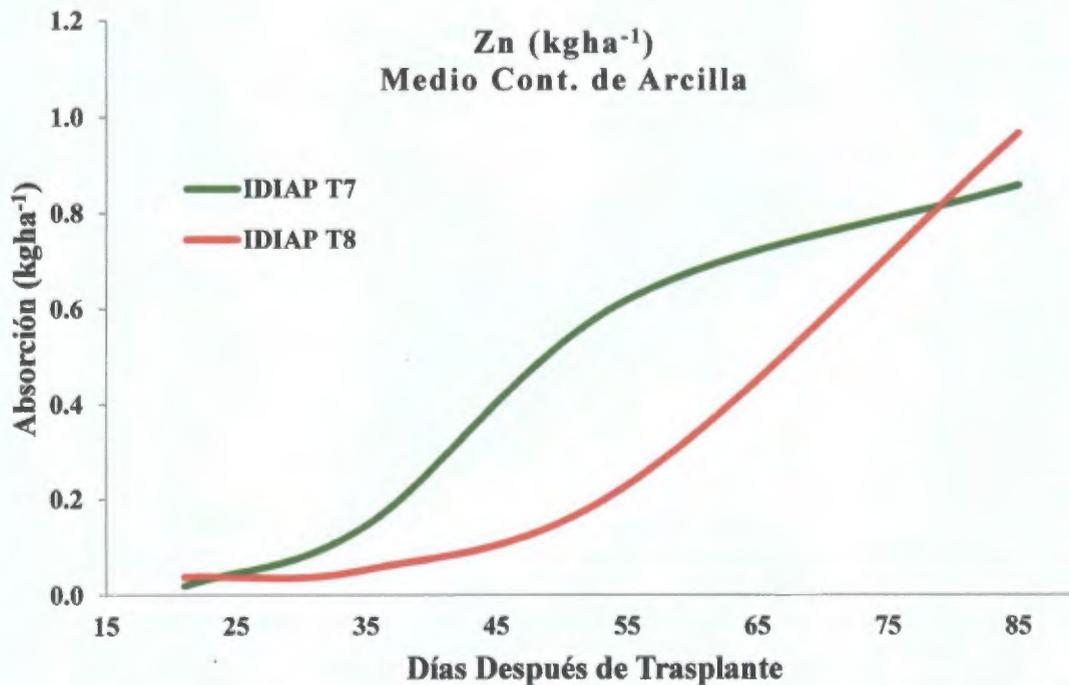
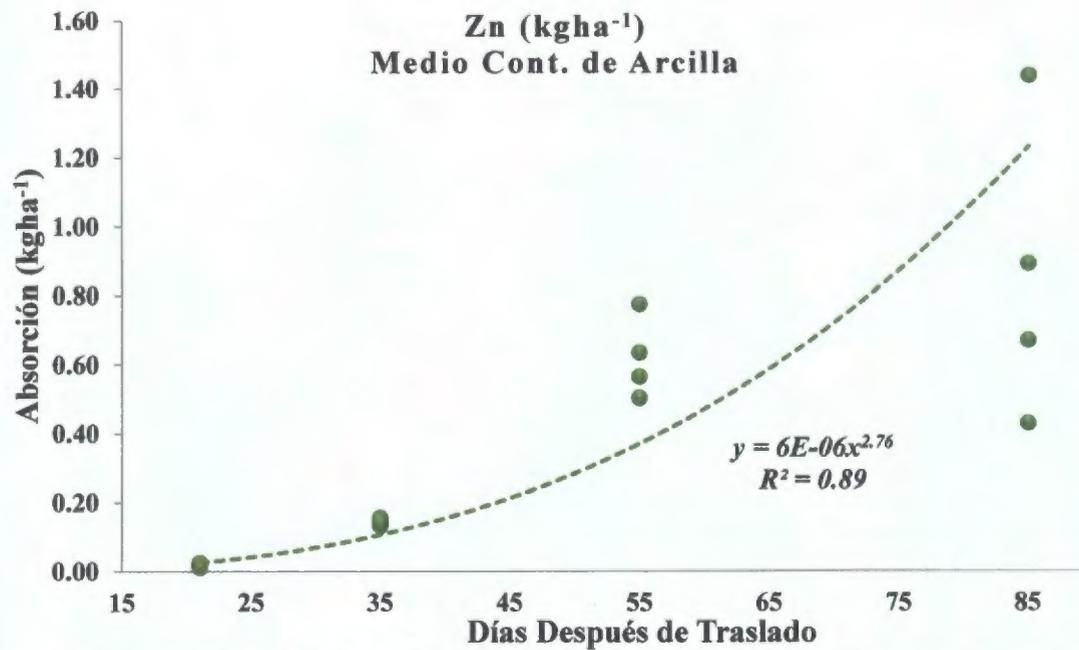
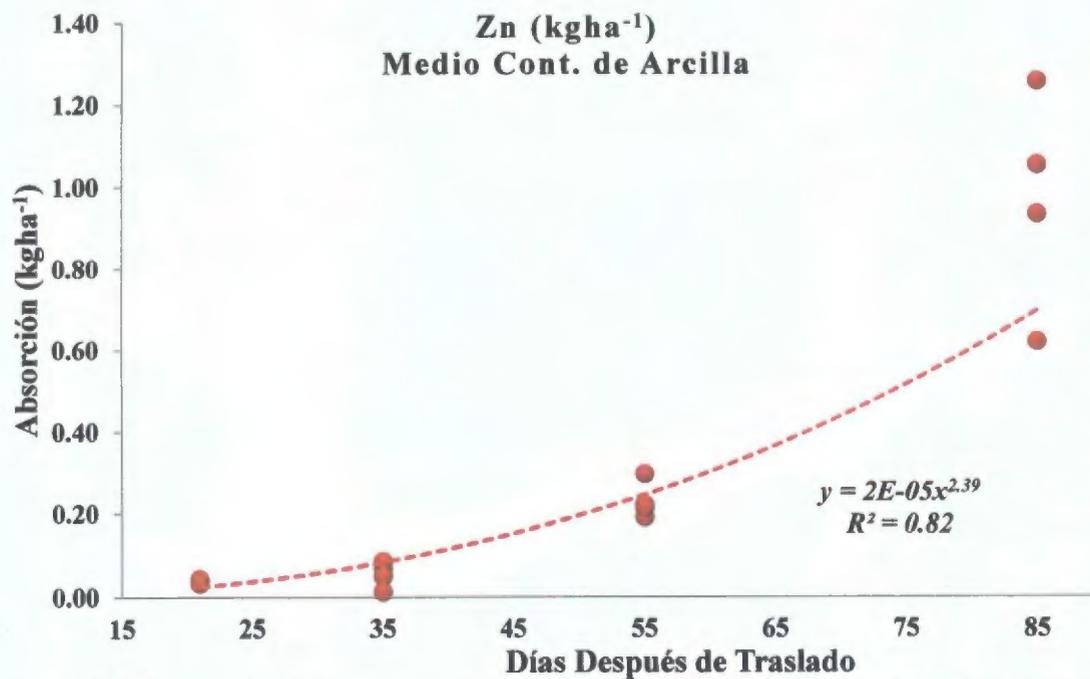


Figura 95. Curva de absorción de zinc en un suelo con contenido medio de arcillas.



**Figura 96.** Regresión de la extracción total de zinc en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



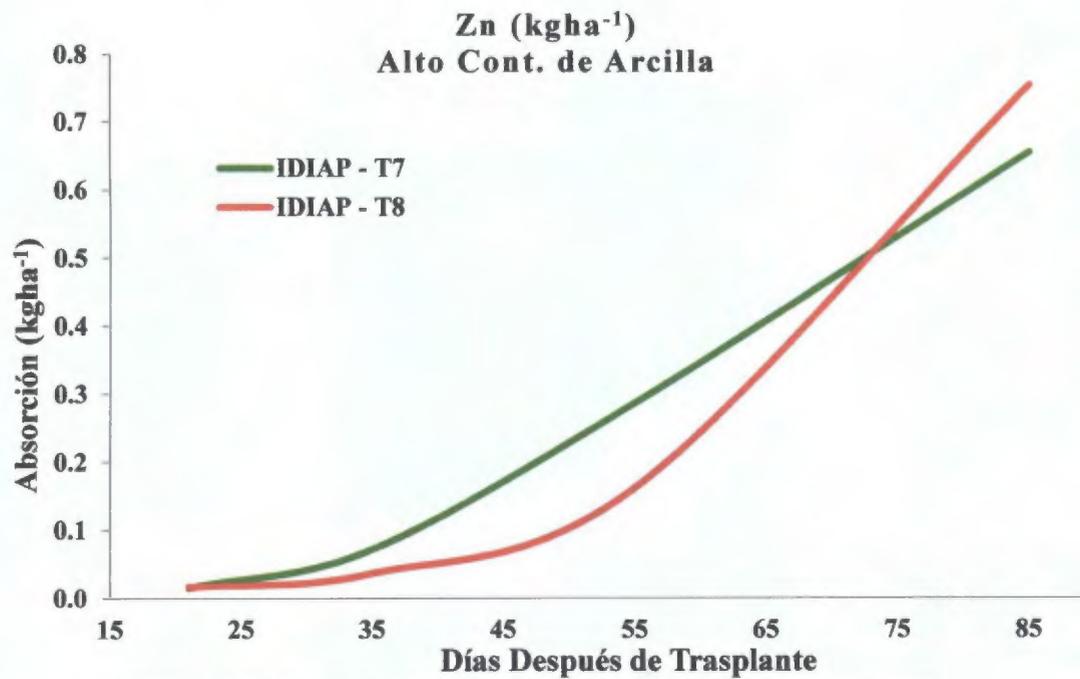
**Figura 97.** Regresión de la extracción total de zinc en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

### c) Suelo con alto contenido de arcillas

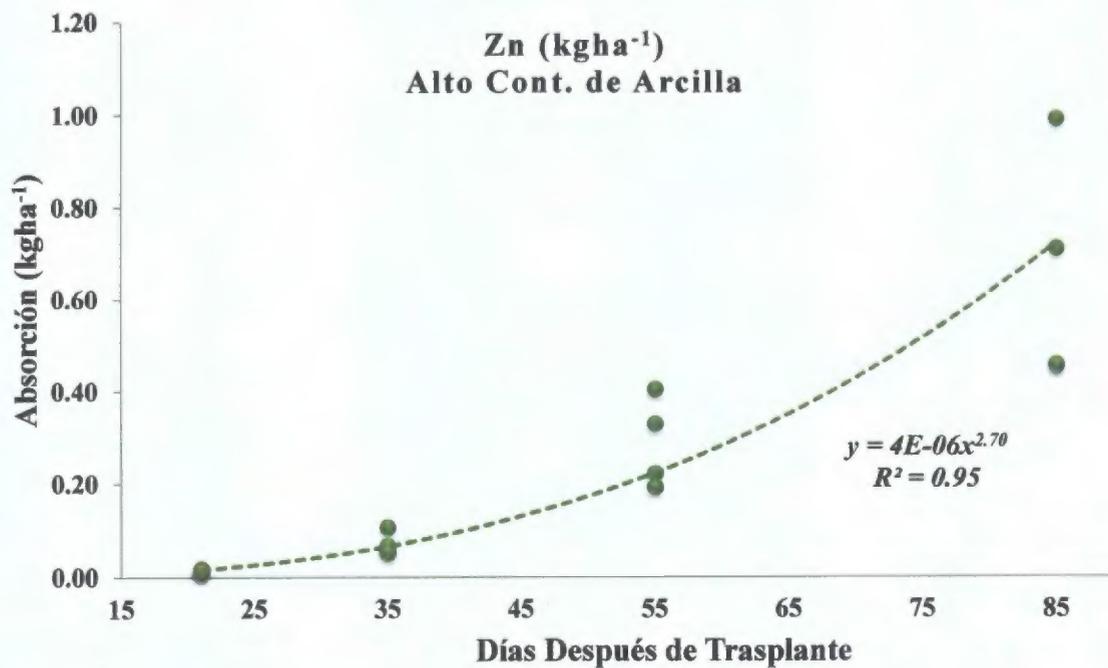
En la Figura 98, se observan las curvas de absorción de zinc en un suelo con alto contenido de arcillas para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8*. La curva para la variedad *IDIAP T7* presenta un crecimiento acelerado y constante desde los 30 ddt hasta el final del ciclo de cultivo. En cuanto a la variedad *IDIAP T8*, el crecimiento de la curva de absorción de zinc es estable hasta los 45 ddt cuando comienza un crecimiento acelerado en la extracción de este nutriente, el cual a los 70 ddt sobrepasa la extracción de la otra variedad.

La extracción en un suelo con este contenido de arcillas de la variedad *IDIAP T7* fue de 0.01 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt), 0.07 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt), 0.28 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 0.65 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de zinc por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 95% (Figura 99).

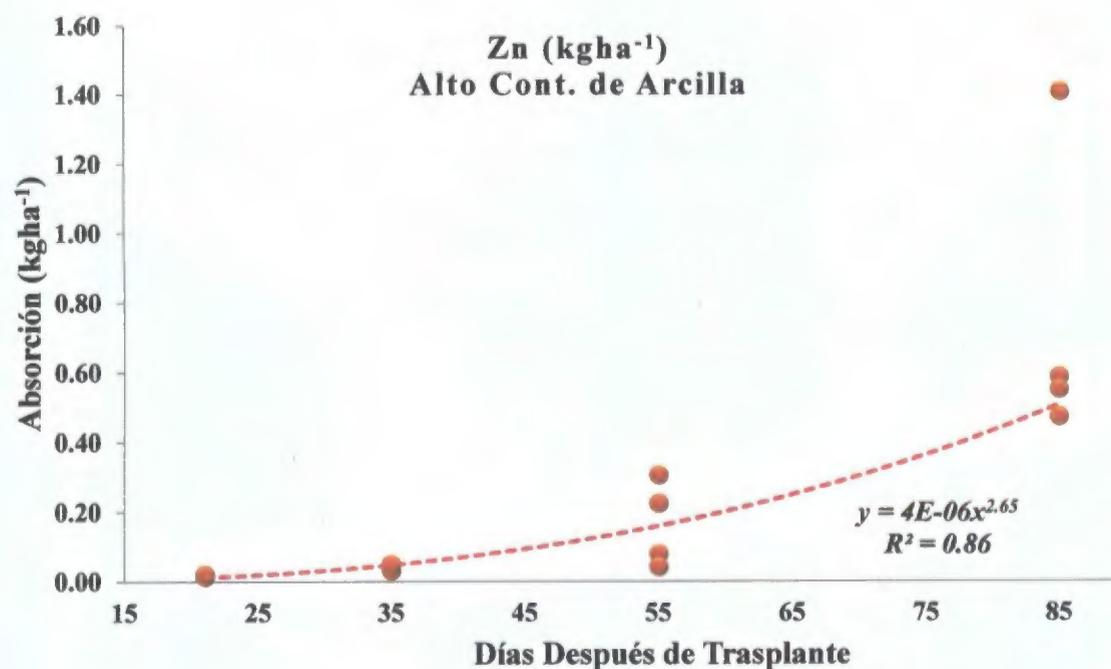
En cuanto a la variedad *IDIAP T8*, la extracción fue de 0.017 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de desarrollo vegetativo, 0.037 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de floración, 0.16 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de producción, 0.75 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de maduración. La extracción de zinc por etapa fenológica muestra un coeficiente de diferenciación de 86% (Figura 100).



**Figura 98.** Curva de absorción de zinc en un suelo alto en arcillas.



**Figura 99.** Regresión de la extracción total de zinc en un suelo con alto en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 100.** Regresión de la extracción total de zinc en un suelo con alto en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

### 2.9. Curvas de absorción de cobre para *IDIAP T7* e *IDIAP T8*.

Es un micronutriente esencial para las plantas, ya que es requerido para completar su ciclo de vida, incluyendo la producción de semillas viables. En el suelo no siempre se encuentra totalmente disponible para ser absorbido por las plantas. Algunos factores, como el pH, afectan su disponibilidad ya que esta disminuye cuando el pH >7 y aumenta con valores inferiores a 6. Normalmente está más enlazado con la materia orgánica, formando compuestos muy estables, lo cual explica por qué se produce deficiencia de cobre en suelos muy orgánicos. Los suelos arenosos tienen por naturaleza bajos contenidos de Cu, mientras

que suelos arcillosos normalmente presentan una disponibilidad mayor. Su disponibilidad esta afectada por iones antagonistas. Altos contenidos de nitrógeno y fosforo obstaculizan la absorcion de cobre y un exceso de zinc o manganeso puede acentuar la deficiencia de cobre (Sobitec 2017)

Segun Subitec (2017) Muchas proteinas que lo contienen desempeñan papeles fundamentales en procesos como la fotosintesis, respiracion, desintoxicacion de radicales superóxido y lignificación. Sin cobre no habria fotosintesis ya que este elemento es necesario para la formacion de clorofila. Las enzimas superoxido dismutasa (SOD) desintoxican los radicales superoxidos. La Cu Zn SOD por ejemplo esta localizada en los estromas de los cloroplastos donde el atomo de Cu esta involucrado en la desintoxicación de  $O_2$  generado durante la fotosintesis. Estos radicales superoxidos pueden causar severos daños a las celulas. Algunas enzimas que contienen cobre se encuentran en las paredes celulares y participan en la biosintesis de sustancias melanóticas y lignina. Algunas sustancias melanoticas como las fitoalexinas inhiben la germinacion de esporas y el crecimiento de hongos. La formacion de lignina forma una barrera mecanica como resistencia de la planta a enfermedades.

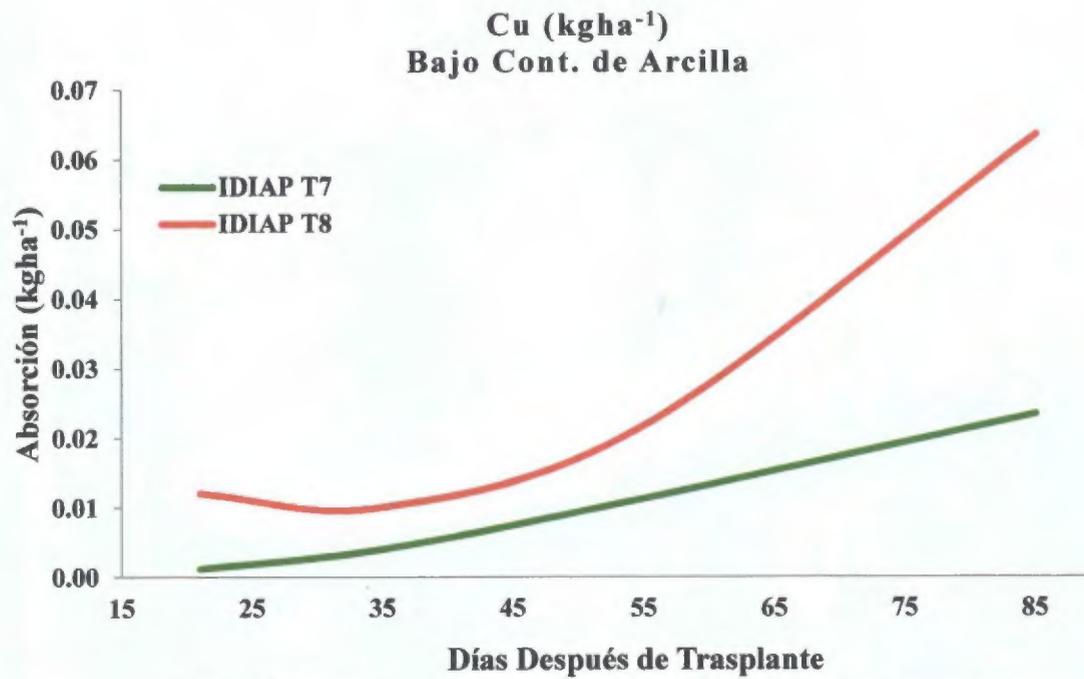
#### **a) Suelo con bajo contenido de arcillas**

En la Figura 101 se puede observar que la variedad *IDIAP T8* presenta una mayor absorcion de cobre ( $0.12 \text{ kg ha}^{-1}$ ) que la variedad *IDIAP T7* ( $0.041 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Durante el ciclo de cultivo el *IDIAP T8* presento una absorcion muy similar a la del *IDIAP T7* sin embargo

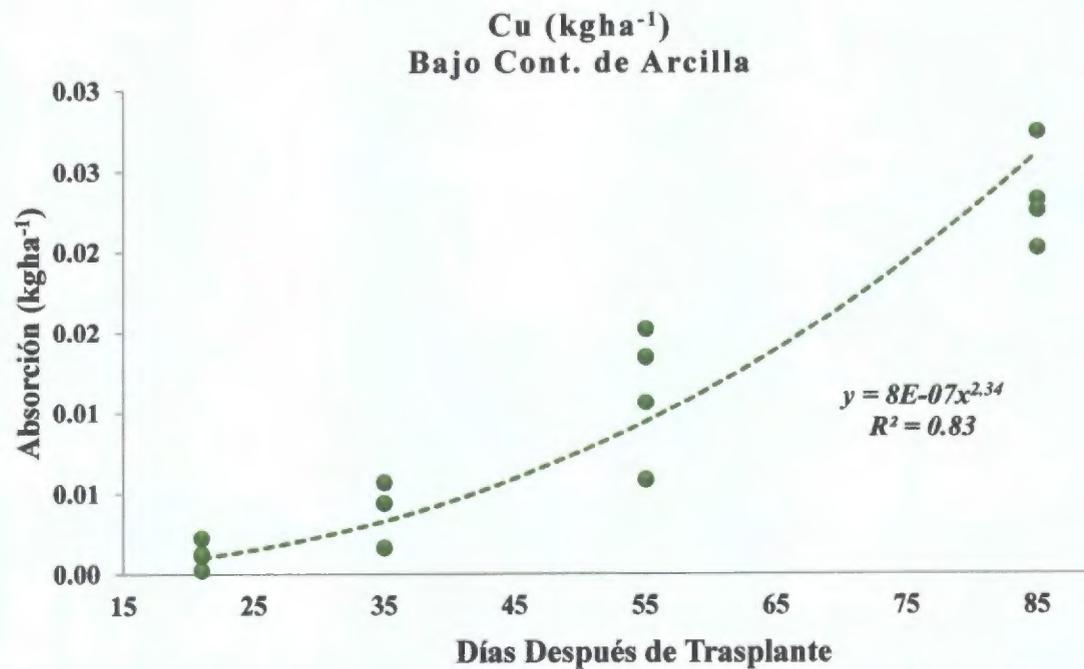
para los 55 ddt esta absorción se incrementa de forma acelerada mientras que el *IDIAP T7* presentó una curva menos pronunciada

La extracción de cobre por *IDIAP T7* en un suelo con bajo contenido de arcillas fue de 0 001 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt) 0 004 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt) 0 011 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 0 023 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduración (85 ddt) La extracción de cobre por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 83% (Figura 102)

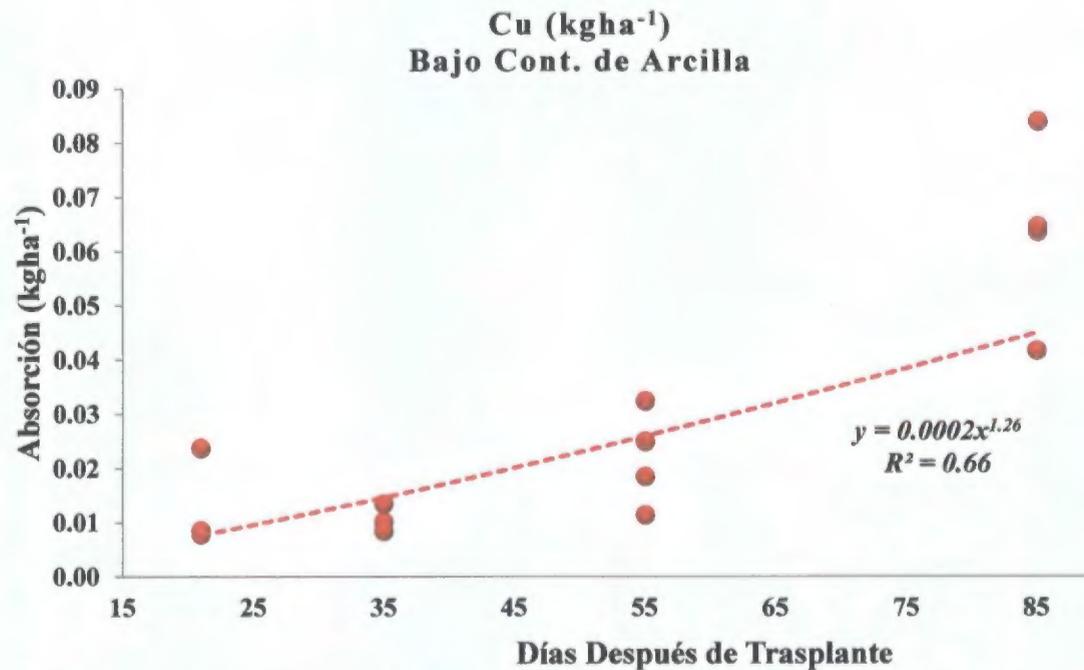
En el caso de *IDIAP T8* en un suelo de las mismas características en la etapa de desarrollo vegetativo (21 ddt) se presentó una absorción de 0 012 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de floración (35 ddt) la absorción fue de 0 01 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de producción la absorción fue de 0 021 kg ha<sup>-1</sup> y en la etapa de maduración (85 ddt) la absorción fue de 0 063 kg ha<sup>-1</sup> La extracción de cobre por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 66% (Figura 103)



**Figura 101.** Curva de absorción de cobre en un suelo bajo en arcillas.



**Figura 102.** Regresión para la extracción total de cobre en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



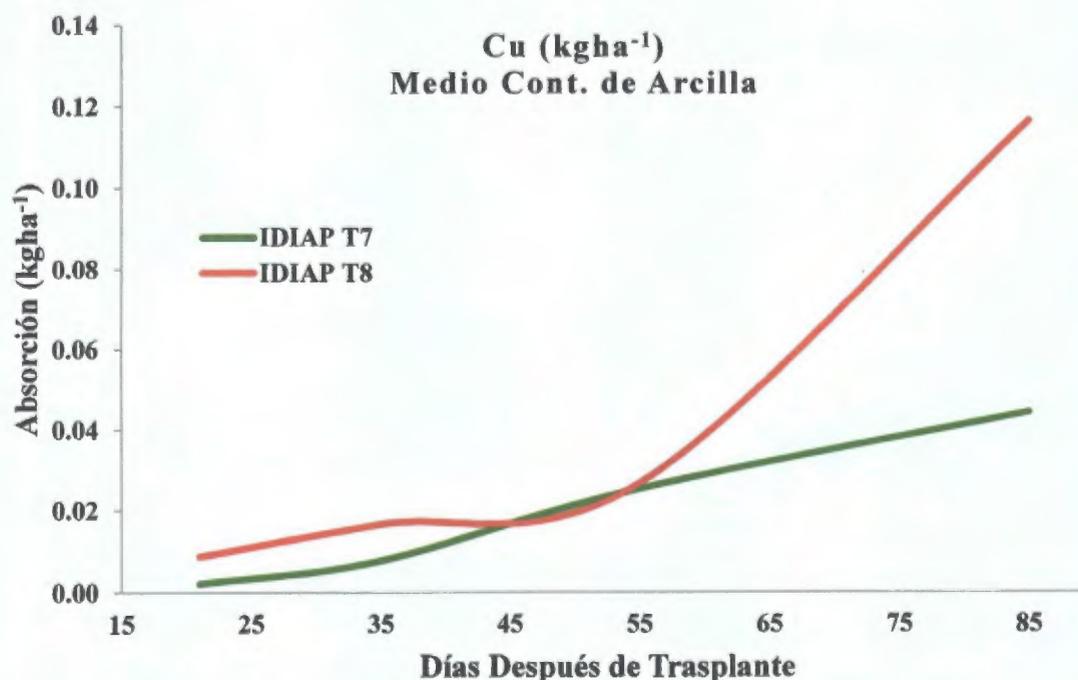
**Figura 103.** Regresión para la extracción total de cobre en un suelo bajo en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

**b) Suelo con contenido medio de arcillas.**

La Figura 104 presenta el comportamiento de las curvas de absorción de cobre en un suelo con un contenido medio de arcillas. Para la variedad *IDIAP T7*, se presenta una absorción baja de crecimiento sostenido desde la fase de desarrollo vegetativo (21 ddt) hasta la maduración de la producción (85 ddt); en el caso de la variedad *IDIAP T8*, presenta una absorción un poco mayor que el *IDIAP T7* desde los 21 ddt, sin embargo, para los 55 ddt (etapa de llenado de frutos) comienza un aumento acelerado en la absorción de cobre que se mantiene hasta la etapa de maduración (85 ddt).

La extracción de cobre para la variedad *IDIAP T7* en este tipo de suelo fue en las siguientes cantidades por etapa de desarrollo del cultivo: 0.002 kg $\text{ha}^{-1}$  para la etapa de desarrollo vegetativo (21 ddt), 0.007 kg $\text{ha}^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt), 0.025 kg $\text{ha}^{-1}$  para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 0.044 kg $\text{ha}^{-1}$  para la fase de maduración (85 ddt). La extracción de cobre por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 88% (Figura 105).

Para la variedad *IDIAP T8*, la extracción de cobre fue de: 0.009 kg $\text{ha}^{-1}$  en la etapa de desarrollo vegetativo (21 ddt), 0.017 kg $\text{ha}^{-1}$  para la etapa de floración (35 ddt), 0.027 kg $\text{ha}^{-1}$  para la etapa de producción (55 ddt) y 0.116 kg $\text{ha}^{-1}$  para la etapa de maduración. La extracción de cobre por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 83% (Figura 106).



**Figura 104.** Curva de absorción de cobre en un suelo con contenido medio de arcillas.

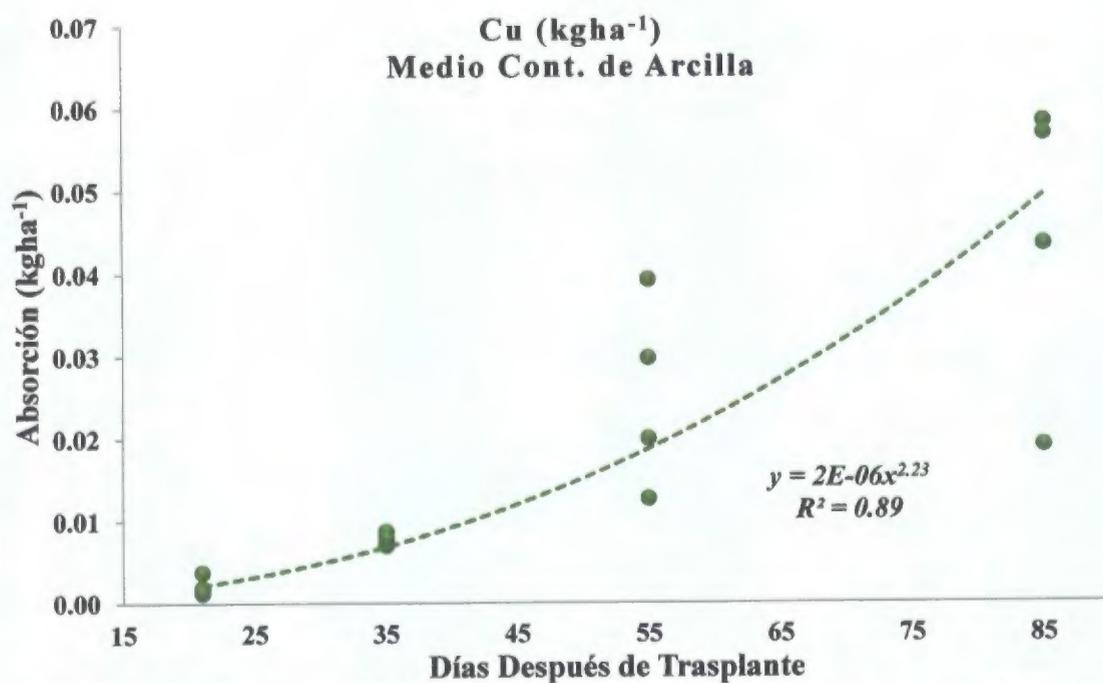
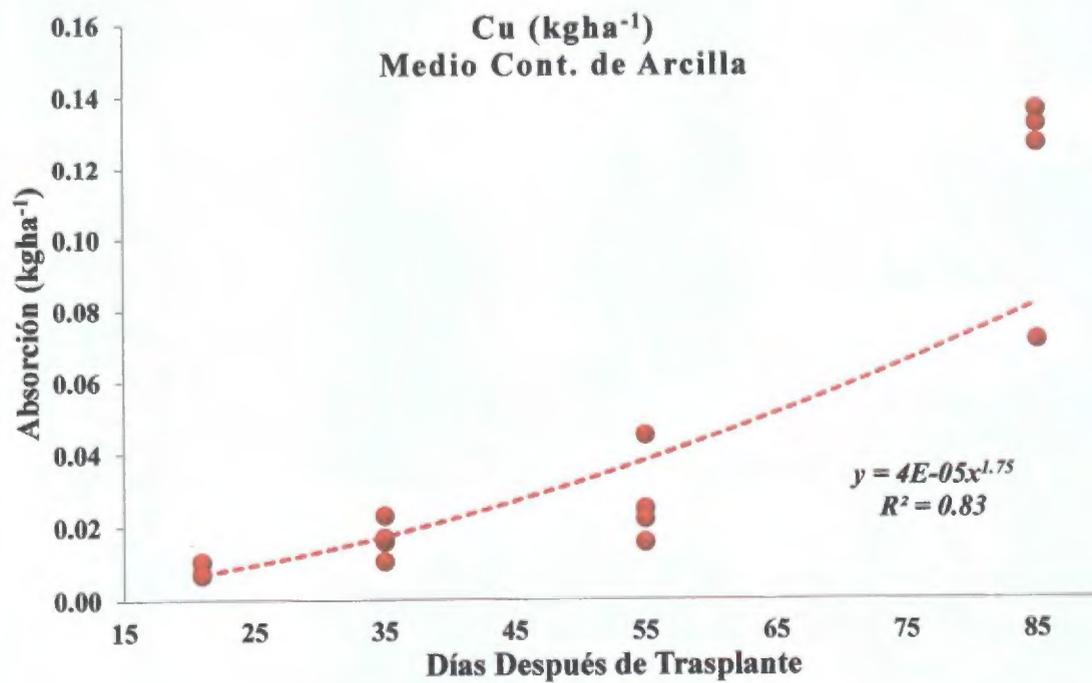


Figura 105. Regresión para la extracción de cobre en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



**Figura 106** Regresión para la extracción de cobre en un suelo con contenido medio de arcillas para la variedad *IDIAP T8*

**c) Suelo con alto contenido de arcillas**

En la Figura 107 se presenta las curvas de absorción de cobre en un suelo con alto contenido de arcillas para las variedades *IDIAP T7* e *IDIAP T8*, durante las dos primeras etapas fenológicas se observa que la absorción de cobre de ambas variedades es muy similar. Luego de la etapa de floración se presenta un gran cambio en la absorción de cobre la variedad *IDIAP T8* muestra un aumento en su demanda de cobre que se mantiene hasta la etapa de maduración, por otro lado la variedad *IDIAP T7* presenta una ligera estabilización de su absorción hasta la etapa de llenado de fruto (55 ddt) luego del cual aumenta su consumo pero siempre por debajo de la demanda de la variedad *IDIAP T8*.

La extracción de cobre por la variedad *IDIAP T7* fue de 0 001 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt) 0 009 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de floración (35 ddt), 0 015 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de producción o llenado de fruto (55 ddt) y 0 04 kg ha<sup>-1</sup> para la fase de maduración (85 ddt).

La extracción de cobre por etapa fenológica muestra un coeficiente de determinación de 80% (Figura 108).

La extracción de cobre para la variedad *IDIAP T8* fue de 0 005 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa fenológica de desarrollo vegetativo (21 ddt) 0 008 kg ha<sup>-1</sup> en la etapa de floración (35 ddt) 0 036 kg ha<sup>-1</sup> en la fase de producción (55 ddt) y 0 055 kg ha<sup>-1</sup> para la etapa de maduración.

a extracción de cobre por etapa fenológica para este tipo de suelo muestra un coeficiente de determinación de 91% (Figura 109).

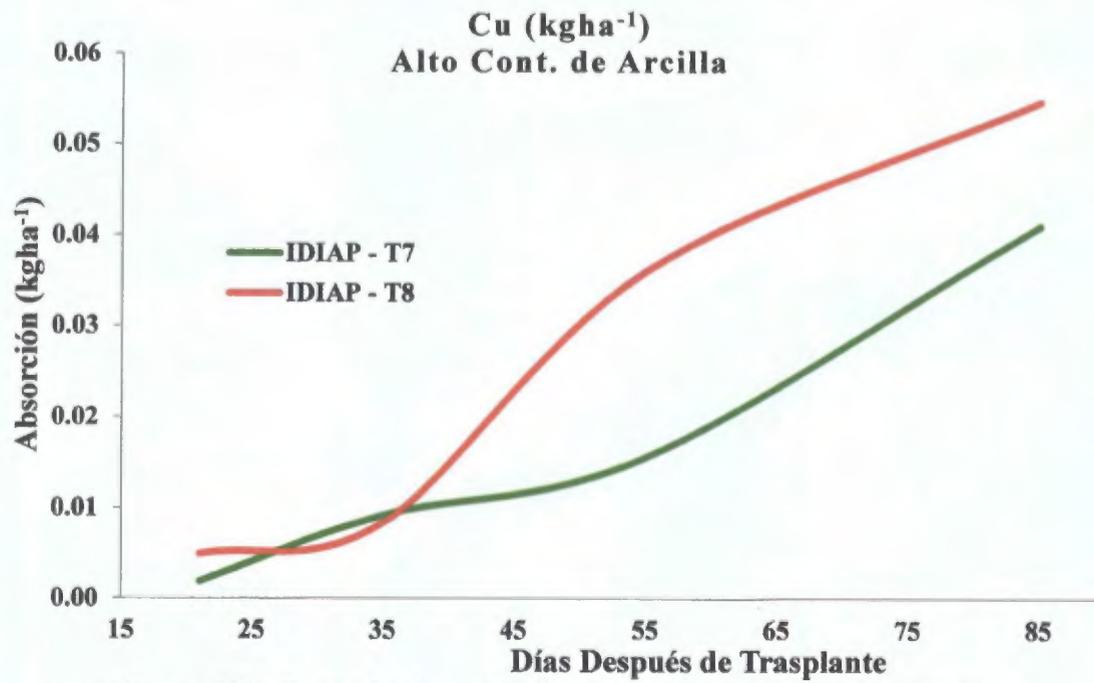
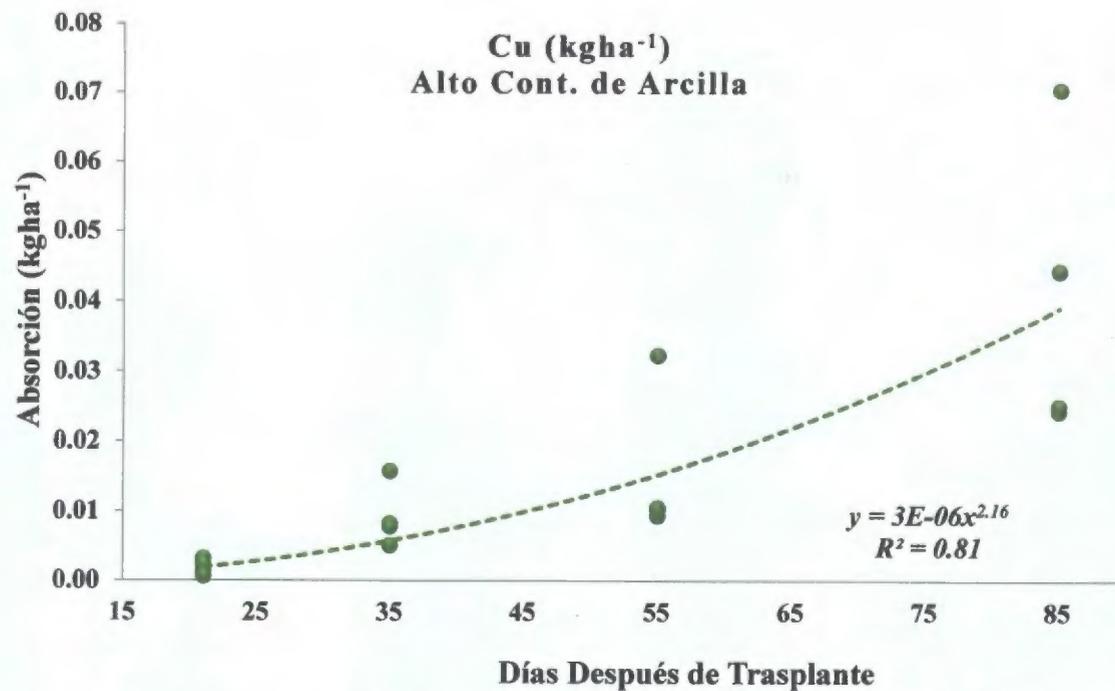
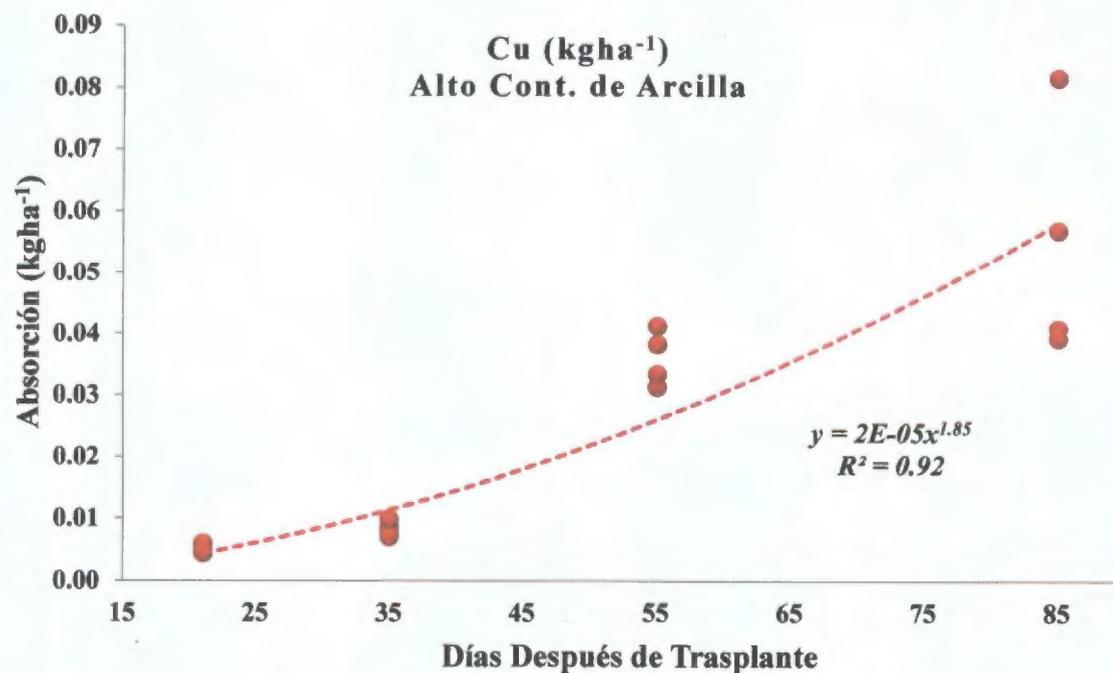


Figura 107. Curva de absorción de cobre en un suelo alto en arcillas.



**Figura 108.** Regresión de la extracción total de cobre en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T7*.



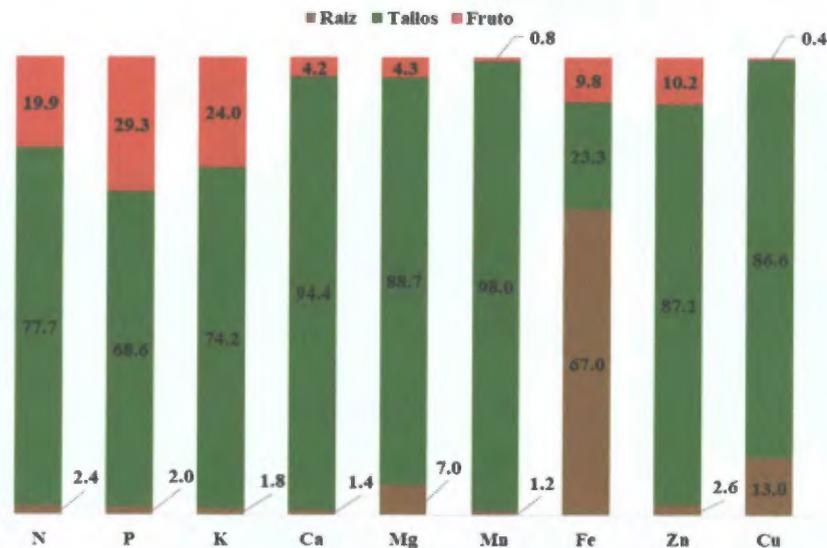
**Figura 109.** Regresión de la extracción total de cobre en un suelo alto en arcillas para la variedad *IDIAP T8*.

### **3 EXTRCCIÓN RELATIVA DE NUTRIMENTOS**

Determinar la extraccion que los diferentes organos de la planta realizan es de mucha importancia al momento de diseñar planes de fertilizacion para un cultivo. Dependiendo del tipo de producto que se va a cosechar y el uso que se le va a dar al rastrojo se puede conocer cuanto de la reserva de nutrimentos del suelo sale del sistema. Esto es aplicable a suelos que son cultivados continuamente donde la cosecha (fruto) sale del sistema y es posible el uso del rastrojo para a alimentacion de animales.

#### **3.1 Extracción relativa de nutrimentos en suelo con contenido bajo en arcillas**

En un suelo con bajo contenido de arcillas la variedad *IDIAP T7* presenta una menor extracción de nutrimentos con respecto al *IDIAP T8*.



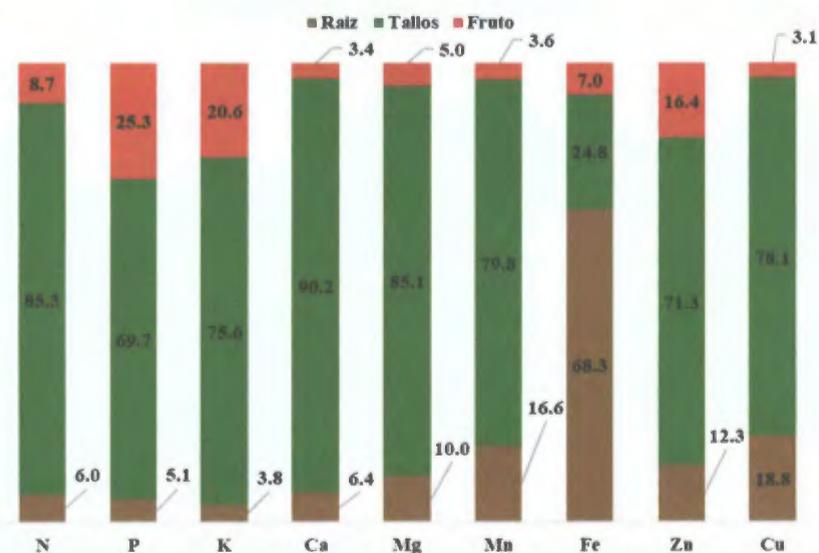
**Figura 110.** Extracción relativa de nutrientes por la variedad *IDIAP T7* en suelo con contenido bajo de arcillas.

La Figura 110 representa la extracción relativa de la variedad *IDIAP T7* de los diferentes nutrientes en un suelo con bajo contenido de arcillas en cada parte de la planta, de esta se puede deducir que el orden de importancia de los nutrientes para el fruto fue:  $P > K > Zn > N > Fe > Mg > Mn > Ca > Cu$ ; en el caso del follaje el orden fue:  $Ca > Mg > N > Mn > Cu > K > P > Zn > Fe$ , y en cuanto al sistema radicular el orden de importancia fue:  $Fe > Cu > Mn > Zn > Mg > N > Ca > P > K$ .

Basado en la absorción total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), el orden de importancia de los nutrientes para este tipo de suelo fue el siguiente:  $K > N > Ca > P > Mg > Mn > Fe > Zn > Cu$ .

La asimilación de los nutrientes en los diferentes tejidos de la planta se contabilizó en valores porcentuales, de la siguiente forma: *nitrógeno*, el 2.4% (raíces), 77.7% (tallos y hojas) y 19.9% (fruto); *fósforo*, 68.6% (tallos y hojas), 29.3% (frutos) y 2.1% (raíces); *potasio*, 74.2% (tallos y hojas), el 24.0% (frutos) y 1.8% (raíces); *calcio*, 94.4% (tallos y hojas), 4.2% (frutos) y 1.4% (raíces); *magnesio*, 88.7% (tallos y hojas), 4.3% (frutos) y 7.0% (raíces); *manganeso*, 98% (tallos y hojas), 0.80% (frutos) y 1.2% (raíces); *hierro*,

23.3% (tallos y hojas), 9.7% (frutos) y 67% (raíces); *zinc*, 87.2% (tallos y hojas), 10.2% (frutos) y 2.6% (raíces); *cobre*, 86.6% (tallos y hojas), 0.40% (frutos) y 13% (raíces) (Figura 110)



**Figura 111.** Extracción relativa de nutrientes por la variedad *IDIAP T8* en suelo con contenido bajo de arcillas.

La Figura 111, representa la extracción relativa de nutrientes en cada parte de la planta para la variedad *IDIAP T8* en un suelo con bajo contenido de arcillas. El orden de importancia de los nutrientes es el siguiente, raíces: Fe > Cu > Mn > Zn > Mg > N > Ca > P > K; en los frutos: P > K > Zn > N > Fe > Mg > Mn > Ca > Cu; y en el follaje: Ca > Mg > N > Mn > Cu > K > P > Zn > Fe.

Basado en la absorción total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), el orden de importancia de los nutrientes para este tipo de suelo fue el siguiente: N > K > Ca > P > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu.

La asimilación de los nutrientes en los diferentes tejidos de la planta se contabilizó en valores porcentuales, de la siguiente forma: *nitrógeno*, el 6% (raíces), 85.3% (tallos y hojas) y 8.7% (fruto); *fósforo*, 69.7% (tallos y hojas), 25.3% (frutos) y 5.1% (raíces);

potasio, 75.6% (tallos y hojas), el 20.6% (frutos) y 3.8% (raíces); calcio, 90.2% (tallos y hojas), 3.4% (frutos) y 6.4% (raíces); magnesio, 85% (tallos y hojas), 5% (frutos) y 10.0% (raíces); manganeso, 79.8% (tallos y hojas), 3.6% (frutos) y 16.6% (raíces); hierro, 24.8% (tallos y hojas), 7% (frutos) y 68.3% (raíces); zinc, 71.3% (tallos y hojas), 16.4% (frutos) y 12.3% (raíces); cobre, 78.1% (tallos y hojas), 3.1% (frutos) y 18.8% (raíces) (Figura 111)

### 3.2 Extracción relativa de nutrimentos en suelo con contenido medio de arcillas.

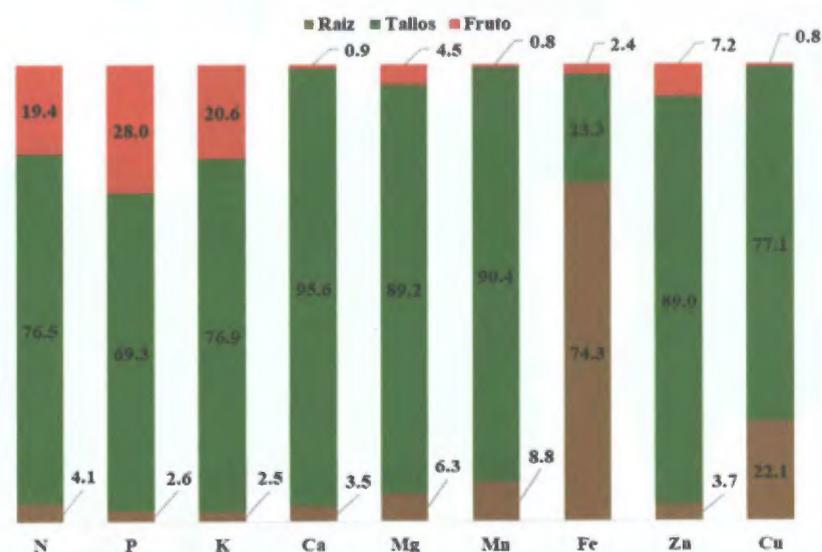


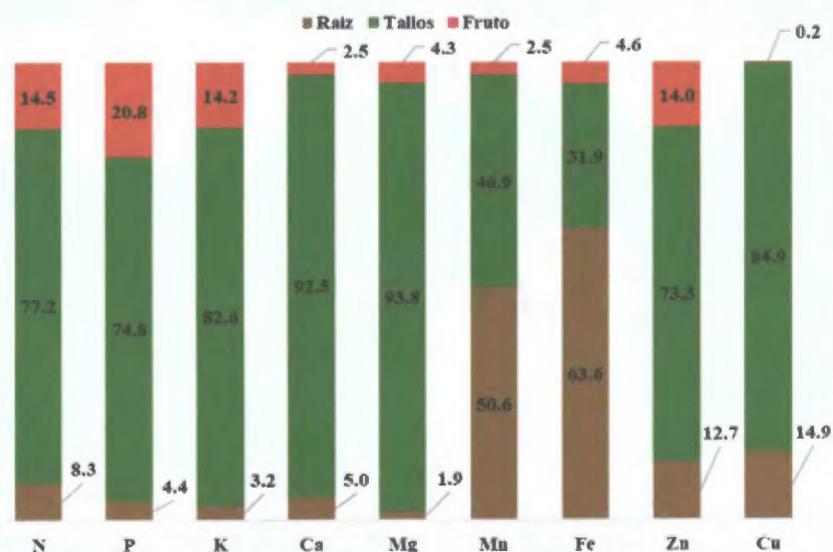
Figura 112. Extracción relativa de nutrimentos por la variedad *IDIAP T7* en suelo con contenido medio de arcillas.

La Figura 112, es una representación de la extracción relativa de nutrimentos por los diferentes componentes de la planta de la variedad *IDIAP T7* en un suelo con contenido medio de arcillas. El orden de importancia de los nutrimentos en cada componente de la planta es el siguiente: raíces: Fe > Cu > Mn > Zn > N > Ca > P > K > Mg; en los frutos: P

> K > N > Zn > Mg > Cu > Fe > Ca > Mn; y en el follaje: Ca > Mg > Mn > Zn > N = K > P > Cu.

Basado en la absorción total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), el orden de importancia de los nutrientes para este tipo de suelo fue el siguiente: K > N > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu.

La asimilación de los nutrientes en los diferentes tejidos de la planta se contabilizó en valores porcentuales, de la siguiente forma: *nitrógeno*, el 4.1% (raíces), 76.5% (tallos y hojas) y 19.5% (fruto); *fósforo*, 69.3% (tallos y hojas), 28% (frutos) y 2.6% (raíces); *potasio*, 76.9% (tallos y hojas), el 20.6% (frutos) y 2.5% (raíces); *calcio*, 95.6% (tallos y hojas), 0.90% (frutos) y 3.5% (raíces); *magnesio*, 89.2% (tallos y hojas), 4.5% (frutos) y 6.3% (raíces); *manganeso*, 90.4% (tallos y hojas), 0.80% (frutos) y 8.8% (raíces); *hierro*, 23.3% (tallos y hojas), 2.4% (frutos) y 74.3% (raíces); *zinc*, 89% (tallos y hojas), 7.2% (frutos) y 3.7% (raíces); *cobre*, 77.1% (tallos y hojas), 0.80% (frutos) y 22.1% (raíces) (Figura 112).



**Figura 113.** Extracción relativa de nutrientes por la variedad *IDIAP T8* en suelo con contenido medio de arcillas.

La Figura 113 representa la extracción relativa de nutrimentos en un suelo con un contenido medio de arcillas por la variedad *IDIAP T8* y su acumulación proporcional en los diferentes tejidos de la planta. El orden de importancia de los nutrimentos en cada parte de la planta es el siguiente: raíces  $Fe > Mn > Cu > Zn > N > Mg > P > Ca > K$  en los frutos  $P > Zn > Cu > N = K > Mg > Fe > Mn > Ca$  y en el follaje  $Ca > Mg > K > N > P > Zn > Cu > Mn > Fe$ .

Basado en la absorción total ( $kg\ ha^{-1}$ ) el orden de importancia de los nutrimentos para este tipo de suelo fue el siguiente:  $K > N > Ca > P > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu$ .

La asimilación de los nutrimentos en los diferentes tejidos de la planta se contabilizó en valores porcentuales de la siguiente forma: *nitrogeno* el 8.3% (raíces), 77.2% (tallos y hojas) y 14.5% (fruto), *fosforo* 74.8% (tallos y hojas), 20.8% (frutos) y 4.4% (raíces), *potasio* 82.6% (tallos y hojas), el 14.2% (frutos) y 3.2% (raíces), *calcio* 92.5% (tallos y hojas), 2.5% (frutos) y 5% (raíces), *magnesio* 93.8% (tallos y hojas), 4.3% (frutos) y 1.9% (raíces), *manganeso* 46.9% (tallos y hojas), 2.5% (frutos) y 50.6% (raíces), *hierro* 31.9% (tallos y hojas), 4.6% (frutos) y 63.6% (raíces), *zinc* 73.3% (tallos y hojas), 12.7% (frutos) y 14% (raíces), *cobre* 84.9% (tallos y hojas), 0.20% (frutos) y 14.9% (raíces) (Figura 113).

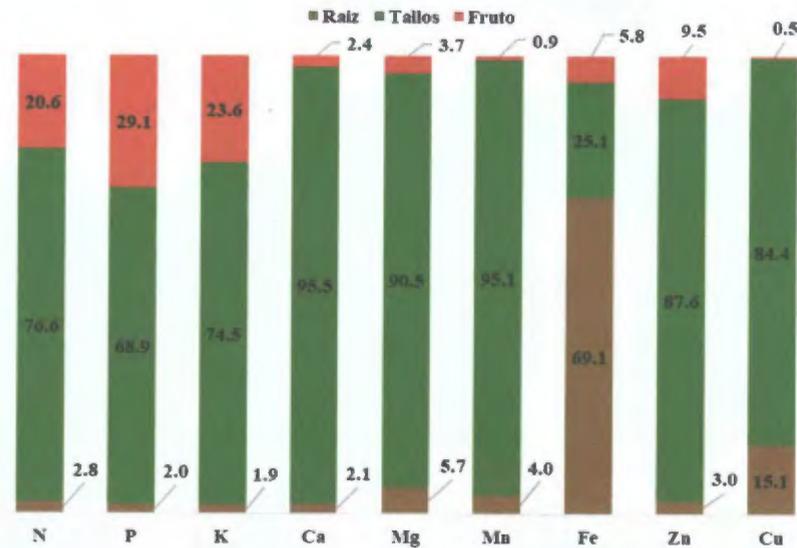
### **3.3 Extracción relativa de nutrimentos en suelo con contenido alto en arcillas**

La Figura 114 es la representación de la extracción relativa de nutrimentos por la variedad *IDIAP T7* en un suelo con alto contenido de arcillas y su respectiva acumulación

proporcional en las diversas partes de la planta. El orden de importancia de los nutrimentos por cada sección de la planta es el siguiente: raíces  $Fe > Cu > P > Mn > N > Zn > Mg > K > Ca$ ; en los frutos  $Cu > P > K > N > Zn > Fe > Mg > Ca > Mn$ ; y en el follaje  $Ca > Mn > Mg > Zn > N > K > P > Cu > Fe$ .

Basado en la absorción total ( $kg\ ha^{-1}$ ) el orden de importancia de los nutrimentos para este tipo de suelo fue el siguiente:  $K > N > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu$ .

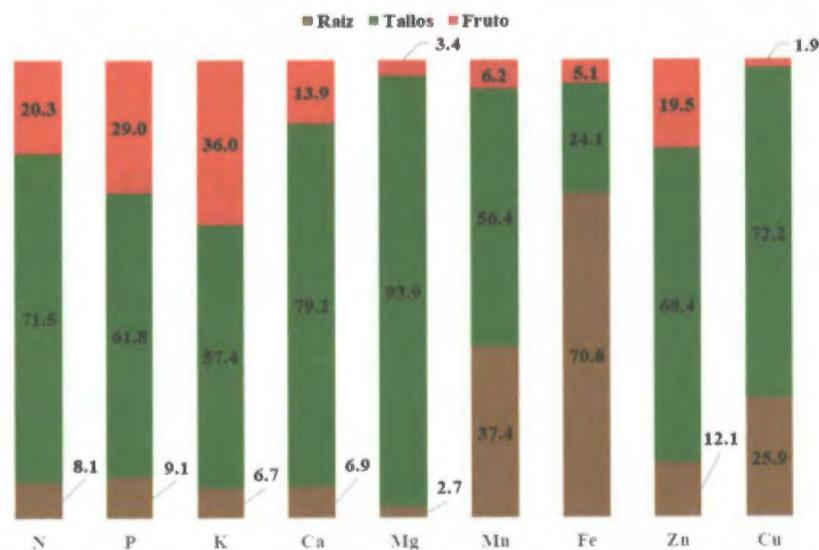
La asimilación de los nutrimentos en los diferentes tejidos de la planta se contabilizó en valores porcentuales de la siguiente forma: *nitrogeno* el 2% (raíces), 75.5% (tallos y hojas) y 22.5% (fruto); *fosforo*, 68.9% (tallos y hojas), 29.7% (frutos) y 1.4% (raíces); *potasio* 72.1% (tallos y hojas), el 26.5% (frutos) y 1.4% (raíces); *calcio* 96.7% (tallos y hojas), 1.7% (frutos) y 1.7% (raíces); *magnesio* 92.6% (tallos y hojas), 2.8% (frutos) y 4.5% (raíces); *manganeso* 97.1% (tallos y hojas), 1.1% (frutos) y 1.7% (raíces); *hierro*, 30% (tallos y hojas), 8.1% (frutos) y 69.1% (raíces); *zinc* 86% (tallos y hojas), 11.6% (frutos) y 2.4% (raíces); *cobre*, 90% (tallos y hojas), 0.20% (frutos) y 9.7% (raíces) (Figura 114).



**Figura 114.** Extracción relativa de nutrientes por la variedad *IDIAP T7* en suelo con contenido alto de arcillas.

En la Figura 115 se muestra la extracción relativa de nutrientes por la variedad *IDIAP T8* en un suelo con alto contenido de arcillas y su respectiva acumulación en los diferentes componentes de la planta. El orden de importancia de los nutrientes en los tejidos de la planta es el siguiente; raíces: Fe > Mn > Cu > Zn > P > N > K > Ca > Mg, en los frutos: K > P > Zn > N > Mn > Fe > Ca > Mg > Cu, y en el follaje: Mg > Ca > Cu > N > P > Zn > K > Mn > Fe.

Basado en la absorción total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), el orden de importancia de los nutrientes para este tipo de suelo fue el siguiente: N > K > Ca > P > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu.



**Figura 115.** Extracción relativa de nutrientes por *IDIAP T8* en suelo con contenido alto de arcillas.

La asimilación de los nutrientes en los diferentes tejidos de la planta se contabilizó en valores porcentuales, de la siguiente forma: *nitrógeno*, el 8.1% (raíces), 71.5% (tallos y hojas) y 20.3% (fruto); *fósforo*, 61.8% (tallos y hojas), 29% (frutos) y 9.1% (raíces); *potasio*, 57.4% (tallos y hojas), el 36% (frutos) y 6.7% (raíces); *calcio*, 79.2% (tallos y hojas), 13.9% (frutos) y 6.9% (raíces); *magnesio*, 93.9% (tallos y hojas), 3.4% (frutos) y 2.7% (raíces); *manganeso*, 56.4% (tallos y hojas), 6.2% (frutos) y 37.4% (raíces); *hierro*, 24.1% (tallos y hojas), 5.1% (frutos) y 70.8% (raíces); *zinc*, 68.4% (tallos y hojas), 19.5% (frutos) y 12.1% (raíces); *cobre*, 72.2% (tallos y hojas), 1.9% (frutos) y 25.9% (raíces) (Figura 115).

## 2 RECOMENDACIONES

- Es importante mantener las relaciones nutricionales (Ca/K (Ca+Mg)/K y otras) para que la absorcion de estos nutrimentos de gran importancia no se vea afectada por los desbalances producto de un manejo inadecuado de la fertilizacion
- Es fundamental la aplicacion de microelementos aunque su absorcion y requerimientos sean bajos existe una delgada linea entre el contenido óptimo y la deficiencia o el exceso de estos
- Los microelementos son esenciales para muchos procesos enzimaticos y metabolicos sin los cuales una planta no logra un desarrollo adecuado Es por ello por lo que se debe seguir las recomendaciones de los niveles que se han determinados como convenientes, observando si se presentan sintomas visuales de deficiencia o toxicidad por un exceso de los mismos
- Se debe tomar en cuenta los datos generados por esta investigacion a la hora de establecer planes de fertilizacion
- El manejo del nitrogeno es muy importante este posee fuertes tazas de lixiviación en fuentes de base amoniacal cuando la CIC es baja en suelos con bajo contenido de arcillas y volatilizacion alta en la mayoria de los suelos sometidos a temperaturas elevadas y con poca humedad o en condiciones de reduccion cuando la base es fuente nitrica
- Es recomendable realizar un estudio de tolerancias a micronutrimentos para estas variedades

## V BIBLIOGRAFIA

- AGROLOGICA** 2012 Deficiencias y excesos nutricionales del tomate (en línea)  
Disponible en [http://blog.agrologica.es/deficiencias y excesos nutricionales en cultivo tomate sintomas y correccion fertilizantes-nitrogeno fosforo potasio magnesio calcio azufre-hierro zinc manganeso boro molibdeno cloro/](http://blog.agrologica.es/deficiencias-y-excesos-nutricionales-en-cultivo-tomate-sintomas-y-correccion-fertilizantes-nitrogeno-fosforo-potasio-magnesio-calcio-azufre-hierro-zinc-manganeso-boro-molibdeno-cloro/)
- Arias, A** 2012 Suelos Tropicales Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED)  
San Jose CR 188 p
- Barahona, L A** 2007 Determinacion de la dinamica de los macro y micronutrientes en el cultivo de tomate CV L 5 (*Lycopersicon esculentum* MILL) para una eficiente y oportuna fertilizacion bajo condiciones de cobertura plastica Tesis para obtener el grado de ingenieria agronómica Universidad de Panama 91 pp
- Benavides A** s/f Absorción y asimilación del hierro por las plantas Depto de Horticultura Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro 13 pp
- Bertsch, F** 2009 Absorción de nutrimentos por los cultivos Asociacion Costarricense de la Ciencia del Suelo San Jose, Costa Rica 307 pp
- Bloodnick, E** 2017 La función del manganeso en el cultivo de las plantas (en línea)  
Disponible en [https://www.pthorticulture.com/es/centro de formacion/la funcion del-manganeso en el cultivo-de plantas/](https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-manganeso-en-el-cultivo-de-plantas/)
- Cakmak, I** 2015 Sinergismos y Antagonismos entre Nutrientes Minerales Durante la Absorción y Transporte en las Plantas Curso Internacional sobre Nutrición de Cultivos (en línea) Disponible en [http://www.intagri.com/articulos/nutricion vegetal/sinergismos y antagonismos entre nutrientes](http://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/sinergismos-y-antagonismos-entre-nutrientes)
- Castellanos, J Z** 2014 Acidez del Suelo y su Corrección Hojas Técnicas de Fertilab México 4 p
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)** 1990 Guía para el manejo integrado de las plagas del cultivo de tomate Serie Técnica Informe Técnico No 151 Turrialba CR 138 p

- Cerdas J** 1988 Análisis del crecimiento y de la absorción de nutrimentos en tomate (*Lycopersicon esculentum*) en Alajuela Tesis San Jose Universidad de Costa Rica
- Corro V** 2017 Logran acuerdo en compra de tomate (en linea) Panamá PA Disponible en [https://impresa.prensa.com/economia/Logran-acuerdo compra tomate\\_0\\_4861763814.html](https://impresa.prensa.com/economia/Logran-acuerdo-compra-tomate_0_4861763814.html)
- Escalona, V et al** 2009 Manual de Cultivo del Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) Universidad de Chile Santiago CL 60 p
- FAO STAT (Dirección de Estadística, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)** 2017 Estadísticas de la producción de tomate fresco hasta el 2013 (En Línea) Disponible en <http://www.fao.org/statistics/es/>
- Fayad, J A , et al** 2002 Absorção de nutrimentos pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido Horticult Bras 20 90 – 94
- Foro de Biología** (2007) Foro de biología cuestiones resueltas – Blog (en linea) Santiago CL Disponible en <http://www.v1.cl/foro/topic/6988-capitulos-de-biologia-cuestiones-resueltas/page-4>
- Gómez, O , et al** 2000 Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe IIHLD La Habana Cuba
- Gordon R, Villarreal, J, et al** 2016 Manejo de la fertilización fosfatada en el cultivo de maíz El Ejido Panamá 2004 – 2013 Agronomía Mesoamericana 27 (1) 95 – 108
- HAIFA** 2014 Recomendaciones nutricionales para tomate en campo abierto, acolchado o túnel e invernadero 40 pp
- Hayward, HE** 1953 Estructura de las plantas útiles Ed ACME S A Buenos Aires AR
- Him, P** 1997 Manejo integral del cultivo de tomate Programa de actualización a especialistas Panamá 1 – 7 pp
- Ho, LC, Hewitt, JD** 1986 Fruit development The Tomato Crop University Press Cambridge 201 – 239 pp
- Holwerda, H T** 2006 Guía de manejo nutricional del tomate 84 pp
- IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá)** 2016 Manual técnico Manejo integrado del cultivo de tomate industrial Panamá PA 59 pp

- INFOAGRO** 2010 El cultivo de tomate (parte 1) (en línea) Madrid ES Disponible en [http //www infoagro com/documentos/el\\_cultivo\\_del\\_tomate\\_\\_parte\\_1\\_.asp](http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate__parte_1_.asp)
- INTAGRI** 2015 La importancia del zinc en las plantas y su dinámica en el suelo (en línea) Disponible en [https //www intagri com/articulos/nutricion vegetal/la importancia del zinc en las plantas y-su dinamica en el suelo](https://www.intagri.com/articulos/nutricion_vegetal/la_importancia_del_zinc_en_las_plantas_y-su_dinamica_en_el_suelo)
- Jaramillo, S** 1991 Pedones de campo y estaciones experimentales del IDIAP Boletín Técnico N° 38 Panamá PA 70 p
- Kass, D** 2007 Fertilidad de Suelos Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUMED) San Jose CR 272 p
- Laserna, S** 2009 El tomate, taxonomía y descripciones botánicas morfológicas fisiológicas y ciclo biológico o agronómico (en línea) España Disponible en [www agroes es/cultivos agricultura/cultivos-huerta horticultura/tomate/339 tomate descripcion morfologia y ciclo](http://www.agroes.es/cultivos_agricultura/cultivos-huerta_horticultura/tomate/339_tomate_descripcion_morfologia_y_ciclo)
- Malavolta, E** 1980 Elementos de nutrição mineral de plantas Sao Paulo Ceres Pp 104 – 210
- Molina, E** 2016 Fertilización del Tomate Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica (en línea) Disponible en [http //www cia urc ac cr/pdf/Memorias/FERTILIZACION%20TOMATE 202016 pdf](http://www.cia.urc.ac.cr/pdf/Memorias/FERTILIZACION%20TOMATE_202016.pdf)
- Nuez, F** 1995 Cultivo del Tomate Ediciones MUNDI PRENSA Madrid ES 793 p
- Nuñez, J** 2006 Determinación de la dinámica de absorción de los macro y micro nutrientes en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL) var L 4ª cultivado en tres suelos de la región de Azuero con diferentes niveles de fertilidad bajo condiciones de pasticultura Tesis para obtener el grado en ingeniería agronómica Universidad de Panamá 82 pp
- Papadopoulos, A P** 1991 Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media Agriculture Canada Publication 1865/E Ontario Canada
- Picken, A, Stewart K, Klapwijk, D** 1986 Germination and vegetative development The Tomato Crop Chapman and Hall Ltd New York US 111 – 165 pp
- PROMIX** 2017 La función del magnesio en el cultivo de las plantas (en línea) Disponible en [https //www phorticulture com/es/centro de formacion/la funcion del magnesio en el cultivo de plantas/](https://www.phorticulture.com/es/centro_de_formacion/la_funcion_del_magnesio_en_el_cultivo_de_plantas/)

- PROMIX** 2017 Rol del hierro en el cultivo de plantas (en línea) Disponible en [https://www.phorticulture.com/es/centro de formacion/rol del hierro en el cultivo de plantas/](https://www.phorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-hierro-en-el-cultivo-de-plantas/)
- PROMIX** 2018 La función del zinc en el cultivo de las plantas (en línea) Disponible en [https://www.phorticulture.com/es/centro de formacion/la función del zinc en el cultivo de plantas/](https://www.phorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-zinc-en-el-cultivo-de-plantas/)
- Quintero, G , Escobar, A** 2013 El Suelo un recurso natural para la humanidad ANAM Panamá PA 16 p
- Ramírez J, Sáinz R** 2014 Desórdenes nutricionales del tomate Sinaloa MX
- Ramirez R** 1992 Curvas de absorción y de crecimiento de dos aráceas comestibles (*Xanthosoma sagittifolium* y *Xanthosoma violaceum*) San Jose CR Tesis
- Salas, R** 2003 Fertilizantes características y manejo San Jose Costa Rica 139 pp
- Sancho, H** 1999 Curvas de absorción de nutrientes importancia y uso en los programas de fertilización Informaciones Agronómicas – INPOFOS 36 11 13
- Saravia, F M** 2004 Elaboración de curvas de absorción de nutrientes para la variedad de tomate (*Lycopersicon esculentum*) Alboran bajo condiciones de invernadero en Zamorano Honduras Tesis de licenciatura Escuela Agrícola Panamericana Zamorano Francisco Morazán HN 44 pp
- Sela G** 2017 La absorción del calcio y su movilidad en la planta (en línea) Disponible en [http://www.smartfertilizer.com/es/articulos/calcium in plants](http://www.smartfertilizer.com/es/articulos/calcium-in-plants)
- Sela G** 2017 Macro y micronutrientes en las plantas programa de fertilización (en línea) Disponible en <http://www.smartfertilizer.com/es>
- SEMINIS** 2017 Deficiencias nutricionales en el tomate (en línea) Mexico, MX Disponible en [http://www.seminis.mx/blog/deficiencias nutricionales en el tomate/](http://www.seminis.mx/blog/deficiencias-nutricionales-en-el-tomate/)
- Smart Fertilizer Management** 2018 Gestión del nitrógeno (en línea) Disponible en <http://www.smartfertilizer.com/es/articulos/nitrogen>
- Subitec** 2017 Cobre en las plantas (en línea) Lima PE Disponible en [http://www.sobitecperu.com/cobre en las plantas/](http://www.sobitecperu.com/cobre-en-las-plantas/)
- USDA** 1987 Soil mechanics level I, Module 3 – USDA Textural Soil Classification (en línea) Washington, US Disponible en [https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/training/soilsOther/soil textural-class.pdf](https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/training/soilsOther/soil%20textural-class.pdf)

- Vallejo, F, Estrada, E** 2004 Produccion de hortalizas de clima cálido Universidad Nacional de Colombia Palmira CO 345 pp
- Villarreal, J , Agudo, L , Villalaz, J** 2010 Clasificacion de suelos de Panama y sus equivalencias (en linea) Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/301291244\\_CLASIFICACION\\_DE\\_SUELOS\\_DE\\_PANAMA\\_Y\\_SUS\\_EQUIVALENCIAS\\_2010\\_1](https://www.researchgate.net/publication/301291244_CLASIFICACION_DE_SUELOS_DE_PANAMA_Y_SUS_EQUIVALENCIAS_2010_1)
- Villarreal, J , Name, B , Barahona, L** 2015 Tecnicas analiticas del laboratorio de suelos Instituto de Investigacion Agropecuaria de Panama 86 pp
- Villarreal, J , Name, B , Garcia, R** 2013 Zonificacion de suelos de Panama en bases a niveles de nutrientes Revista Ciencia Agropecuaria Panama 21 71 – 89 pp
- YARA** 2004 Funciones del cobre (en linea) España Disponible en [http://www.yara.es/crop\\_nutrition/crops/tomate/informacion\\_esencial/funcion\\_de\\_cobre/](http://www.yara.es/crop_nutrition/crops/tomate/informacion_esencial/funcion_de_cobre/)
- YARA** 2011 Informacion esencial del cultivo de tomates (en linea) Disponible en [http://www.yara.com.pe/crop\\_nutrition/crops/tomate/informacion\\_esencial/](http://www.yara.com.pe/crop_nutrition/crops/tomate/informacion_esencial/)
- YARA** 2011 Funcion del manganeso en la produccion de tomate (en linea) Disponible en [http://www.yara.com.pe/crop\\_nutrition/crops/tomate/informacion\\_esencial/funcion\\_de\\_manganeso/](http://www.yara.com.pe/crop_nutrition/crops/tomate/informacion_esencial/funcion_de_manganeso/)