

## DEDICATORIA

A Dios todo poderoso y a la Virgen Santísima por haberme dado salud, sabiduría y fuerza para seguir adelante, y por haber culminado esta etapa de mi formación académica.

A mi especial y querida madre que Dios me ha dado *Rafaela Acuña Corrales* que sin su apoyo, confianza y cariño no podría haber concluido esta meta. Este trabajo es más suyo que mío. Gracias por ser tan especial.

Y a todos aquellos pequeños agricultores que cultivan la tierra para que haya alimento todos los días para esta creciente población mundial, a pesar de todos los problemas que se presentan en el agro.

## AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso y a la Virgen Santísima por darme fuerzas para haber concluido esta meta.

A mi madre por los sacrificios que tuvo que pasar durante tantos años para darme la mejor herencia que es el estudio y tener un nuevo éxito en mi vida.

Al Ing. Luis Antonio Rojas Acuña M.Sc. por su guía y orientación en el trabajo de campo y por su dedicación en la revisión del presente informe, así como también por sus consejos para ser un buen profesional.

Al Ing. Arnoldo Gadea Rivas y el Ing. Carlos Ramírez Vargas por ser parte del jurado examinador y darme los mejores consejos para mejorar este trabajo.

Al Ing. Carlos Arce Calderón y al Ing. Manuel Flores Portugués por su apoyo en la parte estadística de este informe de graduación.

Al Ing. Agr. José Gerardo Chávez Alfaro por sus consejos y aporte en la ejecución del trabajo de campo.

A William Jeft Huertas y Carlos Araya de Finca La Vega quienes colaboraron de manera desinteresada en la realización del trabajo de campo.

A todos mis compañeros (as) del TEC a los que voy a recordar siempre en mi vida, con los cuales compartí momentos difíciles y momentos felices que nunca llegare a olvidar. Muchas gracias a todos por comprender mis defectos.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas que de una u otra manera se vieron involucrados en mis estudios.

*A todos ellos de verdad, muchas gracias y que Dios los bendiga.*

# CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>II</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE CUADROS ANEXO A</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE CUADROS ANEXO B</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS ANEXO</b> .....	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS APENDICE</b> .....	<b>XIV</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XVI</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Objetivo General</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>3</b>
<b>3 REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1 La labranza convencional o tradicional</b> .....	<b>4</b>
3.1.1 Manejo de las malezas por medio de la labranza convencional .....	7
3.1.2 La erosión provocada por la labranza convencional.....	9
3.1.3 Efecto de la labranza convencional sobre el agua.....	9
3.1.4 Recomendaciones para reducir los inconvenientes que provoca la labranza convencional.....	10
<b>3.2 La labranza cero o siembra directa</b> .....	<b>11</b>
3.2.1 Los beneficios de la labranza cero .....	12
3.2.2 Comportamiento de las plagas con la implementación de la labranza cero .....	12
3.2.3 Cambios químicos y físicos del suelo cultivado en labranza cero.....	13
3.2.4 Mayor contenido de agua en el suelo .....	13
3.2.5 Mayor contenido de materia orgánica del suelo.....	14

3.2.6	<i>Reducción de la erosión y degradación del suelo</i> .....	16
3.2.7	<i>Reducción de las fluctuaciones de temperatura</i> .....	16
3.2.8	<i>Comportamiento de las malezas</i> .....	17
3.2.9	<i>Reducción de los costos</i> .....	18
3.2.10	<i>Pasos en la adopción de la labranza conservacionista</i> .....	18
3.2.11	<i>Perspectivas futuras de la labranza cero</i> .....	19
<b>3.3</b>	<b><i>Importancia del uso del Nitrógeno</i></b> .....	<b>22</b>
3.3.1	<i>Funciones del nitrógeno</i> .....	23
3.3.2	<i>Cantidades de nitrógeno por aplicar en el cultivo</i> .....	23
3.3.3	<i>Problemática del uso de los fertilizantes químicos.</i> .....	24
3.3.3.1	<i>Condiciones climáticas</i> .....	25
3.3.3.2	<i>Manejo del cultivo</i> .....	25
3.3.3.3	<i>Fuentes de fertilizantes</i> .....	25
3.3.3.4	<i>Época de aplicación</i> .....	27
3.3.3.5	<i>Método de aplicación</i> .....	28
3.3.4	<i>Desórdenes nutricionales del arroz</i> .....	28
3.3.4.1	<i>Deficiencias de nitrógeno</i> .....	29
3.3.4.2	<i>Deficiencias de fósforo</i> .....	29
3.3.4.3	<i>Deficiencias de potasio</i> .....	31
<b>4</b>	<b><i>MATERIALES Y MÉTODOS</i></b> .....	<b>32</b>
4.1	<i>Localización y condiciones edafoclimáticas</i> .....	32
4.2	<i>Material experimental</i> .....	33
4.2.1	<i>Variedad utilizada</i> .....	33
4.3	<i>Análisis de suelo y foliar</i> .....	34
4.3.1	<i>Análisis de suelo</i> .....	34
4.3.2	<i>Análisis foliar</i> .....	34
4.4	<i>Diseño experimental y Tratamientos</i> .....	37
4.5	<i>Variables a evaluar</i> .....	40
4.5.1	<i>Población de plantas</i> .....	40
4.5.1.1	<i>Antes del macollamiento</i> .....	40
4.5.1.2	<i>Después del macollamiento</i> .....	40
4.5.2	<i>Volcamiento de plantas</i> .....	41

4.5.3	<i>Población de plantas productivas y no productivas</i> .....	41
4.5.4	<i>Altura de plantas</i> .....	41
4.5.5	<i>Número de panículas por metro cuadrado</i> .....	41
4.5.6	<i>Longitud de la panícula</i> .....	42
4.5.7	<i>Rendimiento (kg/Ha)</i> .....	42
4.5.8	<i>Calidad molinera</i> .....	42
<b>4.6</b>	<b><i>Análisis de la información</i></b> .....	<b>43</b>
<b>4.7</b>	<b><i>Manejo agronómico</i></b> .....	<b>43</b>
<b>5</b>	<b><i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i></b> .....	<b>46</b>
<b>5.1</b>	<b><i>Población de plantas</i></b> .....	<b>46</b>
5.1.1	<i>Antes de macollamiento</i> .....	46
5.1.2	<i>Después de macollamiento</i> .....	47
<b>5.2</b>	<b><i>Población de plantas productivas y no productivas</i></b> .....	<b>48</b>
<b>5.3</b>	<b><i>Altura de plantas</i></b> .....	<b>50</b>
<b>5.4</b>	<b><i>Número de panículas por metro cuadrado</i></b> .....	<b>52</b>
<b>5.5</b>	<b><i>Longitud de las panículas</i></b> .....	<b>53</b>
<b>5.6</b>	<b><i>Rendimiento (kg/Ha)</i></b> .....	<b>55</b>
<b>5.7</b>	<b><i>Calidad molinera</i></b> .....	<b>57</b>
5.7.1	<i>Porcentaje de rendimiento en molino</i> .....	57
5.7.2	<i>Porcentaje de grano quebrado</i> .....	58
<b>6</b>	<b><i>CONCLUSIONES</i></b> .....	<b>60</b>
<b>7</b>	<b><i>RECOMENDACIONES</i></b> .....	<b>62</b>
<b>8</b>	<b><i>LITERATURA CITADA</i></b> .....	<b>63</b>
<b>9</b>	<b><i>ANEXOS</i></b> .....	<b>68</b>
<b>10</b>	<b><i>APENDICE</i></b> .....	<b>84</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Efectos del sistema de preparación del terreno y siembra sobre algunas características del suelo y de los cultivos. ....	21
Cuadro 2. Análisis químico de suelo en los lotes sembrados en labranza cero y labranza convencional. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	34
Cuadro 3. Análisis químico foliar realizado a los 35 días después de la siembra en las plantas de arroz sembrado en labranza cero y en labranza convencional. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	35
Cuadro 4. Análisis químico foliar realizado a los 84 días después de la siembra en plantas de arroz sembrado en labranza cero y en labranza convencional. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	36
Cuadro 5. Kilogramos de nitrógeno a aplicar en cada uno de los tratamientos. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	39
Cuadro 6. Programa de fertilización realizado en la siembra de arroz en ambos sistema de labranza. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	44
Cuadro 7. Programa del manejo fitosanitario aplicado antes y después de la siembra de arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	44

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Contenido de N total (%) foliar obtenido en los diferentes niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz sembrado en labranza cero a los 35 y 84 días después de la siembra. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.....	37
<b>Figura 2.</b> Contenido de N total (%) foliar obtenido en los diferentes niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz sembrado en labranza convencional a los 35 y 84 días después de la siembra. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	37
<b>Figura 3.</b> Distribución de las unidades experimentales en los dos sistemas de labranza en el cultivo de arroz ( <i>Oryza sativa</i> ). ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.....	38
<b>Figura 4.</b> Población de plantas de arroz ( $m^2$ ) antes de macollamiento sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.....	46
<b>Figura 5.</b> Población de plantas de arroz ( $m^2$ ) después de macollamiento sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.....	48
<b>Figura 6.</b> Población de plantas de productivas de arroz ( $m^2$ ) sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.....	49
<b>Figura 7.</b> Población de plantas no productivas de arroz ( $m^2$ ) sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.....	50
<b>Figura 8.</b> Altura de plantas de arroz sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	51
<b>Figura 9.</b> Número de panículas en plantas de arroz ( $m^2$ ) sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.....	53
<b>Figura 10.</b> Número de panículas ( $m^2$ ) de arroz sembrado en labranza convencional de acuerdo al rango de longitud de panícula en los niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.....	54

<b>Figura 11.</b> Número de panículas (m <sup>2</sup> ) de arroz sembrado en labranza cero de acuerdo al rango de longitud de panícula en los niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. .....	54
<b>Figura 12.</b> Rendimiento de arroz (kg/ha) sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenido en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. .....	56
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de rendimiento en molino de arroz sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenido en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	57
<b>Figura 14.</b> Porcentaje de grano quebrado de arroz sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenido en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	58

## LISTA DE CUADROS ANEXO A

Cuadro 1A. Análisis de varianza para la población de plantas antes de macollamiento obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	68
Cuadro 2A. Análisis de varianza para la población de plantas antes de macollamiento obtenido en sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	68
Cuadro 3A. Análisis de varianza de la población de plantas después de macollamiento obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	68
Cuadro 4A. Análisis de varianza para la población de plantas después de macollamiento obtenido en sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	69
Cuadro 5A. Análisis de varianza para la población de plantas productivas obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	69
Cuadro 6A. Análisis de varianza para la población de plantas productivas obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	69
Cuadro 7A. Análisis de varianza para la población de plantas no productivas obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	69
Cuadro 8. Análisis de varianza para la población de plantas no productivas obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	70
Cuadro 9A. Análisis de varianza para la altura de plantas obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	70
Cuadro 10A. Análisis de varianza para la altura de plantas en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	70

Cuadro 11A. Análisis de varianza para el número de panículas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	71
Cuadro 12A. Análisis de varianza para el número de panículas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	71
Cuadro 13A. Análisis de varianza para el rendimiento (kg/Ha) obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.....	71
Cuadro 14A. Análisis de varianza para el rendimiento (kg/Ha) obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	72
Cuadro 15A. Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento en molino obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	72
Cuadro 16A. Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento en molino obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	72
Cuadro 17A. Análisis de varianza para el porcentaje de grano quebrado obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	73
Cuadro 18A. Análisis de varianza para el porcentaje de grano quebrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	73

## LISTA DE CUADROS ANEXO B

Cuadro 1B. Estadísticas para la población de plantas por metro cuadrado antes de macollamiento obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	74
Cuadro 2B. Estadísticas para la población de plantas por metro cuadrado antes de macollamiento obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	74
Cuadro 3B. Estadísticas para la población de plantas por metro cuadrado después de macollamiento obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	74
Cuadro 4B. Estadísticas para la población de plantas por metro cuadrado después de macollamiento obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	75
Cuadro 5B. Estadísticas para la población de plantas productivas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	75
Cuadro 6B. Estadísticas para la población de plantas productivas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	75
Cuadro 7B. Estadísticas para la población de plantas no productivas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza cero en los diferentes niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	76
Cuadro 8B. Estadísticas para la población de plantas no productivas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los diferentes niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	76
Cuadro 9B. Estadísticas para la altura de plantas obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	76
Cuadro 10B. Estadísticas para la altura de plantas obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	77

Cuadro 11B. Estadísticas para el número de panículas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	77
Cuadro 12B. Estadísticas para el número de panículas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	77
Cuadro 13B. Estadísticas para el rendimiento (kg/Ha) obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	78
Cuadro 14B. Estadísticas para el rendimiento (kg/Ha) obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	78
Cuadro 15B. Estadísticas para el porcentaje de rendimiento en molino obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	78
Cuadro 16B. Estadísticas para el porcentaje de rendimiento en molino obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	79
Cuadro 17B. Análisis de varianza para el porcentaje de grano quebrado obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	79
Cuadro 18B. Análisis de varianza para el porcentaje de grano quebrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.	79

## LISTA DE FIGURAS ANEXO

Figura 1A. Cuadrícula de 5 m <sup>2</sup> para el muestreo de las variables de arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	80
Figura 2 A. Área experimental de arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	80
Figura 3 A. Tratamiento 1 para labranza convencional con 12,7 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	80
Figura 4 A. Tratamiento 2 para labranza convencional con 50 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	81
Figura 5 A. Tratamiento 3 para labranza convencional con 75 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	81
Figura 6 A. Tratamiento 4 para labranza convencional con 100 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	81
Figura 7 A. Tratamiento 5 para labranza convencional con 125 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	82
Figura 8 A. Tratamiento 1 para labranza cero con 12,7 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	82
Figura 9 A. Tratamiento 2 para labranza cero con 50 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	82
Figura 10 A. Tratamiento 3 para labranza cero con 75 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	83
Figura 11 A. Tratamiento 4 para labranza cero con 100 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	83
Figura 12 A. Tratamiento 5 para labranza cero con 125 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	83

## LISTA DE FIGURAS APENDICE

Figura 1A. Porcentaje de semolina para los diferentes niveles de nitrógeno, en labranza convencional y labranza cero en arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.....	84
Figura 2A. Porcentaje de rendimiento en molino para los diferentes niveles de nitrógeno, en labranza convencional y labranza cero en arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	84
Figura 3A. Porcentaje de puntilla para los diferentes niveles de nitrógeno, en labranza convencional y labranza cero en arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	85
Figura 4A. Porcentaje de grano quebrado grueso en los diferentes niveles de nitrógeno, para labranza convencional y labranza cero en arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	85
Figura 5A. Centro blanco en los diferentes niveles de nitrógeno, para labranza convencional y labranza cero en arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002. ....	86

## RESUMEN

**José Andrés Gómez Acuña. Efecto de niveles crecientes de nitrógeno sobre el desarrollo y producción del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) Var. Fedearroz 50 sembrado en labranza cero y en labranza convencional.**

Este trabajo se realizó en finca La Vega del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos en los meses de mayo a setiembre del 2002. El objetivo fue evaluar el efecto de niveles crecientes de nitrógeno sobre el desarrollo y producción del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) Var. "FEDEARROZ 50" sembrado en labranza cero y en labranza convencional.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron 12,7 kgN/Ha, 50 kgN/Ha, 75 kgN/Ha, 100 kgN/Ha y 125 kgN/Ha.

Se evaluó población de plantas de arroz antes y después del macollamiento, volcamiento, población de plantas productivas y no productivas, altura, número de panículas por metro cuadrado, longitud de la panícula, rendimiento, y calidad molinera (rendimiento molino y grano quebrado).

En la población de plantas después del macollamiento y en altura de plantas conforme aumentó el fertilizante nitrogenado hubo una respuesta creciente en ambas variables, similar en ambos sistemas de labranza.

Las dosis más altas (125 kg N/Ha) no favorecieron el volcamiento de plantas en ambos sistemas de labranza.

En labranza convencional hubo mayor cantidad de panículas con longitudes superiores a los 20 cm. Conforme aumentó la dosis de N, mientras que en labranza cero la cantidad de panículas con longitudes superiores a 20 cm. fue prácticamente igual entre los niveles más altos de N. (75 kgN/Ha, 100 kgN/Ha y 125 kgN/Ha). En general hubo mayor cantidad de panículas de mayor tamaño en labranza convencional.

Se obtuvo una tendencia creciente del rendimiento en ambos sistemas de labranza. El mayor rendimiento se dio en labranza convencional.

Hubo un mayor rendimiento en molino y un menor porcentaje de grano quebrado en el sistema de labranza convencional.

La población de plantas antes de macollamiento, población de plantas productivas y no productivas, y el número de panículas/m<sup>2</sup> no fueron afectados por los niveles de N.

## ABSTRACT

**José Andrés Gómez Acuña. Growing levels effect of nitrogen on the development and production of the rice cultivation (*Oryza sativa*) Var. "Fedearroz 50" cultivated field in tillage zero and in conventional tillage.**

This work was accomplished in farm The Vega of the Technological Institute of Costa Rica, Regional Headquarters San Carlos in the months of May to September of the 2002. The objective was evaluated the growing levels effect of nitrogen on the development and production of the rice cultivation (*Oryza sativa*) Var. "FEDEARROZ 50" cultivated field in tillage zero and in conventional tillage.

It was used a complete blocks design at random, with five treatments and four repetitions. The treatments were 12,7 kgN/ha, 50 kgN/ha, 75 kgN/ha, 100 kgN/ha and 125 kgN/ha.

Rice plants population was evaluated before and after the cluster, bend over, population of productive plants and not productive, height, number of panicle for square meter, length of the panicle, yield, and milling quality (windmill yield and bankrupt grain).

In the population of plants after of the cluster and in accordant plants height increased the fertilizer nitrogen there was a growing response in both variable, similar in both tillage systems.

The highest dose (125 kg N/ha) did not favor the bend over of plants in both tillage systems.

In conventional tillage there was greater quantity of panicles with lengths superior to 20cm. Accordant increased the dose of N, while in tillage zero the quantity of panicles with lengths superior to 20 cm. it was practically equal between the highest levels of N. (75 kgN/ha, 100 kgN/ha and 125 kgN/ha). As a rule there was greater quantity of panicles of greater size in conventional tillage.

It was obtained a growing trend of the yield in both tillage systems. The greater yield was given in conventional tillage.

There was a greater yield in windmill and a smaller percentage of bankrupt grain in the conventional tillage system.

The population of plants before cluster, population of productive plants and not productive, and the number of panicles/m<sup>2</sup> were not affected by the levels of N.

# 1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, numerosas investigaciones en el campo de la agricultura sostenible han ido dirigidas hacia el aumento de la productividad vegetal para resolver, al menos en parte, los problemas alimenticios que provoca la continua expansión de la población humana (Altieri 1983).

En un principio, los agricultores produjeron sus cultivos casi sin preparar el terreno, sin embargo, con la “modernización” de la agricultura, la preparación del suelo para la siembra se volvió una práctica obligada en la producción de los cultivos (Canova 2001).

Uno de los sistemas de producción más usados hoy en día en la agricultura es la denominada labranza convencional, donde se utilizan arados, rastras y otros aperos mecánicos para remover el suelo antes de la siembra.

Los promotores de este sistema justifican su uso afirmando que es necesario crear un ambiente adecuado para la germinación de la semilla y para eliminar la vegetación existente. Al respecto, algunos científicos piensan que la primera razón no justifica su fundamento, y que la segunda, puede fácilmente ser reemplazada por aplicaciones de herbicidas postemergentes; de este modo se evita disturbios del suelo al usar el sistema de labranza cero (Crovetto 1992).

Actualmente en los países desarrollados se están produciendo cambios en las prácticas de preparación de suelos para cultivar y se están desarrollando métodos de labranza mínima y labranza cero como sustituto de la labranza convencional (Altieri 1983).

Por otra parte, la fertilización es un recurso indispensable en el cultivo. La necesidad de producir arroz de buena calidad y con altos rendimientos por hectárea requiere de un análisis de fertilidad en las zonas productoras.

En el sistema de labranza cero el rastrojo que queda sobre la superficie del suelo es degradado por los microorganismos, pero para que suceda este proceso

se requiere de una mayor concentración de N para mantener la relación C/N, debido a que los microorganismos consumen una gran cantidad del N aplicado (Rojas y Mora 2000).

Con base en lo anterior, es necesaria la evaluación de diferentes niveles de nitrógeno en el sistema de labranza cero ya que, en teoría, los requerimientos de nitrógeno deberían ser más elevados.

Por este motivo, se realizó esta investigación en finca La Vega propiedad del Instituto Tecnológico de Costa Rica en San Carlos, con el propósito de determinar el efecto de niveles crecientes de nitrógeno sobre el desarrollo y producción del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) Var. "FEDEARROZ 50" sembrado en labranza cero y labranza convencional.

**Hipótesis Técnica:** El requerimiento de nitrógeno para obtener mejores rendimientos es mayor en el arroz sembrado en labranza cero.

## 2 OBJETIVOS

### **2.1 Objetivo General**

- Evaluar el efecto de niveles crecientes de nitrógeno sobre el desarrollo y producción del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) Var. FEDEARROZ 50 sembrado en labranza cero y en labranza convencional.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Evaluar el efecto de diferentes niveles de Nitrógeno en ambos sistemas de labranza sobre:

- La población de plantas de arroz por metro cuadrado antes y después del macollamiento.
- El volcamiento de las plantas de arroz en la etapa reproductiva.
- La población de plantas productivas y no productivas evaluada después de la floración.
- La altura de las plantas de arroz medida después de la cosecha.
- La longitud de las panículas y el número de panículas por metro cuadrado, evaluadas después de la cosecha.
- El rendimiento estimado (kg/Ha) en granza.
- La calidad molinera del arroz (rendimiento en molino y quebrado de grano).

## 3 REVISIÓN DE LITERATURA

### **3.1 *La labranza convencional o tradicional***

La labranza convencional consiste en una labor primaria y una secundaria. La labor primaria realiza una roturación del suelo normalmente con arado de discos. Luego se procede a la labor secundaria, realizada normalmente con rastras livianas que se encarga de romper los terrones produciendo una mayor disgregación de la tierra y prepararlo para una mejor siembra y germinación de la semilla (De Datta 1986).

Con la mecanización el suelo se afloja, airea y mezcla, lo que facilita el ingreso de agua, la mineralización de nutrientes y la reducción de plagas animales y vegetales en la superficie. También se reduce rápidamente la cobertura de superficie, se aceleran los procesos de degradación de la materia orgánica y aumentan los riesgos de erosión. Generalmente, la labranza convencional implica más de una operación con corte e inversión del suelo (Asociación Civil Ciencia Hoy 2002).

Por definición la labranza tradicional o convencional es la labranza que se hace tradicionalmente en una determinada zona para un determinado cultivo. En general se asocia al término labranza convencional con la realización de laboreos agresivos que, mal utilizados por plazos no demasiado prolongados, pueden afectar la integridad del suelo, especialmente en suelos de baja estabilidad y con pendiente (Studdert 2001).

De todas maneras, el laboreo convencional es una buena forma de lograr algunos objetivos de manejo, como por ejemplo: control de malezas, control de algunas plagas y la mineralización de algunos nutrientes, básicamente nitrógeno en las zonas arroceras, el cual es un nutriente deficitario a pesar del tipo de suelo rico en materia orgánica. Cuando se ejerce una labranza agresiva sobre el suelo se incorpora los rastrojos, se agiliza su descomposición y la mineralización de la

materia orgánica con la consecuente liberación de nitrógeno, y otros nutrientes importantes, también, el dióxido de carbono, que es uno de los gases responsables del efecto invernadero (Studdert 2001).

Wall (1995), citado por Rojas y Mora (2000), menciona que la labranza convencional al romper el suelo, oxigena e incorpora los residuos de materia orgánica en una capa de suelo húmeda creando condiciones propicias para el incremento en las poblaciones de microflora y microfauna en el suelo. Cuando se termina el sustrato orgánico en el suelo, los hongos y bacterias mueren, se descomponen y liberan nitrógeno; por el contrario, en un sistema de labranza conservacionista la descomposición de la materia orgánica ocurre en forma más paulatina, por lo que la liberación del nitrógeno es más lenta.

El fundamento por el que los primeros agricultores empezaron a labrear el suelo, fue para crear un ambiente de suelo adecuado para el crecimiento de los cultivos formando una cama adecuada para colocar la semilla bien en contacto con el suelo para que germinara rápida y uniformemente. Quizás, por un exceso de suelo, se refina demasiado el suelo, pero no es necesario. Se puede lograr un buen contacto de la semilla con el suelo aunque tenga cierto nivel de partículas grandes de suelo, entendiendo por tales aquéllas que son más grandes que la semilla (Studdert 2001).

Además del acondicionamiento del suelo como una cama para recibir la semilla, la labranza convencional bien realizada puede proporcionar beneficios como: control de malas hierbas, incorporación de fertilizantes, aumento de la porosidad y ventilación del suelo, mezcla del suelo para utilizar depósitos lixiviados y proporcionar al suelo una textura fina que aumenta la absorción de los nutrientes (De Datta 1986).

Unger *et al* (1995), citado por Camacho (2002) al sistema de labranza convencional, se le conoce también con el nombre de labranza limpia y se define como un proceso de aradura y cultivo que incorpora todos los residuos e impide el incremento de toda vegetación, excepto el cultivo particular deseado en la

estación de crecimiento. Esta definición enfatiza en la incorporación de los residuos, pero la labranza convencional presenta otras funciones que pueden considerarse ventajosas, entre las cuales se citan las siguientes:

- Incorporación de fertilizantes, cal y pesticidas.
- Entierro de residuos de cultivos hospederos de plagas y enfermedades que causan daño al cultivo a establecer.
- Alteración del suelo para modificar el hábitat de los insectos, en ocasiones deja expuestos insectos del suelo a depredadores.
- Roturas de sellos y costras y aumento de la rugosidad superficial para incrementar y mejorar la retención temporal de agua en la superficie.
- Aflojamiento del suelo para alterar capas que restringen o impiden el movimiento de agua, el intercambio de aire y la penetración de las raíces.

Dependiendo de las circunstancias y en comparación con otros sistemas de labranza, la labranza en limpio puede no resultar en mayores rendimientos del cultivo o en una mayor eficiencia en la conservación de los suelos y agua (Unger *et al* 1995).

Las tierras agrícolas disminuyen el potencial de producción de cultivos o en aptitud para la producción debido a varios tipos de degradación de la tierra (Unger 1988).

Unger *et al* (1995) citado, por Camacho (2002), señala que una de las desventajas primordiales de la labranza limpia o convencional es la intensificación de la erosión del suelo, tanto hídrica como eólica, debido a que la superficie del suelo queda libre de residuos de cultivos, además de la soltura del suelo, quedando expuestas las partículas al arrastre provocado por el agua y/o el viento o por la infiltración a horizontes inferiores del suelo.

Comparado con otros sistemas de labranza, Unger *et al* (1995), señala entre otras desventajas de la labranza convencional, las siguientes:

- Descenso más rápido en los contenidos de materia orgánica del suelo, especialmente en regiones semiáridas y subhúmedas.
- Degradación de la estructura del suelo.
- Requerimientos de tractores e implementos de labranza más pesados.
- Mayores requerimientos de combustible y trabajo.
- Remoción de residuos superficiales que tienen valor para mejorar la conservación del agua del suelo bajo muchas condiciones.

Se debe tomar en cuenta las condiciones del suelo y el clima imperante de la región para establecer el grado de acción en el cual afectará el sistema de labranza empleado.

### ***3.1.1 Manejo de las malezas por medio de la labranza convencional***

Pitty (1991) citado por Castro (1998) para un efectivo control de las malezas mediante el empleo de máquinas, las labores deben ser hechas en el momento oportuno con esmero y repetidamente. El objetivo primero de los arados y rastras es el de destruir malezas por asfixia o por medio de rupturas de su parte aérea y su exposición junto con sus raíces al sol. Además, por colocación en condiciones favorables para la germinación de las semillas y partes de propagación que serán destruidas en la próxima labor. Con la manipulación mecánica se obtiene, además de la destrucción de las malas hierbas, el cambio de las propiedades físicas y en la actividad químico-biológica del suelo.

La roturación repetida del suelo, generalmente a intervalos de 5 a 8 días, tiene como fin el destruir la población de malezas que emergió y poner más semillas en condiciones inadecuadas. Algunos factores que hay que tomar en cuenta son la latencia y la longevidad, así como bancos de semillas de malezas en el suelo con altas poblaciones, ya que estos pueden volver este esfuerzo inútil, sino se complementa con otras medidas como evitar nuevos ingresos de semillas al suelo, mantener el efecto de la labranza sobre los primeros centímetros del suelo para evitar sacar las semillas almacenadas a mayores profundidades,

eliminar la última generación de malezas antes de la siembra con un herbicida no selectivo y sembrar sin nuevas alteraciones del suelo (Pitty y Muñoz 1991).

Koch y García (1985) citado por Castro (1998) indican que en el cultivo del arroz, el tipo y grado de preparación de la tierra están estrictamente relacionadas con el método de siembra y estas operaciones de labranza varían de acuerdo con la disponibilidad de agua, textura del suelo, topografía, nivel de recursos disponibles por el agricultor y la preferencia de éste último por un tipo particular de cultivo de arroz.

Zimdahl (1980) citado por Castro (1998), dice que la forma en que el agricultor prepara su terreno para la siembra es una de las prácticas que más energía y dinero consumen en los sistemas de producción agrícola. La decisión de que la labranza se debe utilizar es de gran importancia, debido a que modifica el complejo de malezas. El uso irracional de las prácticas de labranza produce erosión, pérdida de las propiedades químicas y físicas del suelo, además de la introducción de nuevas especies de malezas.

El disturbio del suelo con maquinaria agrícola propicia la exposición de las semillas a la luz natural y favorece la germinación de ellas debido a que el fitocromo se transforma de inactivo (Pr) a activo (Pfr). En general, se ha comprobado que la labranza del suelo es un promotor de la emergencia de las plántulas en el campo, pues remueve la cubierta de las plantas y transfiere semillas a la superficie del suelo (Solórzano 1991).

La labranza también interviene sobre otros factores que influyen en la germinación de la semilla como son: la concentración de oxígeno, dióxido de carbono, luz y humedad del suelo, por lo que la profundidad a la que se encuentren las semillas va a favorecer o inhibir la germinación de éstas. Esto es debido al estímulo que produce el disturbio del suelo donde la semilla rompe su estado de latencia al recibir luz, mejorar la aireación y quedar expuesta a fluctuaciones de temperatura y humedad (Soto 1985).

Se ha notado que la labranza no solo influye en la dispersión de las semillas al incorporarlas a diferentes profundidades del suelo, sino que cambia la distribución y el tamaño, número y tipo de agregados del mismo (Soto 1985)

### ***3.1.2 La erosión provocada por la labranza convencional***

La erosión del suelo por la labranza, que es un tipo de desplazamiento masivo, ocurre cuando el arado de vertedera, el arado rastra o arados semejantes trabajan de tal manera que la tierra es repetidamente volteada en un sentido. Se presenta mayormente en los terrenos inclinados cuando la labranza se hace transversalmente a la pendiente, pero ocurre también cuando la labranza se efectúa en el sentido de la pendiente y en los terrenos llanos o casi llanos. La erosión por la labranza se puede reducir volteando la tierra hacia la parte alta del terreno en los terrenos inclinados y alternativamente en sentidos opuestos en los terrenos llanos o casi llanos. La erosión por la labranza puede disminuirse además mediante el empleo de instrumentos que no volteen la tierra (Unger 1988).

La degradación de la tierra por causa de la erosión se debe a que el suelo se pierde más rápidamente de lo que se forma por los procesos naturales. Los varios centímetros de suelo que pueden perderse en una o en unas pocas tempestades de viento o de agua probablemente representan el trabajo de la naturaleza durante varios centenares o algunos millares de años. Asociados con las pérdidas de suelo propiamente dichas, están las pérdidas que experimenta el suelo en materia orgánica (humus), fertilidad y capacidad de retención de agua (Unger 1988).

### ***3.1.3 Efecto de la labranza convencional sobre el agua***

Al remover el suelo no sólo se expone a la materia orgánica para que se mineralice, sino que también deja expuesta el agua retenida en los poros para que se evapore. Los laboreos sucesivos exponen al suelo a que siga evaporando su agua y esto es un problema. En años secos, los primeros 5 a 10 centímetros pueden secarse demasiado y la semilla puede tener problemas de imbibición; por

tal razón la germinación es dispareja, lo que da como resultado una implantación deficiente y a la vez puede aumentar la posibilidad de incidencia de enfermedades y plagas (Studdert 2001).

Otro de los problemas de la labranza convencional, es cuando llueve con cierta intensidad. Esta lluvia se asocia a gotas muy grandes, cargadas de mucha energía que tienen la capacidad de romper los agregados del suelo y, por lo tanto, de producir planchado y reducir el ingreso de agua al suelo (Studdert 2001).

### ***3.1.4 Recomendaciones para reducir los inconvenientes que provoca la labranza convencional***

El punto de partida para toda decisión de manejo del suelo es conocer sobre qué suelo se va a trabajar. Conocer el suelo no sólo significa conocer las características propias del mismo, sino también en qué posición del paisaje está ubicada. Entonces, una forma de mejorar el uso de las labranzas es discriminar en qué suelo y en qué época del año se va a emplear, dependiendo de los efectos que se espera produzca y de las características del ambiente (Studdert 2001).

Si se trabaja en suelos con bajo contenido de materia orgánica, con textura arenosa o tendiendo a ser arenosa, sería recomendable no emplear labranza convencional. Por otro lado, no debería utilizarse labranza convencional en las épocas del año en que las lluvias son potencialmente erosivas y, por supuesto, tampoco en los sectores donde el suelo esté en pendiente.

La recomendación para reducir los efectos de la labranza convencional es hacer la menor cantidad de operaciones que sea posible o indispensable. Las operaciones de laboreo en las condiciones óptimas de suelo para cada tipo de labor, ni demasiado seco ni demasiado húmedo, ni a demasiada velocidad ni a demasiada profundidad. Cada operación con la agresividad más adecuada para la humedad que tenga, con la velocidad de trabajo que corresponda y con el menor número de pasadas posible; sólo lo que sea estrictamente necesario. Esto significa, que se puede colocar la semilla en camas de siembra que no

necesariamente tienen que estar hecho un polvo, que pueden tener cierto grado de terrones, combinando esto con la sembradora que se va a utilizar. No todas las sembradoras hacen bien su trabajo cuando el suelo está algo "terronudo" (Studdert 2001).

Si el productor o el contratista no cuentan con máquinas sembradoras que trabajen bien esas condiciones, habrá que hacer otro tipo de laboreo para reducir aún más el tamaño de las partículas y permitir una buena siembra, aunque, se sabe como se incrementan los riesgos de dañar el suelo. Todas las decisiones de manejo deben tener en cuenta al sistema de manera integral. El concepto general es que cuanto menos operaciones se hagan, menos efectos negativos en el sistema se va a tener (Studdert 2001).

### **3.2 *La labranza cero o siembra directa***

En este sistema de labranza no se laboreo el suelo sino que se siembra directamente depositando la semilla en un corte vertical de pocos centímetros que se realiza con una cuchilla circular o zapata de corte. Una rueda compacta la semilla en el surco de siembra para permitir su contacto con el suelo húmedo. Esta técnica exige controlar las malezas con herbicidas antes de la siembra, y también fertilizar debido a que la mineralización natural de los nutrientes del suelo se torna muy lenta. Es el mejor sistema para evitar la erosión del suelo. Su mayor restricción radica en el uso de sustancias químicas que pueden contaminar las aguas (Asociación Civil Ciencia Hoy 2002).

Los sistemas tradicionales de uso agrícola con laboreo intensivo tienen como resultado (en los trópicos y subtrópicos), la degradación y la pérdida de productividad de los suelos. Esto tiene como consecuencia la pobreza, el éxodo rural, el aumento de poblaciones marginales y los conflictos sociales. Si se pretende ofrecer a los agricultores y campesinos y sus familiares una posibilidad de sobrevivencia digna en el campo y si se procura practicar una agricultura sostenible, deberá cambiarse el enfoque de uso y manejo del suelo (ISTRO 1999).

La labranza cero es un sistema de producción donde se hacen las aplicaciones de herbicidas antes de sembrar el cultivo, sin realizar remoción alguna del terreno (Vega *et al* 1992).

### **3.2.1 Los beneficios de la labranza cero**

Los sistemas de labranza conservacionista del suelo y la siembra directa ofrecen numerosas ventajas que no pueden ser obtenidas con la labranza intensiva. Estas ventajas han sido resumidas de la siguiente forma: (ISTRO 1997).

- Necesidades menores de mano de obra.
- Economía de tiempo.
- Menor desgaste de la maquinaria.
- Economía de combustible.
- Aumento de la productividad a largo plazo.
- Disminución de la erosión.
- Mayor retención de humedad.
- Aumento de la infiltración de agua en el suelo.
- Disminución de la compactación del suelo
- Mejoramiento de la estructura del suelo.
- Menor emisión de gas carbónico a la atmósfera.
- Reducción de la contaminación del aire.

### **3.2.2 Comportamiento de las plagas con la implementación de la labranza cero**

Amemiya (1970), consigna que cuando no se labra el suelo, la acumulación de residuos de cosecha en la superficie ocasiona cambios en el medio ambiente de éste, principalmente por disminución de la temperatura e incremento del contenido de humedad del mismo, lo que puede inducir cambios en la población de malezas, insectos, patógenos y nemátodos.

Según Phillips *et al* (1980), las poblaciones de insectos y patógenos pueden ser mayores en un sistema sin labranza que bajo labranza convencional, debido a que existe un hábitat más favorable, pero también la conservación de la humedad y la reducción de la compactación del suelo en sistemas sin labranza, son factores que contribuyen a la producción de plantas más sanas que son capaces de resistir el ataque de insectos y enfermedades.

En 1984, Gednalke y Walgenbach concluyeron en relación con el picudo de la semilla del girasol *Smicrontx fulvus*, que el número de picudos emergidos fue mayor en parcelas con menor remoción del suelo, pero las siembras de trigo, maíz y girasol no tuvieron diferencias significativas en el número de picudos observados en relación con los tratamientos con mayor remoción del suelo.

### **3.2.3 Cambios químicos y físicos del suelo cultivado en labranza cero**

Estudios realizados demuestran que el no laboreo del suelo, con arados y rastras no aligeran la erosión y afectan positivamente las características químicas (pH, materia orgánica, niveles de nutrientes, etc.) y físicas (menor compactación, mayor retención de agua, etc.) del suelo (Vega 1992).

### **3.2.4 Mayor contenido de agua en el suelo**

Esto ocurre principalmente, debido a la presencia de residuos en la superficie que reducen las pérdidas por evaporación y aumenta la infiltración de agua cuando ocurren lluvias (García 2001).

La reducción de la evaporación se debe a que los residuos en la superficie aumentan, reduciendo la radiación neta por reflejar una importante parte de la radiación incidente. A su vez, la capa de residuos (mulch) tiene baja conductividad térmica e hídrica, porque una alta parte de su volumen es aire. La menor radiación neta con labranza mínima se destina a evaporar el agua que tengan los residuos en superficie y a calentar dichos residuos y el aire en contacto. El movimiento del agua del suelo a través del mulch para llegar a su superficie y desde allí evaporarse es bajo, por la menor conductividad hídrica (García 2001).

En suelos bajo labranza de conservación existen más huecos, llamados poros y macroporos, los cuales aceleran y aumentan la entrada del agua al subsuelo. Las raíces del cultivo y de las malezas dejan estos huecos cuando mueren y se descomponen. Además hay huecos que deja la lombriz de tierra, la cual es más abundante en suelos bajo labranza de conservación. Cuando llueve, el agua penetra rápidamente por estos huecos y hay más penetración y acumulación del agua porque tiene menos tiempo para escurrirse sobre el suelo y salir de la parcela (Pitty 2002).

En suelos arados y rastreados los huecos son destruidos con los implementos de labranza y el suelo queda homogéneo y pulverizado. Cuando llueve el agua penetra más lento y la capa superior del suelo se satura rápidamente; al saturarse el agua ya no penetra y se escurre sobre la superficie. El agua que sale de la parcela no es de ayuda para el cultivo y además reduce la fertilidad porque arrastra partículas de suelo (Pitty 2002).

### **3.2.5 Mayor contenido de materia orgánica del suelo**

La tasa de humificación es ligeramente más alta en labranza mínima o labranza cero, ya que el proceso de descomposición del residuo es más gradual. Además, al dejar los residuos en la superficie no ocurre el “ensilaje” de rastrojo con fermentación anaeróbica como a veces se da cuando se entierra en forma profunda con la labranza convencional (Canova 2001).

Esta mayor tasa de humificación, junto con el aporte de residuos por el rastrojo, son los responsables del mayor contenido de materia orgánica (Canova 2001).

Con la labranza mínima o labranza cero, la tasa de mineralización de la materia orgánica es más gradual y probablemente esto ocurre más activamente en los sitios explorados por las raíces y entonces la eficiencia de asimilación de los productos de la mineralización por parte de los cultivos es mayor y las pérdidas por escorrentía son menores. Esto puede comprobarse al observar los suelos de

las praderas naturales o los alambrados de los campos donde la producción de biomasa vegetal o de vegetación espontánea es muy baja y sin embargo el contenido de materia orgánica es muy alto (Canova 2001).

Estudios realizados por el Instituto de Suelos del INTA (Argentina) sobre 5 millones de hectáreas de la región maicera tradicional, mostraron que estos niveles de materia orgánica disminuyeron progresivamente con el uso agrícola, pasando de un 3,2% promedio en suelos con rotación agrícola-ganadera, al 2,7% en suelos sometidos a agricultura continua por períodos de más de 20 años. Parte de este carbono se perdió por procesos erosivos y parte por emisión a la atmósfera en forma de dióxido de carbono. Estas emisiones que son naturales durante la etapa de mineralización de la materia orgánica del suelo y necesarias para la fertilidad del mismo, se incrementan durante la realización de labranzas ya que estimulan la oxidación de la materia orgánica (Casas y Trucco 2002).

Mediante la utilización de sistemas de labranza conservacionista y especialmente mediante la siembra directa, se podría incrementar en forma lenta pero sostenida el nivel de materia orgánica de los suelos hasta llegar a los niveles óptimos posibles. Esto significa que podría incrementarse la cantidad de carbono "secuestrado" en el suelo, a la vez que se disminuyen las emisiones a la atmósfera (Casas y Trucco 2002).

La siembra directa promueve el proceso de humificación de la materia orgánica en sus formas más estables a través de la formación de complejos organo-minerales así como también la formación de materia orgánica joven, directamente relacionada con la fertilidad actual de los suelos. El proyecto en marcha permitirá conocer los cambios producidos en la cantidad y calidad en la materia orgánica y su efecto sobre la productividad del suelo la cual será evaluada a través de las propiedades químicas, físicas y biológicas. Estos aspectos son de fundamental importancia para el establecimiento de sistemas agrícolas sustentables, especialmente en aquellas áreas con ecosistemas frágiles (Casas y Trucco 2002).

### **3.2.6 Reducción de la erosión y degradación del suelo**

El suelo es la base de la producción de alimentos para la humanidad, por eso es necesario mantenerlo en su lugar de origen, de manera que no sea transportado por la escorrentía hacia arroyos, ríos, embalses o hacia el mar. Al mismo tiempo se tiene que asegurar que el suelo no sea destruido y que mantenga su capacidad productiva a través del tiempo (Derpsch 2000).

La cobertura del suelo por residuos y la no distribución con laboreo, son las principales razones de la reducción de la erosión y degradación con la labranza mínima. La información indica que la labranza mínima como sistema elimina prácticamente a la erosión como un problema de manejo y conservación de suelos, al reducir entre 85 y 100% en relación con una situación de suelo recién sembrado con labranza convencional (García 2001).

El contenido de materia orgánica del suelo aumenta bajo labranza mínima o labranza cero, se mantiene en suelo no degradado, generando una importante actividad biológica. Ambas cosas contribuyen a una mejor estructura y porosidad, determinando mejor dinámica de agua, entre otros efectos. La mejora en la dinámica del agua incluye mayor infiltración, por lo que se reduce el escurrimiento. Es decir, que la labranza mínima reduce la magnitud de los dos procesos que conforman la erosión hídrica del suelo, que son la disgregación de partículas por el golpeteo de la lluvia, y su transporte por el escurrimiento superficial (García 2001).

### **3.2.7 Reducción de las fluctuaciones de temperatura**

La presencia de rastrojos sobre el suelo puede modificar sustancialmente la temperatura de su superficie. Según Marelli *et al* (1981) citado por Arguedas (2001) es importante mencionar el efecto aislante que genera un rastrojo sobre el suelo, obteniéndose menores temperaturas en el verano y similares durante el invierno respecto de un suelo descubierto; por cuanto los rastrojos aíslan mejor el suelo debido a las diferentes capas de aire que permanecen entre los residuos acumulados.

Otro aspecto que puede influir en la absorción de energía solar es el color del rastrojo; por ejemplo, un rastrojo de trigo que aún mantenga su color amarillento irradiará hacia la atmósfera parte de la energía solar que reciba, lo que puede ser beneficioso en la época de verano. Por el contrario, en los meses más fríos los rastrojos ya habrán cambiado a un color más oscuro, lo que indicará que están captando y reteniendo una temperatura útil para el suelo (Crovetto 1992).

Sin embargo, este sistema de labranza presenta también algunas limitantes, entre las cuales Unger *et al* (1995) cita los siguientes:

- Mayor dependencia de pesticidas, en especial de herbicidas.
- Mayores problemas potenciales de insectos y enfermedades.
- Calentamiento más lento del suelo y por ello el atraso en la siembra.
- Menor disponibilidad de nutrientes.
- Cambio de las poblaciones de malezas.
- Necesidad de mayor entrenamiento del operador.
- Requerimientos de implementos de campo especializadas para cortar y operar bajo condiciones de presencia de residuos superficiales.

No en todos los casos los requisitos de los cultivos en un sistema de labranza cero son superiores al sistema convencional; existen casos en los que inclusive los rendimientos del sistema conservacionista han sido menores al convencional, pero lo que se debe de considerar es la ganancia neta, que en teoría debería ser más rentable el sistema conservacionista al utilizar menor inversión en el establecimiento del cultivo por concepto de maquinaria y ahorro de tiempo entre la cosecha y el establecimiento del cultivo.

### **3.2.8 Comportamiento de las malezas**

Los sistemas de labranza tienen sus efectos sobre las comunidades de malezas que surgen de los terrenos cultivados. Se ha encontrado que hay mayor número de especies de malezas en la labranza cero que en la labranza mínima.

En la labranza convencional el laboreo del suelo selecciona unas especies que se vuelven predominantes en el campo, mientras que en la labranza mínima el rastreo reduce la efectividad de los herbicidas preemergentes y, en consecuencia, germinan más malezas (Vega 1992).

Se ha determinado que con la labranza convencional hay más malezas perennes como coyolillo (*Cyperus rotundus*), pasto Jonson (*Sorghum halepense*), y pasto bermuda (*Cynodon dactylon*), debido a la fragmentación de sus estructuras radicales o vegetativas causada por el arado y la rastra, que ayuda a la diseminación y establecimiento de estas malezas (Vega 1992).

### **3.2.9 Reducción de los costos**

Al pasarse de labranza convencional a labranza mínima o labranza cero, se dejan de realizar todas las operaciones de laboreo primario y secundario, por lo que se elimina su costo (combustible, mano de obra, mantenimiento), y dejan de ser necesarios los equipos de laboreo (arados, rastras, etc.) y se pasa a requerir mucho menos potencia para impulsar las que se usan en labranza mínima. Ello reduce la inversión, pero hay que preguntarse cual maquinaria es necesaria, que en el extremo pasa a ser un tractor de potencia media, una asperjadora, una máquina de labranza mínima y alguna para acondicionar los rastreos. El número de pasadas sobre el terreno es menor, lo que extiende la vida útil del tractor y reduce sus costos de mantenimiento y reparaciones. Otro elemento de ahorro de costos asociado a la mínima labranza es el menor tiempo de operación requerido para con el cultivo. En contraposición, con la labranza mínima aumenta el uso y por lo tanto el gasto de herbicidas. (García 2001).

### **3.2.10 Pasos en la adopción de la labranza conservacionista**

Algunos agricultores, frecuentemente luego de escuchar sobre las bondades de la siembra directa o labranza mínima compran una máquina especializada. Esto ha llevado en muchos casos al fracaso en la aplicación de tecnología. En general, los agricultores solamente deberían comprar una

sembradora para la siembra directa después de adquirir los conocimientos necesarios sobre todos los componentes del sistema (Derpsch 2002).

Los factores más críticos que deberían considerarse antes de adoptar recomendaciones al agricultor son las siguientes:

- Mejorar su nivel de conocimiento, principalmente en control de malezas.
- Analizar el suelo, incorporar cal y corregir eventuales deficiencias de nutrientes.
- Evite suelos con mal drenaje.
- Nivele el suelo.
- Elimine compactaciones de suelo.
- Produzca paja o coberturas muertas.
- Compre una máquina especializada.
- Inicie en aproximadamente 10% de la propiedad.
- Practique la rotación de cultivos.
- Manténgase actualizado.

### ***3.2.11 Perspectivas futuras de la labranza cero***

Se pretende ofrecer a los agricultores y campesinos y sus familias una posibilidad de sobrevivir dignamente en el campo y si se procura practicar una agricultura sostenible, deberá cambiarse el enfoque de uso y manejo del suelo (Derpsch 2001).

La labranza mínima implica tener un conocimiento pleno de lo que significa e implica un cambio de actitud mental muy importante (Canova 2000).

En el sistema de labranza mínima las soluciones se buscan “dentro” del sistema y no “fuera”. Esto significa que existen determinados problemas: insectos,

enfermedades o compactación, se debe buscar la solución en el sistema y no fuera de él (Canova 2000).

En un año puede haber un fracaso, pero, permaneciendo en el sistema, tarde o temprano se ven los frutos luego de que el suelo comienza a recuperar su fertilidad (Canova 2000).

La labranza mínima no es mágica. Da excelentes resultados solo cuando se le practica y se la implementa correctamente y cuando se le utiliza en un planteo permanente que es donde muestra su mayor aporte, cual es la mejora del ambiente para los cultivos (Canova 2000).

Con los conocimientos actuales se debe asumir que la agricultura mecanizada de fin de siglo XX, que ha destruido y continúa destruyendo los recursos, está casi superada. Se debe considerar dentro de un análisis histórico, una transición hacia una agricultura sustentable en los tiempos venideros, donde la labranza cero o la labranza mínima como sistema deberá ser nuestro máximo exponente (Canova 2000).

El cuadro 1 presenta los efectos que se dan en la preparación del terreno en aspectos como son los químicos, físicos, sanitarios y del medio ambiente, como también los costos energéticos que se presentan en labranza convencional y labranza cero para los cultivos agrícolas.

**Cuadro 1.** Efectos del sistema de preparación del terreno y siembra sobre algunas características del suelo y de los cultivos.

VARIABLES	LABRANZA CONVENCIONAL	LABRANZA CERO	SIGNO
<b>Aspectos Químicos</b>			
Materia Orgánica	Menor	Mayor	+
Nitrógeno	Menor	Mayor	+
Fósforo	Menor	Mayor	+
Potasio	Menor	Mayor	+
Calcio y Magnesio	Menor	Mayor	+
pH	Menor	Mayor	+
Saturación de Al	Mayor	Menor	+
CIC	Menor	Mayor	+
<b>Aspectos Físicos</b>			
Erosión	Mayor	Menor	+
Infiltración	Menor	Mayor	+
Temperatura	Mayor	Menor	+
Humedad	Menor	Mayor	+
<b>Aspectos Sanitarios</b>			
Control biológico	Menor	Mayor	+
Plagas	Menor/Mayor	Menor/Mayor	=
Enfermedades	Menor	Mayor	-
Malezas	Menor/Mayor	Menor/Mayor	=
<b>Otros</b>			
Mecanización HP/Ha	Mayor	Menor	+
Mano de obra	Mayor	Menor	+
Rendimiento	Menor	Mayor	+
Rentabilidad	Menor	Mayor	+
<b>Medio Ambiente</b>			
Herbicidas	Mayor/Menor	Menor/Mayor	=
Emisiones de CO <sub>2</sub>	Mayor	Menor	+
Calidad del agua	Menor	Mayor	+
Sostenibilidad	No	Sí	+

Fuente: Asociación Civil Ciencia Hoy. Formas de labranza. 2002.

### **3.3 Importancia del uso del Nitrógeno**

Dentro de los nutrientes que necesita el cultivo del arroz para su crecimiento, el nitrógeno es el más escaso ya que casi todos los suelos son deficientes en ese elemento. El nitrógeno que es absorbido por las plantas viene de varias fuentes, incluyendo las siguientes:

1. Descomposición de la materia orgánica y su mineralización de nitrógeno,
2. Fertilizantes químicos,
3. Fijación de nitrógeno de la atmósfera por las algas,
4. Lluvia.

Las dos primeras son las de mayor importancia para el productor, especialmente el segundo, pues esto requiere de una inversión de dinero. Bajo los sistemas de siembra de Costa Rica hay indicaciones de que las otras entradas de nitrógeno en el sistema son insignificantes, por lo tanto, el problema será conservar el nitrógeno mineralizado de la materia orgánica del suelo y mejorar la eficiencia de las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados. (Cordero 1993).

El nitrógeno es un elemento que cuantitativamente, junto con el carbono, oxígeno e hidrógeno, es el más abundante en la materia viva en la que constituye de un 8 a un 16%. Forma parte de las moléculas como constituyente de los ácidos nucleicos, proteínas y enzimas (Ildefonso 2001).

La tierra es muy rica en nitrógeno, con más de 60 000 billones de TM, de los que el 94% se encuentra en la corteza terrestre. Del 6% restante, el 99,86% se halla en la atmósfera como nitrógeno molecular ( $N_2$ ) y el 0,04% aparece en los organismos vivos, suelos y aguas, en forma de compuestos orgánicos e inorgánicos (Ildefonso 2001).

El aire que respiramos contiene un 79% en volumen de nitrógeno, no obstante, este nitrógeno que se encuentra en estado molecular ( $N_2$ ) no es utilizable por los organismos vivos, excepto por los que pueden convertirlo en compuestos aprovechables. Es decir, las plantas, los animales y casi todos los microorganismos sólo pueden utilizar nitrógeno combinado o integrado en un compuesto químico. En efecto, las plantas y la mayoría de los microorganismos

son dependientes de formas inorgánicas de este elemento, principalmente como nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), mientras que los animales necesitan nitrógeno orgánico obtenido directamente de las plantas (Ildefonso 2001).

### **3.3.1 Funciones del nitrógeno**

Las principales funciones del nitrógeno en el arroz son las siguientes (Cordero 1993):

- Darle color verde a las plantas.
- Promover el rápido desarrollo de las plantas, aumentando la altura y el número de hijos, que incide en el incremento del rendimiento de grano.
- Agrandar el tamaño de las hojas y de los granos.
- Acrecentar el contenido de proteína en los granos.
- Mejorar la calidad del cultivo.
- Suplir el nitrógeno a los microorganismos, mientras que estos descomponen los materiales orgánicos bajos en nitrógeno.

### **3.3.2 Cantidades de nitrógeno por aplicar en el cultivo**

Las cantidades de nitrógeno que necesita el cultivo del arroz pueden ser estimadas por diferentes formas, las cuales son:

- Por medio de los síntomas visuales del cultivo.
- Por medio de los análisis foliares de las plantas, la concentración, absorción y extracción de nitrógeno en diferentes etapas de crecimiento y en especial a la cosecha.
- Por medio de análisis de suelos.
- Por medio de la respuesta del arroz en rendimiento de grano a las aplicaciones de nitrógeno.

En general, se puede decir que las variedades de arroz en Costa Rica responden positivamente al nitrógeno, en un rango que va de 80 a 180 kg/N/Ha. La gran variación depende principalmente de la variedad y del sistema de cultivo. (Cordero 1993).

### **3.3.3 Problemática del uso de los fertilizantes químicos.**

La fijación industrial está estrechamente relacionada con la existencia de una demanda de fertilizantes nitrogenados para el aumento del rendimiento de los cultivos. Existen dos opciones para aumentar la producción:

- Extensión del suelo dedicado a cultivos.
- Aumento de rendimientos.

De acuerdo con la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) solamente se utiliza la mitad del área potencialmente cultivable; el aprovechamiento de la otra mitad exigiría grandes gastos para hacerla productiva, así como el sacrificio de diversidad de plantas, que constituyen una reserva genética de gran variedad e interés en las investigaciones sobre la mejora vegetal y obtención de nuevos genotipos para la agricultura, que se han de realizar periódicamente para hacer frente a la aparición o evolución de agentes fitopatógenos. El aumento de la superficie dedicada a cultivos presenta, por lo tanto, importantes limitaciones (Ildefonso 2001).

Se ha intentado aumentar el rendimiento de la superficie cultivada. Para ello, la práctica del abonado del suelo agrícola en forma de estiércol y otros desechos orgánicos, se viene realizando desde hace mucho tiempo. Por otra parte, la fertilización con productos químicos nitrogenados data del siglo XIX, época en la que la principal fuente de nitrógeno era el nitrato de Chile ( $\text{Na}_2\text{NO}_3$ ) extraído de un mineral denominado caliche.

### **3.3.3.1 Condiciones climáticas**

Hay dos maneras mediante las cuales los factores climáticos tales como la temperatura, la radiación solar y la precipitación influyen en el crecimiento y, por ende, en el rendimiento del arroz. Por una parte, afectan directamente los procesos fisiológicos involucrados en la producción del grano como son el crecimiento vegetativo, la formación de los órganos de almacenamiento y el llenado de los granos; por otra parte, afectan indirectamente el rendimiento al favorecer la incidencia de enfermedades e insectos (Sánchez 1972).

### **3.3.3.2 Manejo del cultivo**

En condiciones de campo, las razones por las cuales una planta no alcanza la máxima eficiencia cuando se le aplica nitrógeno incluyen las siguientes:

- El fertilizante puede ser tomado por el cultivo pero no ser utilizado en la producción del grano debido a la incidencia de factores que limitan el crecimiento tales como la poca disponibilidad de agua o luz o la falta de otro nutrimento diferente al nitrógeno.
- El fertilizante no puede ser tomado por las plantas si se aplica en un lugar equivocado o a destiempo o si las condiciones de suelo lo hacen no asimilable temporalmente.

Las prácticas del cultivo que modifican la respuesta al nitrógeno incluyen: el sistema de cultivo, la densidad de siembra y el control de malezas, plagas y enfermedades (De Datta *et al* 1968).

### **3.3.3.3 Fuentes de fertilizantes**

Un resumen de De Datta y Magnave (1969) y una serie de experimentos de campo con N<sup>15</sup> conducidos por la Agencia Internacional de Energía Atómica en 15 países (IAEA, 1970) y posteriormente en otros 9 países, confirmaron que no hay diferencia significativa entre el sulfato de amonio y la urea y que la eficiencia de

cada uno de ellas depende de las propiedades del suelo y del método de aplicación.

Las fuentes de nitratos no son satisfactorias cuando se aplican al momento de la siembra, pero se pueden utilizar en aplicaciones posteriores cuando el sistema radical en la superficie del suelo está bien desarrollado (De Datta y Magnave, 1969; Wahhab y Bhattí, 1957).

La urea es la principal fuente de nitrógeno para el cultivo del arroz por su fácil disolución en el medio. Los problemas del uso de la urea incluyen su higroscopicidad, su rápida descomposición por la enzima ureasa a amonio y dióxido de carbono y el incremento temporal que producen en el pH del suelo. Las pérdidas de nitrógeno de la urea oscilan entre el 60 y el 80% (Cordero 1993).

Recientemente se han desarrollado algunas formas de urea que se pueden clasificar como granuladas y de lenta liberación.

Los fijadores biológicos son otra fuente de nitrógeno. Actualmente se investiga en el CIAT (CIAT 1981) la forma más eficiente de multiplicar el helecho acuático *Azolla* que vive en simbiosis con el alga verde-azul *Anabaena azollae* Straus (Nostocaceae). Hasta el momento, se ha comprobado que el helecho se desarrolla mejor en suelos alcalinos o neutros y que la adición de ureas es contraproducente.

Otra manera de adicionar nitrógeno al suelo es incorporando materia orgánica. Experimentos realizados en invernadero por Yoshida y Padre (1975) indican que la adición de la materia orgánica al suelo aumenta la cantidad de nitrógeno inmovilizado y la magnitud depende de la relación C/N del material añadido.

### **3.3.3.4 Época de aplicación**

El principal objetivo de un buen manejo del fertilizante nitrogenado es proporcionarle el nitrógeno a la planta cuando ella lo necesita. Esto se puede lograr:

- Aplicando fertilizantes de rápida liberación en varias etapas durante el crecimiento de la planta o,
- Aplicación a la siembra de materiales que liberan la cantidad de nitrógeno requerida en cada etapa de crecimiento.

El arroz necesita asimilar nitrógeno durante todo su periodo vegetativo, pero existen dos etapas de mayor exigencia: durante el macollamiento y al inicio de la formación de la panícula.

Al momento de la floración, el nitrógeno tomado por la planta se encuentra almacenada en las láminas y vainas de las hojas; en este momento se inicia su translocación, de tal manera que cerca de la mitad del nitrógeno almacenado va a los granos. La otra mitad del nitrógeno contenida en los granos es absorbida por la planta durante la formación de ellos.

En una serie de experimentos, la IAEA (1978) encontró que el nitrógeno aplicado al momento de la siembra es utilizado con una eficiencia de aproximadamente un 12% y al momento de la iniciación de la formación de la panícula en un 34%. La eficiencia promedio de dos aplicaciones fue de 23%. En general, la recuperación del nitrógeno aplicado después de la siembra es usualmente alta por varias razones:

1. Es mayor la desnitrificación e inmovilización del nitrógeno aplicado en etapas tempranas en comparación con el aplicado en etapas tardías.
2. El sistema radical ya desarrollado toma rápidamente el nitrógeno aplicado.
3. Una parte considerable del nitrógeno absorbido en las etapas tempranas se pierde en las hojas que se caen (Prasad 1979)

### **3.3.3.5 Método de aplicación**

La eficiencia del nitrógeno aplicado a veces mejora considerablemente si el fertilizante se coloca en la capa reducida del suelo.

La fuente de nitrógeno y su forma de aplicación ayudan a disminuir las pérdidas de nitrógeno por volatilización. La incorporación al suelo de sulfato de amonio o urea pueden disminuir las pérdidas de nitrógeno en comparación con la aplicación al voleo sobre la superficie. Las aplicaciones de nitrato de potasio o diurea isobutilidina disminuyen las pérdidas en un 8%.

Los fertilizantes nitrogenados aplicados antes de la siembra se deben incorporar durante la preparación del suelo y éste se debe conservar húmedo. Algunas nuevas formas de urea (supergranuladas, brigquets, etc.) producen mayores rendimientos cuando se colocan a profundidades (IRRI 1979) pero esta técnica requiere de mayor cantidad de mano de obra. En suelos con una tasa de percolación mayor que 5 mm/día no se recomienda esta práctica puesto que el nitrógeno se pierde por lixiviación (Vlek *et al* 1980).

Los beneficios de la incorporación de fertilizantes a 5 cm. no se observaron en suelos en condiciones aeróbicas con pH 4,7 y 8,1 (Mitsui 1977). Esto se le ha atribuido al hecho de que la nitrificación de fuentes amoniacas aplicadas a la capa superficial cuyo pH original no cambia es mínima en estos extremos de pH, eliminando las ventajas de la incorporación en estos casos.

### **3.3.4 Desórdenes nutricionales del arroz**

Los desórdenes nutricionales son anormalidades en el crecimiento del arroz causados por condiciones adversas de suelo. Las principales anomalías se pueden observar en el color de las hojas, tallos y raíces, en el tamaño de la planta, en la capacidad de macollamiento y en el desarrollo y proliferación de raíces. Las principales causas de los desórdenes nutricionales son dos: a) deficiencias de nutrientes y b) exceso de elementos esenciales o no esenciales (Cordero 1993).

### **3.3.4.1 Deficiencias de nitrógeno**

Las deficiencias de nitrógeno son comunes en el cultivo del arroz en Costa Rica, principalmente cuando el productor no hace uso eficiente de este nutrimento, en sus prácticas de abonamiento. En la época actual, estas deficiencias se pueden agudizar por el uso de variedades muy productoras, y de alta respuesta al nitrógeno (Cordero 1993).

De acuerdo con De Datta (1981) los síntomas de deficiencia de nitrógeno son:

- Plantas atrofiadas con un ilimitado macollamiento.
- Hojas angostas, pequeñas y erectas que se vuelven de color verde amarillento conforme maduran (las hojas jóvenes se mantienen más verdes).
- Las hojas viejas adquieren un color paja claro y mueren (Cordero 1993).

En un estudio realizado en Colombia sobre las respuestas al uso de nitrógeno en variedades de arroz sembradas en ese país entre los años 1950 a 1999 se concluyó que las variedades modernas de arroz son más eficientes en el uso de nitrógeno. La eficiencia del uso del nitrógeno es muy superior en riego controlado que en secano inundado por lluvia, especialmente a niveles altos de aplicaciones de urea. En ausencia del fertilizante las variedades modernas logran un mayor rendimiento que las tradicionales (Berrio *et al* 2002).

### **3.3.4.2 Deficiencias de fósforo**

En la actualidad son poco frecuentes por el uso continuo de este elemento en las prácticas de fertilización; sin embargo, su deficiencia causa los bajos rendimientos en localidades donde el análisis de suelo muestra valores inferiores a 5 ppm y el productor no lo aplica. Su deficiencia es común en suelos con materiales derivados de cenizas volcánicas y en los vertisoles (Cordero 1993).

El fósforo (P) es un constituyente esencial de la adenosina trifosfato (ATP), nucleótidos, ácidos nucleicos y fosfolípidos. Sus principales funciones son el transporte y almacenamiento de energía y el mantenimiento de la integridad de la

membrana celular. El P es móvil dentro de la planta, promueve el macollamiento, el desarrollo de la raíz, la floración temprana y la maduración (especialmente si la temperatura es baja). El P es particularmente importante en las primeras fases de crecimiento. Se requiere aplicar fertilizantes fosfatados cuando el sistema radicular de la planta de arroz no está todavía completamente desarrollado y el suplemento de P nativo del suelo es bajo. El P es removilizado dentro de la planta durante etapas posteriores de crecimiento, si suficiente P ha sido absorbido durante las etapas tempranas. Las plantas de arroz deficientes en P son pequeñas y tienen muy bajo macollamiento. Las hojas son estrechas, pequeñas y muy erectas y presentan un color verde oscuro. Los tallos son delgados y alargados y el desarrollo de la planta se retarda. Se reduce también el número de hojas, panojas y granos por panoja. Las hojas jóvenes parecen saludables, pero las hojas viejas toman un color pardusco y mueren. Si la variedad tiende a producir antocianinas, las hojas pueden desarrollar un color rojo o púrpura. Las hojas tienen un color verde pálido cuando existe una deficiencia simultánea de P y nitrógeno (N). Es difícil reconocer una moderada deficiencia de P en el campo. La deficiencia de P es a menudo asociada con otros desórdenes nutricionales como toxicidad de hierro (Fe) a bajo pH, deficiencia de zinc (Zn), deficiencia de Fe y salinidad y alcalinidad del suelo (Potash & Phosphate Institute 2002).

Se debe considerar al manejo del P como una inversión a largo plazo en fertilidad del suelo y como la forma más efectiva para prevenir los síntomas antes que tratar las deficiencias, en contraste con el manejo de nitrógeno (N), donde el tratamiento y la prevención tienen igual importancia. El P requiere de una estrategia de manejo a largo plazo porque no se puede perder o añadir fácilmente a la zona radicular por procesos biológicos o químicos como sucede con el N. La aplicación de fertilizante fosfatado tiene un efecto residual que puede persistir por varios años. El manejo debe buscar incrementar y luego mantener niveles adecuados de P disponible en el suelo para asegurar que el suplemento de este nutriente no limite el crecimiento del cultivo o afecte la eficiencia del uso de N (Potash & Phosphate Institute 2002).

### **3.3.4.3 Deficiencias de potasio**

Son poco frecuentes en el cultivo de arroz, con la excepción en las siembras en vertisoles y en los suelos que contienen menos de 0,1 meq de kg/100 g de suelo (Cordero 1993).

El potasio al igual que el fósforo no varía tanto durante el estado de desarrollo del cultivo. Una concentración de 1,0% K o mayor en las hojas al momento del máximo macollamiento es considerado adecuado.

El potasio (K) es esencial para que ocurran normalmente diversos procesos en la planta. Entre estos pueden mencionar la osmoregulación, activación de enzimas, regulación del pH y balance entre aniones y cationes en las células, regulación de la transpiración por los estomas y transporte de asimilados (producto de la fotosíntesis) hacia el grano. El K fortalece las paredes celulares y está envuelto en la lignificación de los tejidos escleróticos. A nivel de toda la planta, el K incrementa el área foliar y el contenido de clorofila, retrasa la senescencia y por lo tanto contribuye a una mayor fotosíntesis y crecimiento del cultivo. A diferencia del nitrógeno (N) y el fósforo (P), el K no tiene un efecto mayor en el macollamiento, sin embargo, su presencia incrementa el número de granos por panoja, el porcentaje de granos llenos y el peso de 1000 granos (Potash & Phosphate Institute 2002).

La deficiencia de K resulta en acumulación en la planta de azúcares lábiles de bajo peso molecular, amino ácidos y aminos que son una muy buena fuente de alimento para los patógenos que atacan las hojas. Por otro lado, el K mejora la tolerancia de la planta a condiciones climáticas adversas, al acame y al ataque insectos y enfermedades. Los síntomas de deficiencia tienden a aparecer primero en las hojas viejas, debido que el K es móvil dentro de la planta y se transloca de las hojas en senescencia a las hojas jóvenes. A menudo, la respuesta en rendimiento a la aplicación de K solamente se observa cuando el suplemento de otros nutrientes, especialmente N y P, es suficiente (Potash & Phosphate Institute 2002).

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### **4.1 Localización y condiciones edafoclimáticas**

Esta investigación se realizó en el lote 2 de finca La Vega propiedad del Instituto Tecnológico de Costa Rica, localizada en el Caserío de La Vega, en el cantón de San Carlos, de la provincia de Alajuela, Costa Rica. Esta zona está ubicada a 10° 26' Latitud Norte, 84° 32' Longitud Oeste, a una altura de 75 msnm.

Según Holdrige (1987) citado por Araya (2000) de acuerdo a la clasificación de zonas de vida, la zona corresponde a la formación ecológica del Bosque Tropical Húmedo.

En los últimos 5 años la zona presenta una temperatura promedio de 25°C, una precipitación promedio de 3709 mm y una humedad relativa promedio de 83%. Esta información climática fue obtenida en la Estación Meteorológica del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Santa Clara de San Carlos, ubicada aproximadamente a 10 Km. del área de siembra, por lo que los datos no necesariamente reflejan el comportamiento climático de La Vega.

El suelo del área de estudio es de textura franco-arenosa, donde predomina suelo de origen aluvial con relieve bastante plano y drenajes lentos, principalmente durante la época de invierno (Montero *et al* 1996).

Los suelos de finca La Vega presentan un pH que oscila entre 5,24 y 5,27; para las áreas de estudio en este caso, con un nivel de bases cambiables medio, en los que el Calcio ( $17,2\text{cmol}^{(+)}\text{/L}$ ), el Magnesio ( $2,9\text{cmol}^{(+)}\text{/L}$ ) y el Potasio ( $0,6\text{cmol}^{(+)}\text{/L}$ ) están en desequilibrio entre sí (Rodríguez 2002). Es necesario mencionar que los niveles de Calcio en la finca se encuentran altos pero sin llegar a presentar niveles tóxicos para el cultivo (Araya 2000).

## **4.2 Material experimental**

### **4.2.1 Variedad utilizada**

La variedad del cultivo de arroz utilizada fue la “FEDEARROZ 50”. Este cultivar tiene un período vegetativo de 120 a 125 días, es de macollamiento intermedio que se compensa con sus grandes panículas, semicompacta, espiguillas con estigma blanco, hoja bandera erecta y larga, follaje verde intenso, senescencia tardía y en algunas zonas se observa un bronceado de la hoja al final del ciclo de cultivo; por otro lado, presenta tallos fuertes y flexibles que le dan tolerancia al vuelco, la altura es de 103 cm. aproximadamente, con una excursión de la hoja de 3,9 cm., vaneamiento de 12,1%. El periodo de latencia de la semilla es entre 40 y 50 días después de la cosecha y tiene un rendimiento promedio de 5036 kg/Ha (Fedearroz 2002).

Se sospecha que el carácter de permanencia verde de la variedad “Fedearroz 50”, se debe principalmente a una tasa fotosintética inusualmente alta y que acentúa el contenido de nitrógeno y clorofila. El carácter de permanencia verde es tal, que sus hojas son normales y funcionales al momento de la maduración fisiológica del grano (Jennings *et al* 2002).

Por otra parte, es altamente tolerante a enfermedades como *Pyricularia* y virus de la hoja blanca, susceptible a *Rhizoctonia*, tolerante a *Helminthosporium*, complejo de manchado del grano y al daño mecánico de *Tagozodes orizicolus*, tolerante a *Hydrellia* y barrenadores (*Diatraea*; *Rupela*), susceptible al enrollado de la hoja (Fedearroz 2002).

Esta variedad presenta un desgrane intermedio y debe cosecharse con una humedad del 24 al 26%. Por la característica de su desgrane intermedio, las cosechadoras combinadas y operarios deben regirse por los siguientes aspectos técnicos (Fedearroz 2002):

- Velocidad de corte: máximo 3 kilómetros por hora.
- Velocidad del molinete: cerca de 20 revoluciones por minuto.

- Velocidad del cilindro: de 600 a 700 revoluciones por minuto.

Entre otras características varietales encontradas que pudieran relacionarse con este tipo especial de follaje se podría mencionar (Jennings *et al* 2002):

- Excelente rendimiento en grano entero en el molino.
- Buena tolerancia ha quebrado del grano en retraso de cosecha.
- Rendimientos extraordinariamente altos de soca, de 7 a 10 t/Ha, representando entre un 60 a 70% de los rendimientos de la cosecha inicial.

### 4.3 Análisis de suelo y foliar

#### 4.3.1 Análisis de suelo

El día de la siembra, previo a ésta, se realizó un muestreo de suelo, a una profundidad de 0 – 15 cm, el cual se dividió en dos secciones: labranza convencional y labranza cero. El resultado del análisis de suelo se observa en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Análisis químico de suelo en los lotes sembrados en labranza cero y labranza convencional. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

IDENTIFICACIÓN	pH	cmol(+)/L					mg/L						
	H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	ACIDEZ	CICE	P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
Labranza cero	5,46	29,2	3,6	0,36	0,29	33,45	18,4	8,4	99	15,8	2,5	0,78	1,72
Labranza convencional	5,26	25,6	3,8	0,34	0,39	30,13	12,7	8	118	24,9	2	0,87	3,76
Niveles Críticos*	5,5	4	1	0,2	0,5	5	10	2	10	5	2	ND	ND
	6,5	20	5	0,6	1,5	25	20	20	100	50	10		

\* Fuente: Bertsch F, 1998

#### 4.3.2 Análisis foliar

A los 35 días después de la siembra se realizó el primer muestreo foliar, siete días después de la segunda aplicación del abono granulado donde se habían aplicado a la fecha el MAP a la siembra y la primera aplicación de Nitrato de

Amonio; el área experimental se dividió en dos secciones: labranza convencional y labranza cero. En cada una de estas secciones se tomó un bloque del área experimental y se obtuvo una muestra de plantas (sin raíz) por cada tratamiento o nivel de N compuesta por cuatro submuestras o plantas distribuidas homogéneamente en forma de zig-zag. Cada una de las submuestras fue colectada y colocada en una bolsa plástica y esta a la vez fue introducida en una bolsa de papel para ser enviada al laboratorio para el análisis de nitrógeno total en cada uno de los tratamientos. También se obtuvo una muestra foliar de cada sección y se efectuó un análisis químico de los siguientes elementos: P, Ca, Mg, K, Fe, Cu, Zn, Mn, B, y S. Los resultados se indican en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Análisis químico foliar realizado a los 35 días después de la siembra en las plantas de arroz sembrado en labranza cero y en labranza convencional. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

IDENTIFICACIÓN	(%)				mg/kg					
	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn	B	S
Labranza cero	0,31	0,34	0,14	2,96	455	22	41	278	1,1	0,19
Labranza convencional	0,26	0,41	0,14	2,57	993	20	45	332	3,2	0,22
Niveles Críticos*	0,43	0,19	0,24	3,75	61	35	75	57	5	0,17
	0,51	0,22	0,33	4,45	170		85	130	15	0,22

\* Fuente: Reuter, D. J; Robinson, J. B. 1997

Los números de color rojo son los que están deficientes.

Se observa que el análisis foliar realizado a los 35 días después de la siembra presentó deficiencias en P, Mg, K, Cu, Zn y B en ambos sistemas de labranza. Los elementos Ca, Fe y Mn en ambos sistemas de labranza presentaron niveles superiores a los recomendados para el cultivo del arroz.

El segundo muestreo se realizó a los 84 días después de la siembra en la etapa de “panzoneo o embuchamiento”, a los 10 días posteriores a la última aplicación del abono granulado, donde se habían aplicado las siguientes formulas: MAP a la siembra, dos aplicaciones de Nitrato de Amonio y por último Nitrato de Amonio + Sulfato de Amonio (Nutrasul). Se siguió el mismo procedimiento de

muestreo descrito anteriormente, con la excepción que no se analizó B y S. Los resultados se indican en el cuadro 4.

**Cuadro 4.** Análisis químico foliar realizado a los 84 días después de la siembra en plantas de arroz sembrado en labranza cero y en labranza convencional. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

IDENTIFICACIÓN	(%)				mg/kg			
	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn
Labranza cero	0,26	0,30	0,15	2,53	135	7	180	960
Labranza convencional	0,26	0,32	0,17	2,58	197	9	55	1000
Niveles Críticos*	0,26	0,36	0,12	3,5	74	8	33	150
	0,36	0,45	0,17	3,62	192	25	160	800

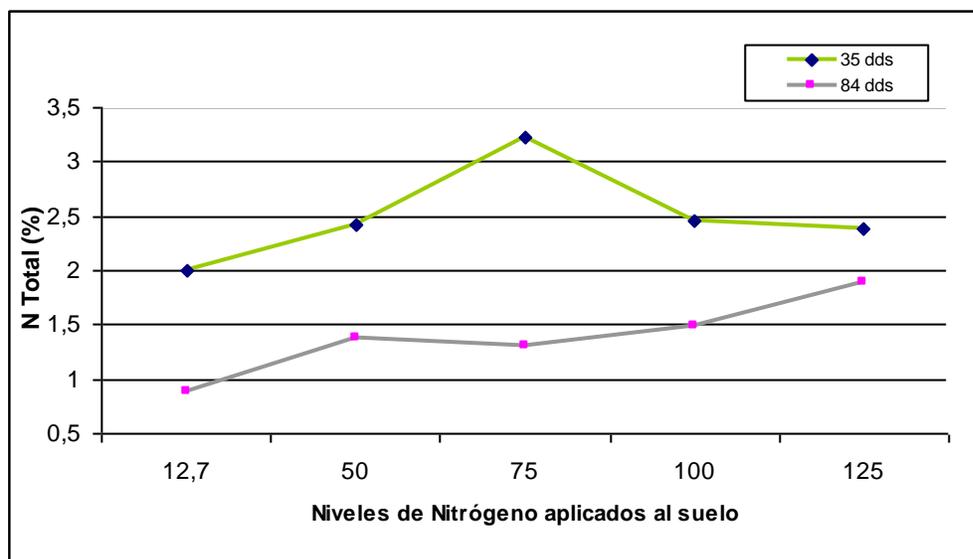
\* Fuente: Reuter, D. J; Robinson, J. B. 1997

Los números de color rojo son los que están deficientes.

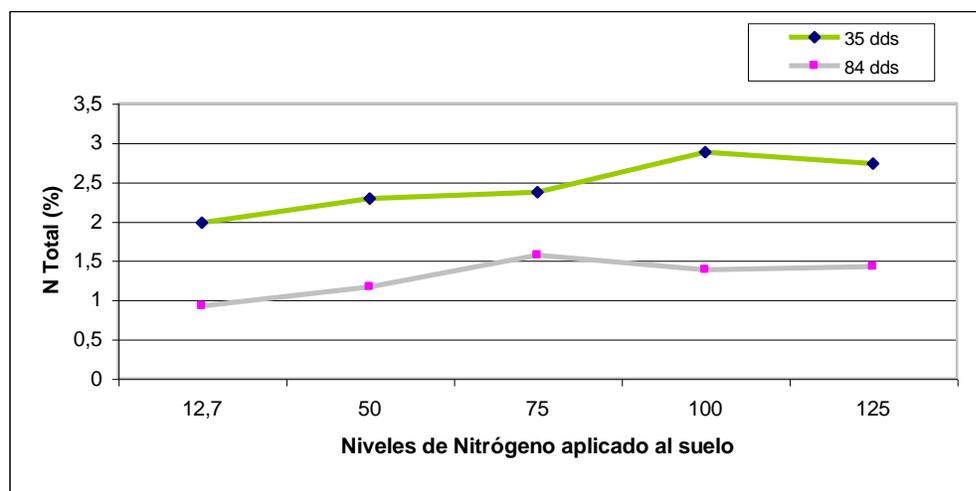
En este estado fenológico se presentaron deficiencias Cu en labranza cero, y Ca y K en ambos sistemas de labranza. Por su parte, hubo niveles superiores a los recomendados de Fe en labranza convencional, Zn en labranza cero y Mn en ambos sistemas de labranza.

En ambos sistemas de labranza en el muestreo realizado a los 84 días después de la siembra se obtuvo un contenido de N inferior al obtenido a los 35 días (Figuras 1 y 2), debido a que la mayor parte de este nitrógeno probablemente fue traslocado a la panícula que estaba próxima a emerger. También, a esta edad del cultivo, los requerimientos de nitrógeno son menores debido a que la planta está cesando su crecimiento; caso contrario ocurre con la planta cuando tiene 35 días de edad.

En general se observó una curva creciente en el contenido de N conforme aumentó el fertilizante nitrogenado aplicada entre los sistemas de labranza, independientemente del estado fenológico del cultivo, con excepción del sistema de labranza cero en donde hubo una disminución importante a partir de los 75 kg de N /ha (Figuras 1 y 2).



**Figura 1.** Contenido de N total (%) foliar obtenido en los diferentes niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz sembrado en labranza cero a los 35 y 84 días después de la siembra. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



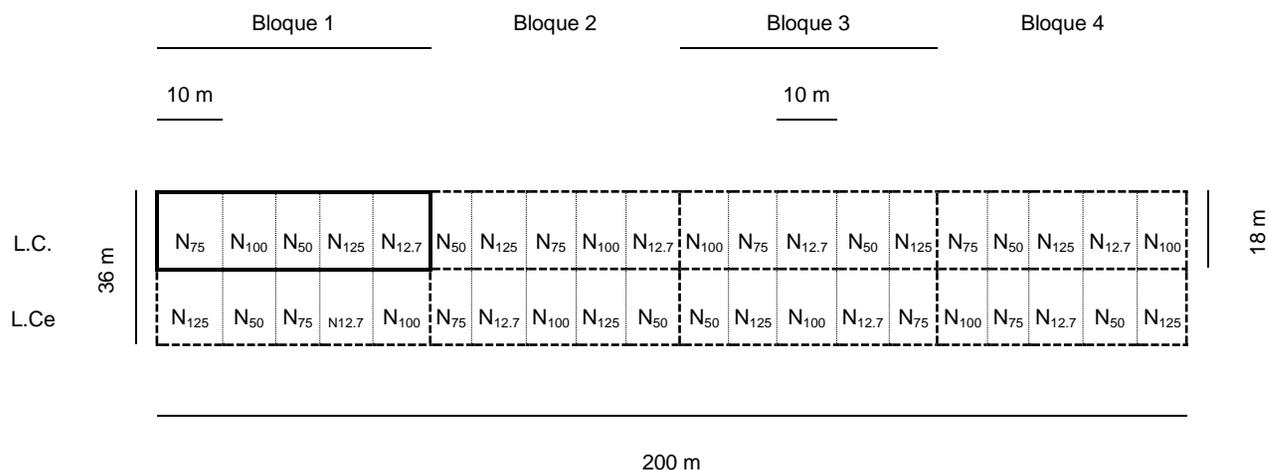
**Figura 2.** Contenido de N total (%) foliar obtenido en los diferentes niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz sembrado en labranza convencional a los 35 y 84 días después de la siembra. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

#### **4.4 Diseño experimental y Tratamientos**

El diseño experimental fue un Bloques Completos al Azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones en cada uno de los sistemas de labranza.

El área experimental estuvo constituida por dos sistemas de labranza con un área de 3600 m<sup>2</sup> cada una (200m x 18m) para un total de 7200 m<sup>2</sup>. Cada una de estas dos áreas se subdividió en cuatro bloques y cada uno de estos en cinco unidades experimentales de 180 m<sup>2</sup> (18m x 10m) a las que se les aplicaron los diferentes tratamientos. La parcela útil fue de 150 m<sup>2</sup>.

El croquis correspondiente a este experimento se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Distribución de las unidades experimentales en los dos sistemas de labranza en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*). ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Donde:

N<sub>12,7</sub>: 12,7 kilogramos de Nitrógeno\*

LCe: Labranza cero

N<sub>50</sub>: 50 kilogramos de Nitrógeno

LC: Labranza convencional

N<sub>75</sub>: 75 kilogramos de Nitrógeno

N<sub>100</sub>: 100 kilogramos de Nitrógeno

N<sub>125</sub>: 125 kilogramos de Nitrógeno

\* Corresponde a 12,7 kg N aportado por el fosfato monoamónico usado en la siembra, en vista que no fue posible conseguir en el mercado una fuente con solo fósforo.

El modelo lineal fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$\mu$  = media general

$\beta_i$  = efecto de bloque

$T_j$  = efecto de los tratamientos

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

Es importante mencionar que este lote, y específicamente esta área experimental, fue mecanizada por más de 10 años y que desde hace 2 años no se mecaniza, excepto el área sembrada en labranza convencional.

Los tratamientos fueron los siguientes: 12,7 kgN/Ha, 50 kgN/Ha, 75 kgN/Ha, 100 kgN/Ha y 125 kgN/Ha. La fuente de nitrógeno a utilizar en la primera aplicación fue el MAP, en la segunda y tercera aplicación fue el nitrato de amonio (Nutran) y en la cuarta aplicación se utilizó nitrato de amonio más sulfato de amonio (Nutrasul) (Cuadro 5). Se debe aclarar que el fertilizante nutrasul contiene un 8% de azufre, por lo tanto, existe una dosis creciente de azufre proporcional a la dosis de nitrógeno.

**Cuadro 5.** Kilogramos de nitrógeno a aplicar en cada uno de los tratamientos. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Niveles N/Ha	kg N/ parcela	MAP	Nitrato de	Nitrato de	Nutrasul
		(10-50-0)	Amonio	Amonio	
Número de aplicaciones / Kilogramos de fertilizante aplicados por hectárea					
		I	II	III	IV
12,7	0,22	127	0	0	0
50	0,90	127	37,11	37,11	46,05
75	1,35	127	61,99	61,99	76,91
100	1,80	127	86,87	86,87	107,78
125	2,25	127	111,74	111,74	138,64

Se debe mencionar que como una necesidad del cultivo además del nitrógeno se utilizaron 63,5 kg/Ha de fósforo ( $P_2O_5$ ) todo a la siembra el cual se suplió como fosfato monoamónico o MAP (10-50-0), y 90 kg/Ha de Cloruro de Potasio (60%  $K_2O$ ) distribuidos en 3 aplicaciones: en la primera se aplicó el 50%, en la segunda 25% y en la última el 25%; en la última aplicación de nitrógeno se adicionó azufre en proporción al tratamiento correspondiente.

## **4.5 Variables a evaluar**

### **4.5.1 Población de plantas**

#### **4.5.1.1 Antes del macollamiento**

Esta variable se evaluó a los 14 días después de la siembra (dds). Se estimó la población de plantas con una cinta métrica en donde se contó el número de plantas en un metro lineal en 10 sitios de muestreo (10 m lineales), distribuidos en cada una de las unidades experimentales en ambos sistemas de labranza. El metro lineal se extrapoló a un metro cuadrado y se estimó la población de plantas por metro cuadrado.

#### **4.5.1.2 Después del macollamiento**

Este muestreo se realizó a los 63 dds. Se estimó la población de plantas en un metro lineal en 3 sitios de muestreo distribuidos en cada una de las unidades experimentales en forma de zig-zag en ambos sistemas de labranza. El metro lineal se extrapoló a un metro cuadrado y con ello se estimó la población de plantas después de macollamiento por metro cuadrado. En el conteo de las plantas se consideraron las plantas madres, los hijos (macollos) y las plantas solteras.

#### **4.5.2 Volcamiento de plantas**

El volcamiento de las plantas se iba a evaluar en la etapa reproductiva del cultivo a la edad de 114 días después de la siembra, sin embargo, no hubo volcamiento de plantas por lo que no se efectuó ninguna evaluación.

#### **4.5.3 Población de plantas productivas y no productivas**

La población de plantas productivas (con espiga) y no productivas (sin espiga) se evaluó en el laboratorio, luego de la cosecha. Se cortaron las plantas que se encontraban en un metro lineal en tres diferentes sitios de muestreo en forma de zig-zag dentro de cada unidad experimental, para luego proceder a introducir las en un saco identificado con el tratamiento correspondiente; esto se realizó en cada una de las unidades experimentales en ambos sistemas de labranza. El metro lineal se extrapoló a un metro cuadrado y se estimó la población de plantas productivas y no productivas por metro cuadrado.

#### **4.5.4 Altura de plantas**

La altura se midió desde la base de la planta hasta la hoja bandera; esta labor se realizó en el laboratorio inmediatamente después de la cosecha de los tallos. Las plantas utilizadas fueron las mismas de la variable de plantas productivas y plantas no productivas.

#### **4.5.5 Número de panículas por metro cuadrado**

Se contó el número de panículas en las plantas de arroz encontradas en tres metros lineales; estas plantas fueron las mismas utilizadas en la variable de plantas productivas. Luego se extrapoló a 1 m<sup>2</sup> considerando la distancia entre hileras. Esta evaluación se realizó en el laboratorio posterior a la cosecha en cada una de las unidades experimentales.

#### **4.5.6 Longitud de la panícula**

La longitud de la panícula se obtuvo midiendo las panículas encontradas en un metro lineal en las plantas consideradas como plantas productivas; se midió desde el nudo ciliar hasta la punta de la panícula. Esta medición se realizó en las plantas que se colectaron en los tres sitios de muestreo anteriores, y fueron distribuidos dentro de cada unidad experimental. Las longitudes se clasificarán por frecuencias, a saber en:

- Frecuencia 1: Panículas mayores a 20 cm.
- Frecuencia 2: Panículas entre 15 y 20 cm.
- Frecuencia 3: Panículas menores a 15 cm.

Esta evaluación se realizó en el laboratorio posterior a la cosecha en cada una de las unidades experimentales.

#### **4.5.7 Rendimiento (kg/Ha)**

Al final del ciclo se determinó el rendimiento por hectárea de arroz en cada una de las unidades experimentales en ambos sistemas de labranza. Este se obtuvo cosechando todas las plantas dentro de un área de 5 metros cuadrados y luego fueron trilladas, limpiadas y pesadas. Este peso se extrapoló a una hectárea para determinar el rendimiento por hectárea.

#### **4.5.8 Calidad molinera**

De las muestras que se obtuvieron en la variable de rendimiento se procedió a pesar aproximadamente 1 kilogramo de arroz en granza y luego se enviaron al laboratorio de la Corporación Arrocera para obtener el porcentaje de rendimiento en molino y el porcentaje de grano quebrado.

#### **4.6 Análisis de la información**

Se hizo un análisis de varianza en cada uno de los sistemas de labranza en el paquete estadístico INFOSTAT para las variables población de plantas antes y después de macollamiento, población de plantas productivas y no productivas, altura de plantas, número de panículas, rendimiento (kg/Ha); en calidad molinera se hizo análisis de varianza en INFOSTAT para el porcentaje de rendimiento en molino y porcentaje de grano quebrado en cada sistema de labranza.

En la variable longitud de la panícula no se efectuó el análisis de varianza; simplemente se grafico la cantidad de panículas agrupadas por tamaño o frecuencia.

También se efectuó una prueba de rango múltiple para la separación de las medias (prueba de Duncan) por medio del INFOSTAT en todas aquellas variables que presentarán diferencias significativas en el análisis de varianza.

La graficación de la información fue realizada por medio del INFOSTAT.

#### **4.7 Manejo agronómico**

La siembra se realizó con una sembradora de labranza mínima marca Tatú, modelo SDA<sup>2</sup>E de 14 líneas de descarga de semilla y fertilizante, con un ancho de labor de 2,2 m y una capacidad de depósito de semilla de 430 kg y de 680 kg de fertilizante.

En esta siembra se emplearon cuerpos de chorro continuo. En las labores de siembra esta máquina fue acarreada por un tractor New Holland TL100 de doble tracción y de 110 HP.

La variedad de arroz que se utilizó fue la "FEDEARROZ 50" a una densidad de 148 kg de semilla/ha, la cual se depositó en el suelo a una distancia de 15,71 cm. entre hileras.

En este ensayo, tanto en el sistema de labranza cero como en labranza convencional, la primera aplicación de fertilizante se realizó a la siembra con fertilizante granulado de la fórmula 10-50-0 a razón de 127 kg/Ha, el cual se incorporó al suelo con la sembradora de labranza mínima junto con la semilla. La segunda y tercera aplicación se realizó con fertilizante granulado y su aplicación fue a mano en forma voleada, con la mezcla de Cloruro de Potasio más Nutran en los diferentes niveles de nitrógeno en las diferentes unidades experimentales. La cuarta fertilización se realizó con fertilizante granulado Nutrasul más Cloruro de Potasio en los diferentes niveles determinados para el ensayo.

El programa de fertilización y el programa fitosanitario utilizado en el cultivo de arroz se observan en los cuadros 6 y 7.

**Cuadro 6.** Programa de fertilización realizado en la siembra de arroz en ambos sistema de labranza. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

NÚMERO DE APLICACIÓN	EDAD DEL CULTIVO (DÍAS)	PRODUCTOS
1	0	MAP <sup>(1)</sup>
2	28	Nitrato de Amonio <sup>(2)</sup> + Cloruro de potasio <sup>(3)</sup>
3	55	Nitrato de Amonio + Cloruro de potasio
4	75	Nitrato de Amonio + Sulfato de Amonio <sup>(4)</sup> + Cloruro de Potasio

<sup>(1)</sup> 10-50-0      <sup>(2)</sup> 33,5 % N      <sup>(3)</sup> 0-0-60-47 Cl      <sup>(4)</sup> 27% N y 8,3% S

**Cuadro 7.** Programa del manejo fitosanitario aplicado antes y después de la siembra de arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

PERÍODO	DÍAS	NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE GENERICO	DOSIS DE PC/HA
Antes de la siembra	48	Round up + Sirius	Glifosato + pirazosulfuron etil	3.6L + 300gr
Posterior a la siembra	0	Glifolaq + Machete + Ally	Glifosato + butaclor + metsulfurón metilo	1,6L + 1,6L + 2,5gr

	31	Aura + Dash + Karate zeon	clefoxydim + metiloleato palmitato + lambda-cihalotrina	1,80L + 1,08L + 100ml
	50	Fulminante + Actril + Invest	sulfunilurea + (ioxinil 2,4-D) + cyclosulfamuron	10gr + 400ml + 56gr
	64	Quelatozin 11%L + Boro 5%L + Metalosato de Magnesio	Zinc 11%; S 5,4% + Boro 5% + Magnesio 2,11%	3L + 0,5L + 0,5L
	94	Caporal + Bavistin + Trebón + Actara + Metalosato de potasio + Metalozinc plus	triazol + carbendazim + etofenprox + tiametoxam + K 30% + Mg 0,5%; Fe 0,25%; Mn 1%; Zn 2,8%; Cu 0,25%; B 0,025%	0,7L + 0,64L + 0,8L + 80gr + 1,2L + 0,6L

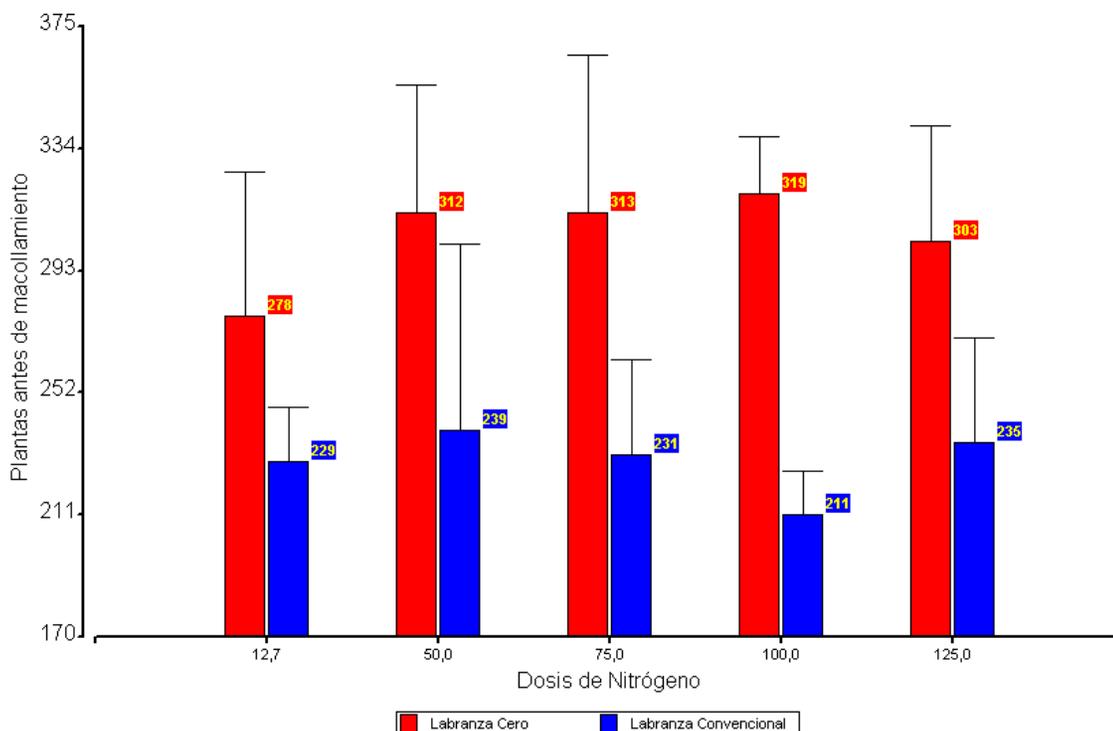
## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Población de plantas

#### 5.1.1 Antes de macollamiento

En la población de plantas de arroz antes de macollamiento no se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los tratamientos en ambos sistemas de labranza (Cuadro 1A y 2A).

En el ciclo de siembra 2001 antes del macollamiento (Rojas y Chávez 2002), se obtuvo una mayor población de plantas en el sistema de labranza convencional, no obstante, en este ensayo hubo una mayor población de plantas en labranza cero (Figura 4). Esto se debió a que la germinación fue más afectada en labranza convencional por el exceso de agua acumulada en esa área.



**Figura 4.** Población de plantas de arroz ( $m^2$ ) antes de macollamiento sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

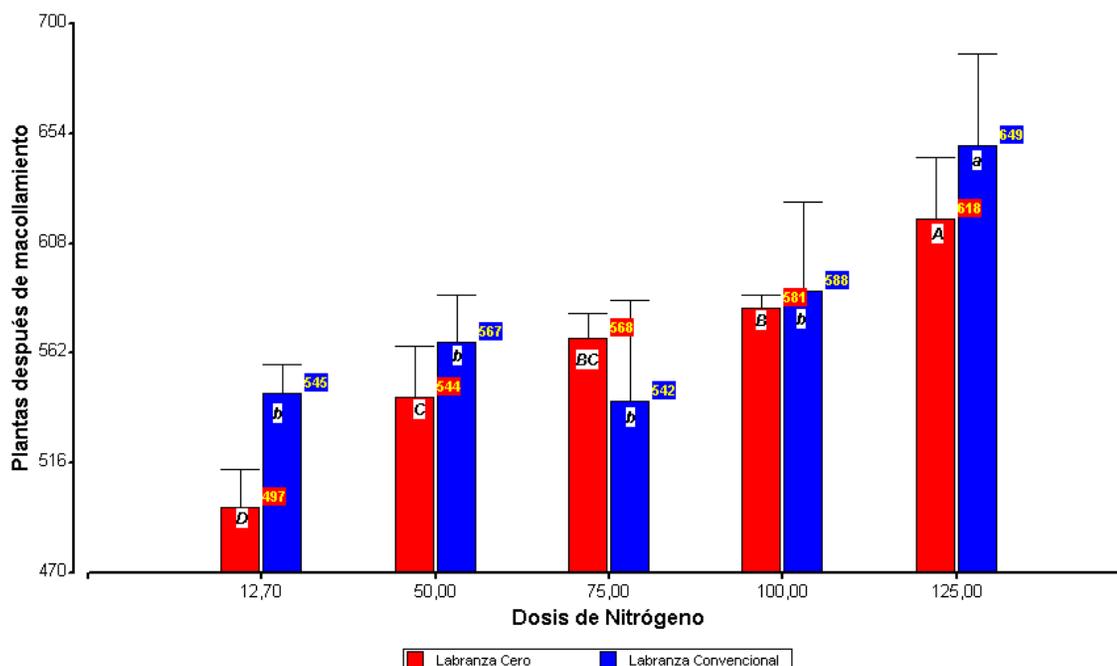
Entre los niveles de nitrógeno no se presentaron diferencias significativas en ninguno de los sistemas de labranza, debido a que a esta edad (14 días después de la siembra) la única fertilización que se había realizado fue la de siembra; además, las plantas aún no han iniciado el macollamiento la cual es una etapa en donde hay un mayor requerimiento de N.

### **5.1.2 Después de macollamiento**

En el análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre los tratamientos en la labranza cero (Cuadro 3A), y en el sistema de labranza convencional se presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) (Cuadro 4A).

Se obtuvo que conforme aumentó el nivel de N se incrementó la población de plantas, en forma muy similar en ambos sistemas de labranza (Figura 5). Fue evidente el efecto del nitrógeno en el número de plantas después del macollamiento.

Al respecto, la capacidad de macollamiento está muy relacionada con la variedad y con la respuesta al N (CIAT 1982). Las variedades con baja respuesta al N tienen un macollamiento activo durante la fase vegetativa lo cual causa autosombreo y reduce el número de tallos efectivos, en tanto que las variedades de alta respuesta a N tienen menos competencia por luz en los primeros estados de crecimiento y el número de panículas aumenta al incrementar la dosis de nitrógeno (Tanaka *et al* 1966, citado por CIAT 1982). También Nguu y De Datta 1979, citado por CIAT 1982) en un estudio realizado en el IRRI en la variedad IR 36 obtuvieron que la aplicación de N estimuló el macollamiento y por lo tanto el rendimiento obtenido fue mayor que sin N. Mencionan que a medida que aumentó la densidad de siembra y el nivel de N, el rendimiento ascendió hasta alcanzar un máximo.



**Figura 5.** Población de plantas de arroz (m<sup>2</sup>) después de macollamiento sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

## 5.2 Población de plantas productivas y no productivas

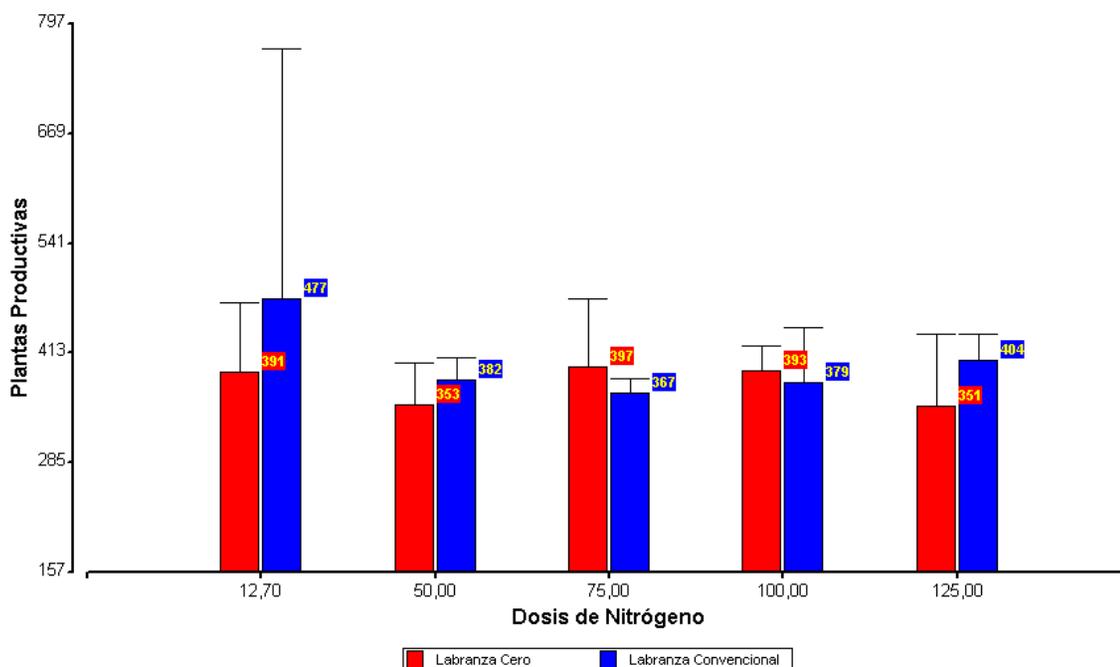
En la población de plantas productivas de arroz no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los sistemas de labranza (Cuadro 5A y 6A).

En la población de plantas después del macollamiento se observó una población creciente conforme aumentó el fertilizante nitrogenado, por lo que es factible pensar que esa misma tendencia podría seguir la población de plantas productivas (tallos efectivos), sin embargo, no sucedió así. En general se obtuvo una respuesta muy similar en la cantidad de plantas productivas como respuesta a los niveles crecientes de N, en ambos sistemas de labranza (Figura 6).

Estos resultados concuerdan parcialmente con los obtenidos por Tanaka et al 1964, citado por CIAT 1982, quienes concluyeron que existió una relación inversa entre el máximo número de hijos y el porcentaje de hijos efectivos en dos variedades sometidas a dos dosis de N (0 y 120 kg/ha). Es decir, la variedad que

alcanzó el menor número de hijos /m<sup>2</sup> fue la que presentó un mayor porcentaje de tallos efectivos.

En este ensayo el comportamiento de la población de plantas productivas no fue completamente inverso a los niveles crecientes de N, pero sí se obtuvo una mayor población de plantas productivas a menor fertilizante nitrogenado (Figura 6). Se debe recalcar que estas plantas alcanzan un menor desarrollo y un menor rendimiento.



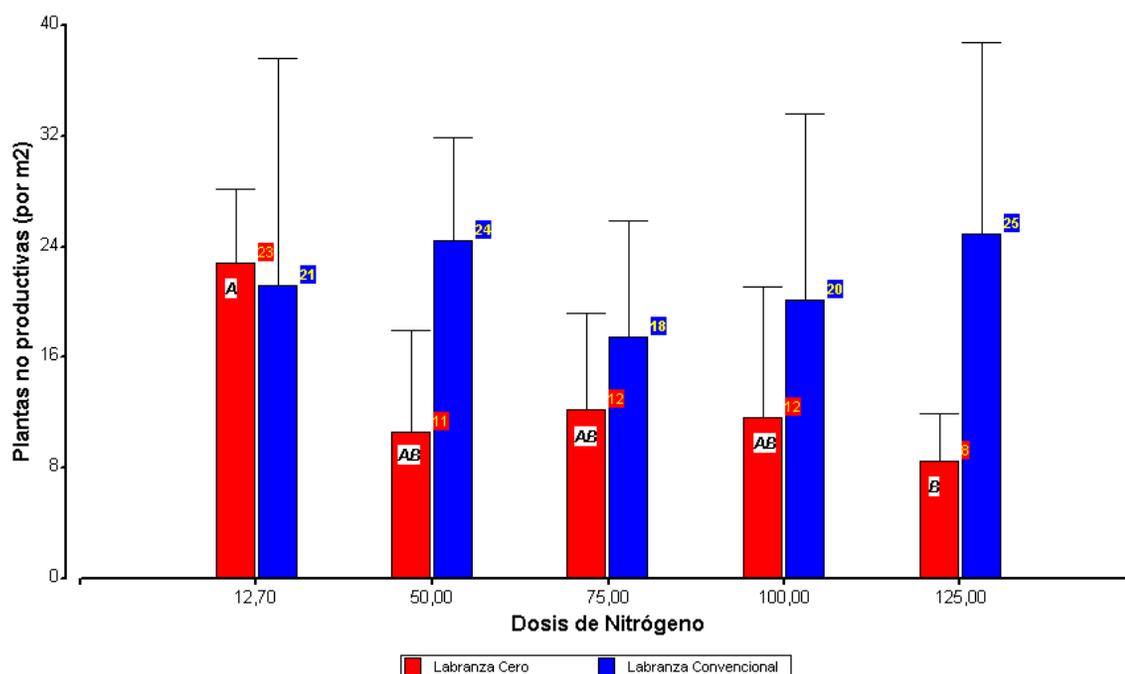
**Figura 6.** Población de plantas de productivas de arroz (m<sup>2</sup>) sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno\*. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

\*Se asume posible influencia del azufre aportado por el Nutrasul

Al respecto, la capacidad de macollamiento está muy relacionada con la variedad y con la respuesta al N (CIAT 1982). Las variedades con baja respuesta al N tienen un macollamiento activo durante la fase vegetativa lo cual causa autosombreo y reduce el número de tallos efectivos, en tanto que las variedades de alta respuesta a N tienen menos competencia por luz en los primeros estados de crecimiento y el número de panículas aumenta al incrementar la dosis de nitrógeno (Tanaka *et al* 1966, citado por CIAT 1982). También Nguu y De Datta

1979, citado por CIAT 1982) en un estudio realizado en el IRRI en la variedad IR 36 obtuvieron que la aplicación de N estimuló el macollamiento y por lo tanto el rendimiento obtenido fue mayor que sin N. Mencionan que a medida que aumentó la densidad de siembra y el nivel de N, el rendimiento ascendió hasta alcanzar un máximo.

En la población de plantas no productivas de arroz tampoco se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 7A y 8A).



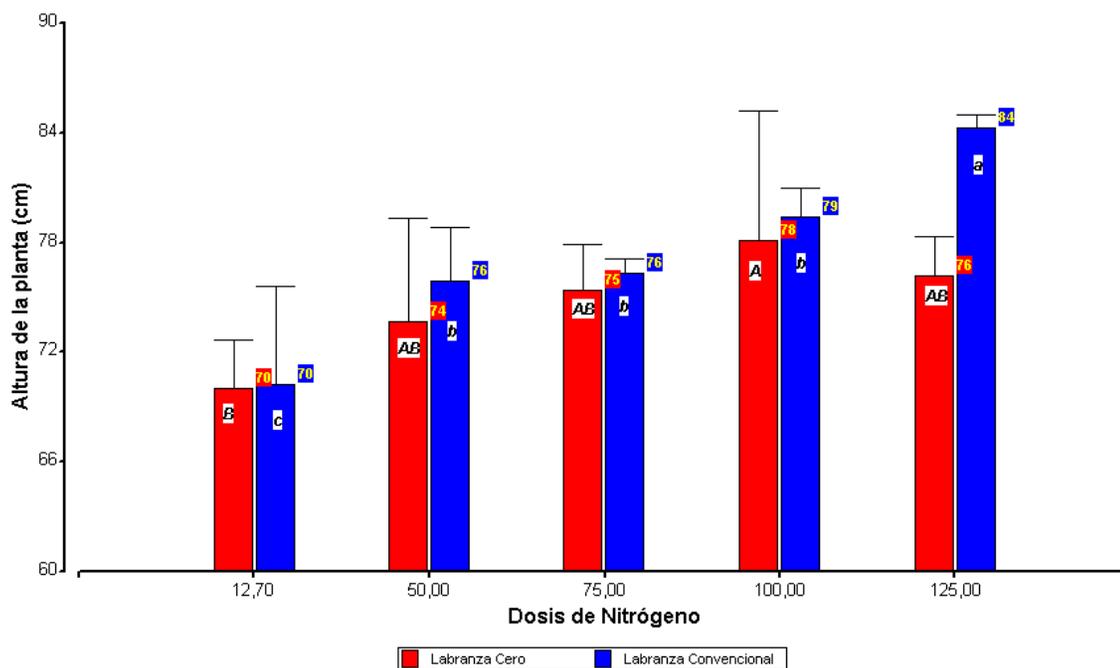
**Figura 7.** Población de plantas no productivas de arroz ( $m^2$ ) sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno\*. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

\*Se asume posible influencia del azufre aportado por el Nutrasul

### 5.3 Altura de plantas

En la altura de las plantas de arroz se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los tratamientos en la labranza convencional (Cuadro 10A), mientras que en labranza cero no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 9A), no obstante, en la prueba de comparación de medias sí se observan diferencias, aunque sólo entre 12,7 kg y 100 kg/ha de N.

Hubo una tendencia creciente en la altura de la planta como respuesta al aumento en los niveles de N en ambos sistemas de labranza, sin embargo, en labranza convencional con 125 kg/ha de N fue donde se alcanzó la mayor altura de planta con diferencias significativas con los demás tratamientos (Figura 8). Por otro lado, se debe mencionar que en ninguno de los tratamientos se observó volcamiento de plantas; al respecto, la variedad Fedearroz 50 presenta tallos fuertes y flexibles que le dan tolerancia al vuelco (Fedearroz 2002).



**Figura 8.** Altura de plantas de arroz sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno\*. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

\*Se asume posible influencia del azufre aportado por el Nutrasul

Se conoce que la elongación excesiva de los entrenudos hace que las plantas sean más susceptibles al volcamiento y que una excesiva aplicación de N podría predisponer a las plantas al volcamiento. Al respecto, la altura de la planta es una característica varietal que influye en la respuesta del arroz al N. Estudios realizados en el IRRI indican que existe una estrecha correlación entre la altura de la planta y la relación entre el peso de los granos y el peso total de la planta (Tanaka et al 1966, citado por CIAT 1982).

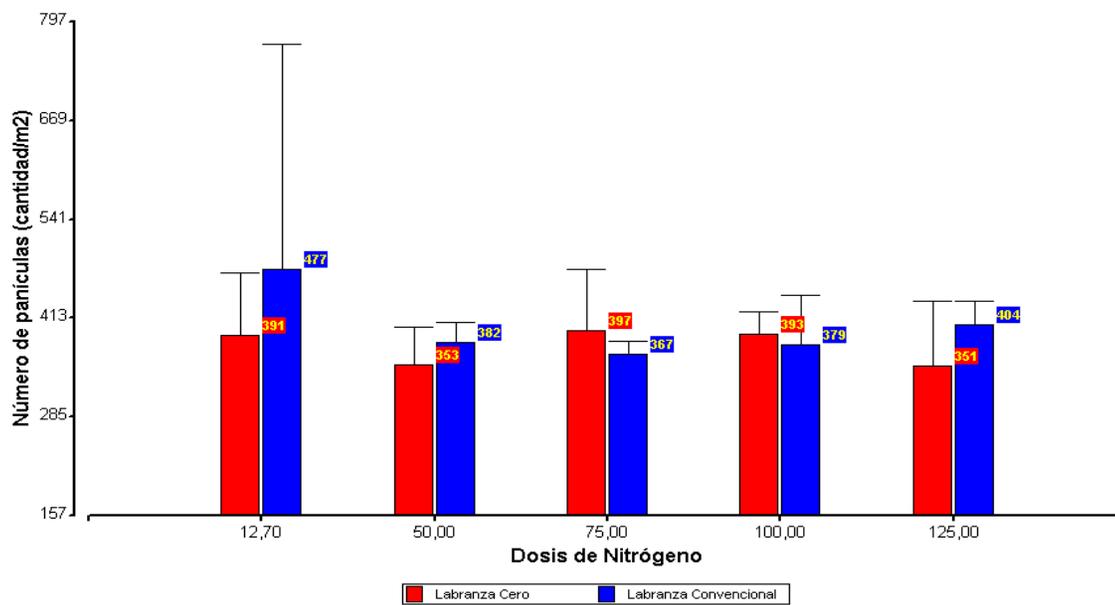
El nitrógeno es uno de los elementos nutritivos de mayor importancia que necesitan las plantas para su crecimiento. Entre las funciones que tiene el nitrógeno en la planta está el promover el rápido desarrollo de las plantas, aumentando la altura y el número de hijos, y que a la vez incide en el incremento del rendimiento de grano (Cordero 1993).

#### **5.4 Número de panículas por metro cuadrado**

En el número de panículas de arroz por metro cuadrado no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los sistemas de labranza (Cuadro 11A y 12A).

No hubo un efecto importante de los niveles de nitrógeno sobre el número de panículas en ambos sistemas de labranza, en vista que el nivel más bajo (12,7 kg N/ha) alcanzó el mayor número de panículas (Figura 9), aunque se observó un menor número de granos por panícula (no aparece en este informe) y por ende un menor rendimiento.

Esto es un comportamiento normal debido a que las plantas cuando se encuentran sometidas a una condición limitante (clima adverso, problema fitosanitario, deficiencia nutricional, etc), incrementa su habilidad reproductiva como un mecanismo de supervivencia.



**Figura 9.** Número de panículas en plantas de arroz ( $m^2$ ) sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenida en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno\*. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

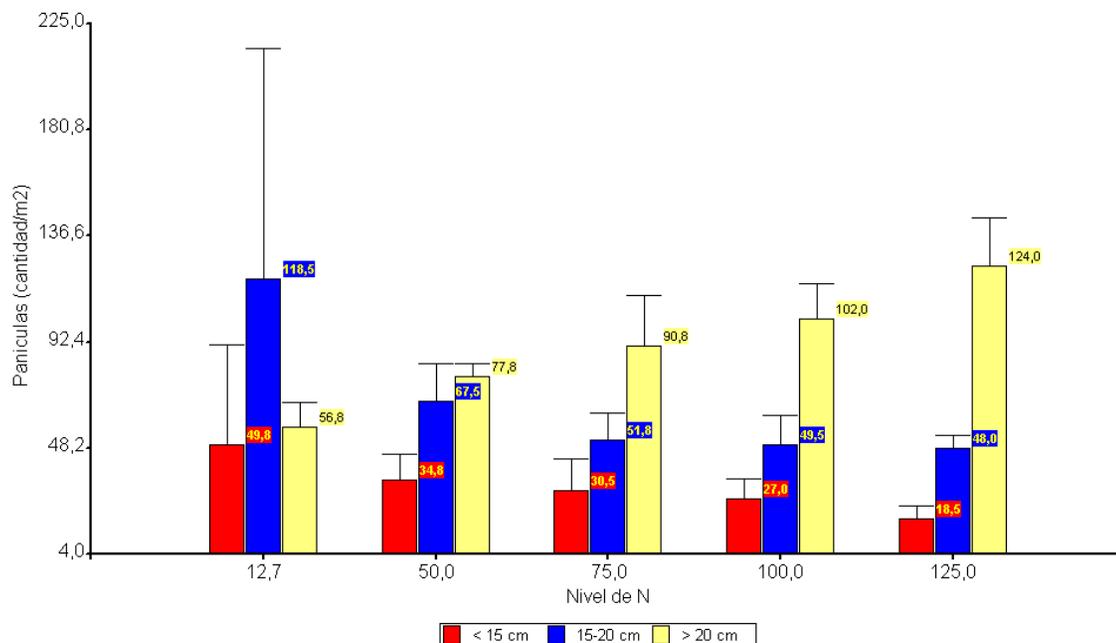
\*Se asume posible influencia del azufre aportado por el Nutrasul

### 5.5 Longitud de las panículas

En el sistema de labranza convencional se observa que a mayor dosis de N hubo una mayor cantidad de panículas con longitud superior a 20 cm. hasta un máximo de 124 panículas/ $m^2$  en el tratamiento de 125 kg N/ha. Una tendencia inversa y normal ocurre en longitudes de panícula de 15 a 20 cm. y menores a 15 cm. en donde a menor el nivel de N mayor es la cantidad de panículas (Figura 10).

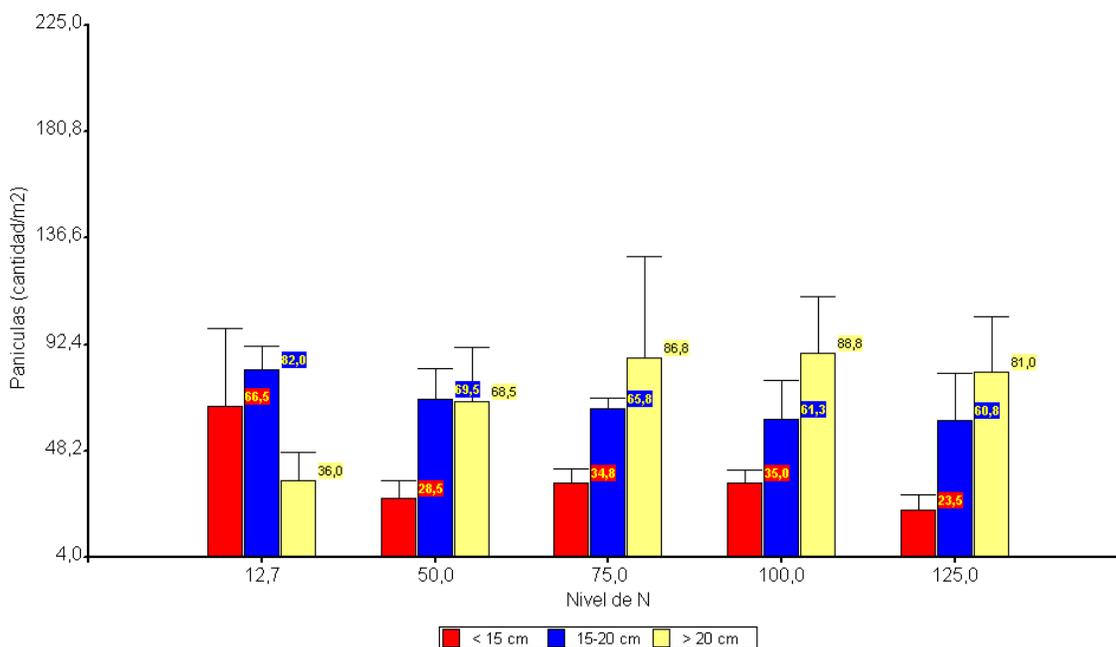
En el caso de la labranza cero hubo un aumento en el número de panículas mayores a 20 cm. hasta los 75 kg/ha (86,8 panículas/ $m^2$ ), y a partir de este nivel la cantidad fue prácticamente la misma, más bien en 125 kg el número de panículas tiende a disminuir a 81 panículas/ $m^2$  (Figura 11). En las panículas de menor tamaño (15 a 20 cm. y menores a 15 cm.) la tendencia fue similar a labranza convencional.

En general la cantidad de panículas de mayor tamaño fue superior en labranza convencional, lo cual repercutió significativamente en el mayor rendimiento obtenido en este sistema de labranza.



**Figura 10.** Número de panículas ( $m^2$ ) de arroz sembrado en labranza convencional de acuerdo al rango de longitud de panícula en los niveles crecientes de nitrógeno\*. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

\*Se asume posible influencia del azufre aportado por el Nutrasul



**Figura 11.** Número de panículas ( $m^2$ ) de arroz sembrado en labranza cero de acuerdo al rango de longitud de panícula en los niveles crecientes de nitrógeno\*. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

\*Se asume posible influencia del azufre aportado por el Nutrasul

Entre los componentes de rendimiento la variable más afectada por los niveles bajos de N a nivel de campo (ya que no se pudo evaluar en el laboratorio) fue el número de granos por panícula. Las panículas observadas en las parcelas con bajo N (12,7 y 50 kg) se caracterizaron por provenir de plantas totalmente cloróticas y débiles (principalmente el tratamiento de 12,7 kg), y mucha cantidad de granos vanos. Al respecto, esta variedad en condiciones normales tiene un vaneamiento de 12,1% (Fedearroz 2002).

## **5.6 Rendimiento (kg/Ha)**

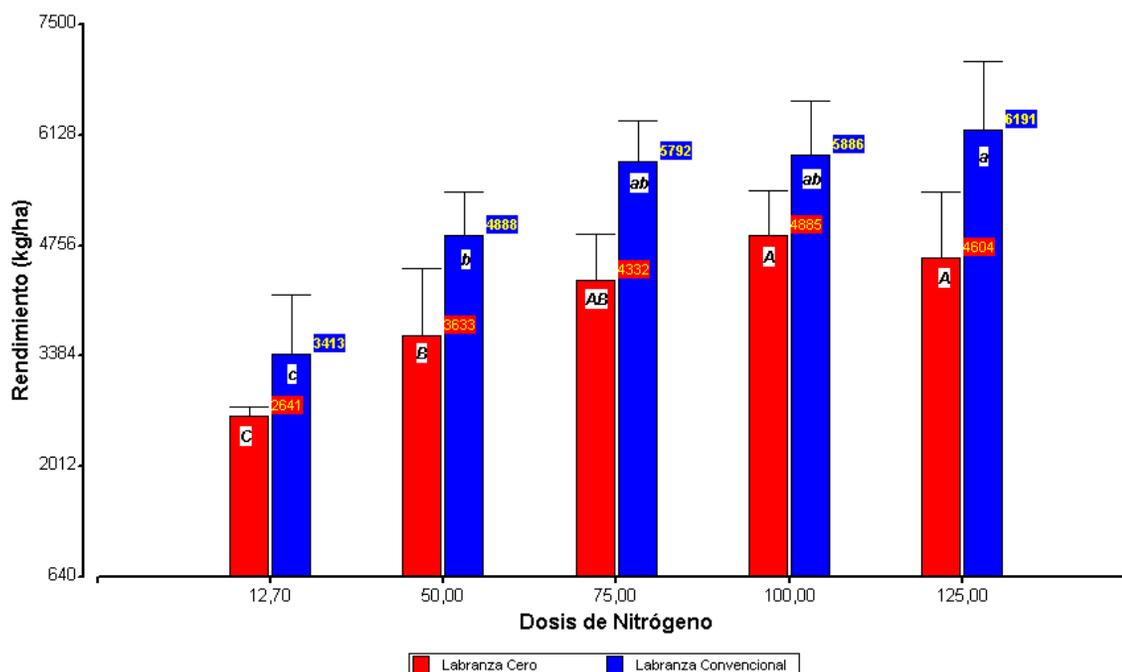
En el rendimiento del arroz se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los tratamientos en ambos sistemas de labranza (Cuadro 13A y 14A).

En el sistema de labranza convencional se obtuvo el mayor rendimiento, independientemente del nivel de N aplicado. Esto pudo ser debido a que en la labranza cero hubo una mayor población de malezas, principalmente *Digitaria sp.* y *Murdania nudiflora*.

Por otra parte, en ambos sistemas de labranza se obtuvo que entre 75 kg/ha, 100 kg/ha y 125 kg N/ha no hubo diferencias significativas, principalmente en labranza convencional en donde bien se podría recomendar la dosis de 75 kg N/ha. No así en la labranza cero en donde se observa un aumento importante en el rendimiento hasta los 100 kg/ha, aunque no hay diferencias significativas con 75 kg/ha (Figura 12).

Es importante resaltar que en labranza convencional con la dosis de 50 kg/ha se obtuvo prácticamente el mismo rendimiento, incluso mayor, que en labranza cero con la dosis de 100 kg N/ha. Esta relación hace suponer que el arroz sembrado en labranza cero requiere mayor cantidad de nitrógeno para alcanzar los mismos rendimientos obtenidos en labranza convencional, no obstante, esto no quiere decir que se acepta la hipótesis planteada en este experimento ya que probablemente haya una influencia importante de las malezas en las parcelas sembradas en labranza cero. Las especies mencionadas anteriormente son competidoras por N, principalmente *Murdania nudiflora*. Se

debe mencionar que este lote es muy afectado por la maleza *Cyperus rotundus*, sin embargo, fue bien controlada por los herbicidas aplicados. Esta es una especie que también compite fuertemente por N.



**Figura 12.** Rendimiento de arroz (kg/ha) sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenido en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno\*. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

\*Se asume posible influencia del azufre aportado por el Nutrasul

El nitrógeno es el elemento que está más directamente relacionado con el incremento de la producción y la calidad al influir positivamente sobre el número de hijos por planta, número de granos por panícula, peso del grano y contenido proteico del grano (Fertiberia 2000). No obstante, cuando se usa un exceso de nitrógeno, se produce un incremento en el follaje, volcamiento, incidencia de enfermedades, retardo de la maduración, disminución en los rendimientos y de la calidad del grano (Rico *et al* 1992).

Todos los nutrientes de la planta, especialmente el nitrógeno, deben suministrarse en cantidades suficientes para fomentar el macollamiento óptimo, el desarrollo adecuado del sistema radicular primario y para mantener el continuo

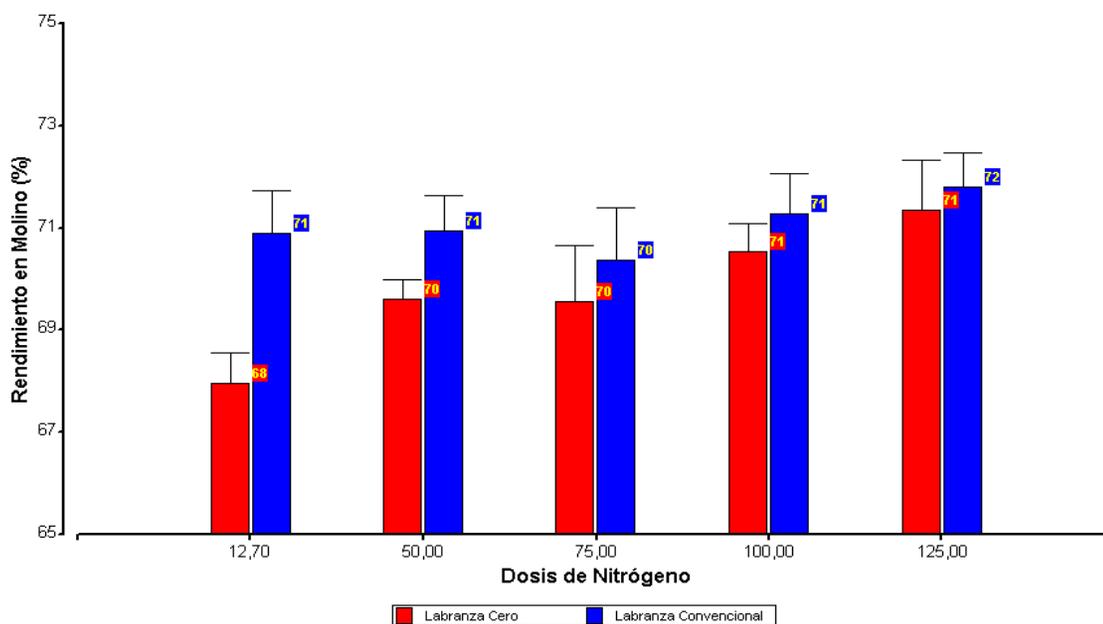
desarrollo de las panojas. Es en este tiempo cuando puede determinarse el número de macollos productivos (Agricultura de las Américas 1976).

## 5.7 Calidad molinera

### 5.7.1 Porcentaje de rendimiento en molino

En el porcentaje de rendimiento en molino se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los tratamientos en el sistema de labranza cero (Cuadro 15A), mientras que en labranza convencional no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 16A).

El rendimiento en molino en el sistema de labranza convencional no fue afectado por los niveles crecientes de N, no obstante, en el sistema de labranza cero sí se observó un mayor rendimiento conforme aumentó el fertilizante nitrogenado aplicado (Figura 13).



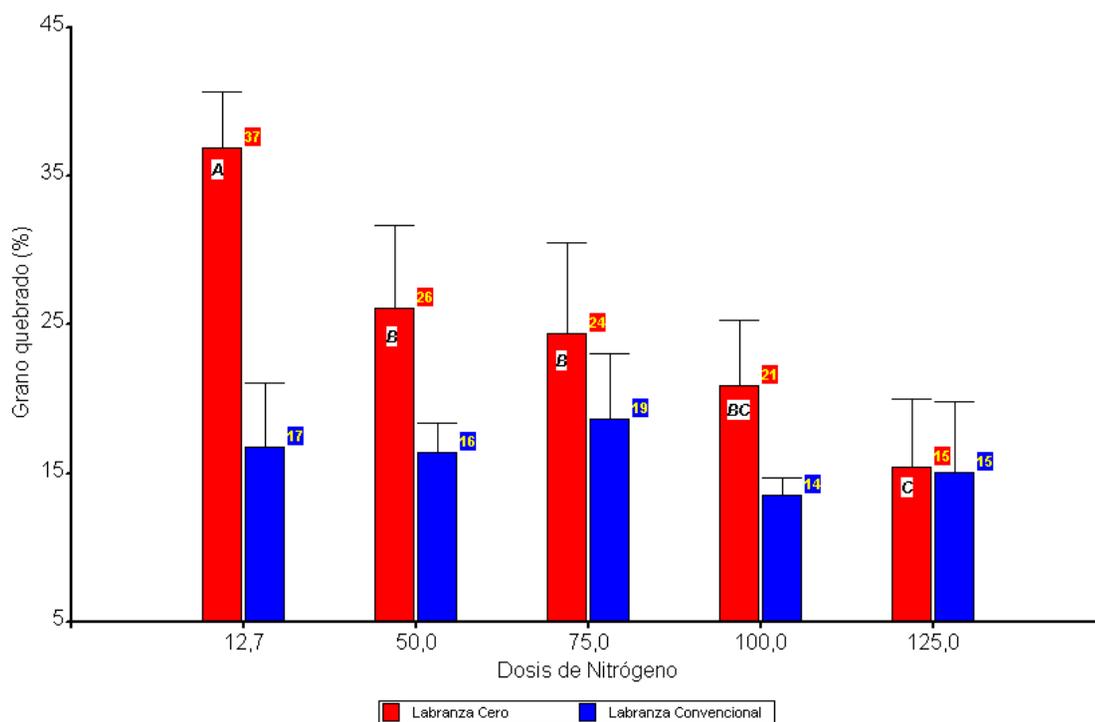
**Figura 13.** Porcentaje de rendimiento en molino de arroz sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenido en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno\*. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

\*Se asume posible influencia de niveles de azufre

### 5.7.2 Porcentaje de grano quebrado

En el porcentaje de grano quebrado se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en el sistema de labranza cero en el fertilizante aplicado (Cuadro 17A) y en la labranza convencional no se presentaron diferencias significativas.

En labranza convencional el porcentaje de grano quebrado se mantiene dentro de los límites permisibles (menores de 20%) independientemente de los niveles de nitrógeno; lo contrario ocurre en el sistema de labranza cero en donde a menor N mayor cantidad de grano quebrado (Figura 14).



**Figura 14.** Porcentaje de grano quebrado de arroz sembrado en labranza cero y en labranza convencional obtenido en respuesta a niveles crecientes de nitrógeno\*. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

\*Se asume posible influencia de niveles de azufre

Pareciera que existe un efecto marcado del sistema de labranza sobre el rendimiento en molino y grano quebrado, no obstante, no se puede afirmar que haya una relación o un efecto específico del nivel de N sólo sobre un sistema de labranza y no en ambos como fuese lo esperado. Ambas variables son

interdependientes entre sí, es decir, que a mayor rendimiento en molino menor grano quebrado; por lo anterior, es posible que haya habido influencias externas o de manejo del grano posterior a la cosecha.

Algunos factores que dan un mayor porcentaje de grano quebrado pueden ser una cosecha tardía de los granos los cuales ya están secos y se quiebran con facilidad, una ineficiente fertilización del cultivo durante su ciclo, o una cosecha muy rápida de la cosechadora por parte del operador.

## 6 CONCLUSIONES

- En la población de plantas antes de macollamiento no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los sistemas de labranza. En la población de plantas después del macollamiento hubo un efecto significativo del N en la población de plantas, en el sentido que conforme aumentó el fertilizante se incrementó la población de plantas, en forma muy similar en ambos sistemas de labranza.
- Las dosis más altas de nitrógeno (100 kg y 125 kg/Ha) no favorecieron el volcamiento de plantas en ambos sistemas de labranza.
- En la población de plantas productivas y no productivas de arroz no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los sistemas de labranza.
- En la altura de las plantas de arroz se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos sólo en la labranza convencional, no obstante, hubo una tendencia creciente como respuesta al aumento en los niveles de N en ambos sistemas de labranza.
- En el número de panículas por metro cuadrado no se encontraron diferencias significativas entre los niveles de N en ninguno de los sistemas de labranza.
- En el sistema de labranza convencional hubo una mayor cantidad de panículas con longitud superior a 20 cm. Conforme aumento la dosis de N, mientras que en la labranza cero hubo un aumento importante en el número de panículas mayores a 20 cm. hasta los 75 kg/ha. En general hubo mayor cantidad de panículas de mayor tamaño en labranza convencional.
- El mayor rendimiento se obtuvo en el sistema de labranza convencional, independientemente del nivel de N aplicado, debido probablemente a la mayor población de malezas que hubo en labranza cero que ejercieron una

mayor competencia por N. Las principales malezas fueron *Digitaria sp.* y *Murdania nudiflora*.

- En ambos sistemas de labranza no hubo diferencias significativas entre 75 kg/ha, 100 kg/ha y 125 kg N/ha, principalmente en labranza convencional en donde los rendimientos de campo son prácticamente iguales, no así en la labranza cero en donde hubo un aumento importante en el rendimiento hasta los 100 kg/ha.
- En el porcentaje de grano quebrado y el porcentaje de rendimiento en molino se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en labranza cero. En este sistema de labranza se requirieron dosis altas de N (100 kg y 125 kg/ha) para lograr un rendimiento en molino y un quebrado del grano al menos igual al obtenido en labranza convencional con cualquiera de las dosis de N. En el sistema de labranza convencional la calidad molinera no fue afectada por los niveles de N.
- En este experimento se obtuvo que en labranza cero se requirió mayor cantidad de nitrógeno para alcanzar los mismos rendimientos obtenidos en labranza convencional, no obstante, no hay suficientes elementos de juicio para aceptar la hipótesis planteada ya que probablemente hubo una influencia importante de las malezas en las parcelas sembradas en labranza cero.

## 7 RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda la aplicación de 100 Kg/N/ha en labranza cero y de 75 kg N/ha en labranza convencional, no obstante, es necesario replantear otro experimento en donde se descarte un posible efecto de malezas y de cualquier otro factor que pueda afectar los resultados.
- En el sistema de labranza cero se debe mantener un mayor control de malezas, principalmente *Digitaria sp* y de *Murdania nudiflora* ya que éstas pudieron afectar el rendimiento.
- El trillado de la panícula se debe realizar en el campo para evitar el desprendimiento prematuro del grano.
- En los análisis de calidad molinera es importante se envíen las muestras en bolsas plásticas y no en bolsas de papel, para evitar pérdidas de humedad que pueda alterar los datos.

## 8 LITERATURA CITADA

- Agricultura de las Américas. 1976. El arroz de alto rendimiento necesita nutrirse... Qué, Cuándo y Cuanto. 25 (1): 32-35
- Altieri, M.A. 1983. Agroecología. Bases científicas de la agricultura alternativa. Chile, CEPAL. 113 p.
- Amemiya, M. 1970. Tillage alternatives for Iowa State Univ. Coop: Exp. Serv. Pamph. 488 p.
- Araya Ramírez, Y. 2000. Fertilización con potasio en arroz (*Oryza sativa*) y su efecto sobre el rendimiento y la capacidad del grano en la finca La Vega, San Carlos. Tesis Bach. Agr. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Agronomía. 110 p.
- Arguedas Gutiérrez, R.A.; 2001. Manejo Agronómico de un cultivo de arroz (*Oryza sativa* L) de riego sembrado en labranza mínima en Hacienda Mojica, Guanacaste, Costa Rica. Pract. Esp. Ing. Agr. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Agronomía. 90 p.
- Asociación Civil Ciencia Hoy. Formas de labranza. (en línea) 2002. Consultado 29 Agosto 2002. Disponible <http://www.cienciahoy.org/hoy68/formasdelabranza>
- Berrio, L. E; Sanint, L. R. Correa, F; Tulante, E. 2002 Respuesta al uso de nitrógeno en variedades de arroz sembradas en Colombia, 1950 – 1999. Foro Arrocero Latinoamericano. 8 (2): 22-23
- Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, C.R. ACCS. 157 p.
- Camacho Buerth, G. 2002. Análisis comparativo del desarrollo de un cultivo de piña (*Ananas comosus*) sembrado en labranza mínima y en labranza convencional en finca Frutex S.A. Pital, San Carlos. Pract. Esp. Ing. Agr. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Agronomía. 101 p

Canova, D. Siembra directa: camino que el agricultor debe seguir para aprovechar su suelo. (en línea) 2000. Consulta 15 Oct 2001. Disponible en <http://www.ecampo.com/sections/news>

Casas, R; Trucco, V. Adopción del sistema de siembra directa. Posibilidades de incrementar la fijación de carbono en los suelos agrícolas de la República Argentina (en línea) 2002. Consultado 27 Agost 2002. Disponible en <http://www.ecampo.com/sections/news>

Castro Fallas, C; Cruz Barboza, K; Garita Rodríguez, N. 1998. Evaluación del manejo de las malezas en el cultivo del arroz (*Oryza sativa*) en la zona Huetar Norte de Costa Rica. Tesis Lic Agr. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Agronomía. 126 p.

Centro Internacional Agricultura Tropical. 1971. Sistemas de Producción de Arroz. Informe Anual 1970. Cali, Colombia. p 45-75

Centro Internacional Agricultura Tropical. 1982. Fertilización nitrogenada del arroz. Cali, Colombia. 40 p.

Cordero Vásquez, A. 1993. Fertilización y Nutrición Mineral del Arroz. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 100 p.

Crovetto, C. 1992. Rastrojos sobre el suelo: Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 301 p.

De Datta, S. 1986. Producción de arroz fundamentos y prácticas: Editorial Limusa D.F. México. 690 p.

De Datta, S. K; Magnaye, C. P. 1969. A survey of the forms and sources of fertilizer nitrogen for flooded rice. *Soils and Fertilizer* 32 (2): 103-109

De Datta, S. K; Tauro, A. C; Balaoing, S. N. 1968. Effect of plant type and nitrogen level on the growth characteristics and grain yield of indica rice in the tropics. *Agron.* 60 (6): 643-647.

Derpsch, R. Expansión Mundial de la siembra directa y avances tecnológicos. (en línea) Consultado 19 Agosto 2002. Disponible en <http://www.ecampo.com/sections/news>

Derpsch, R. Nuevos enfoques en la producción Agrícola. (en línea) Consultado 20 Octubre 2001. Disponible en <http://www.ecampo.com/sections/news>

Fedearroz. La fuerza del campo que cultiva el futuro (en línea) Consultado 10 Agosto 2002. Disponible en <http://www.fedearroz.com.co/index.shtml>

Fertiberia. Guía de abonado de arroz (en línea) Consultado 6 Febrero 2003. Disponible en [http://www.fertiberia.com/servicios\\_on\\_line/guia\\_de\\_abonado/](http://www.fertiberia.com/servicios_on_line/guia_de_abonado/)

García, F. Ventajas de la siembra directa. (en línea) 2001. Consultado 15 Oct 2001. Disponible en <http://www.ecampo.com/sections/news>

Guerrero, R. 1979. Algunos aspectos sobre el balance del nitrógeno en suelos tropicales. Ganancias. Suelos Ecuatoriales 10 (1): 54-63

Ildefonso, B. 2001. Fijación biológica del nitrógeno atmosférico en forma libre y en simbiosis. Universidad Autónoma de Madrid. 42 p.

ISTRO. 1997. International Soil Tillage Research Organization. INFO-EXTRA. Vol 3. 1, enero.

Jennings, P. R; Berrio, L. E. Torres, E; Corredor, E. 2002. Una estrategia de mejoramiento para incrementar el potencial de rendimiento en arroz. Foro Arroceros Latinoamericano. 8 (2): 10-13

Luch, B. 1980. Rice production and utilization. Connecticut, AVI Publishing Co. 926 p.

Montero, C. Montero, N. 1996. Evaluación Agronómica, Productiva e Industrial de dos variedades de arroz (*Oryza sativa*), SETESA 9 y CR 751, bajo condiciones de producción comercial en finca La Vega, San Carlos. Pract. Esp. Ing. Agr. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Agronomía.

Pitty, A. Evite problemas con la sequía, use labranza de conservación (en línea) Consultado 11 Noviembre 2002. Disponible en <http://www.agrohispana.com/>

Pitty, A; Muñoz, R. 1991. Guía práctica para el manejo de malezas. Departamento de Producción Vegetal. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. Tegucigalpa Honduras. 222 p.

Potash & Phosphate Institute. Manejo de fósforo en arroz (en línea) Consultado 8 Agosto 2002. Disponible en <http://www.ppi-far.org/ppiweb/ltamn>.

Potash & Phosphate Institute. Manejo del potasio en arroz (en línea) Consultado 8 Agosto 2002. Disponible en <http://www.ppi-far.org/ppiweb/ltamn>.

Prasad, R; De Datta, S. K. 1979. Increasing fertilizer nitrogen efficiency in wetland rice. In: Nitrogen and Rice. Los Baños, Laguna, Philippines, International Rice Research Institute. 465-484

Reuter, D. J; Robinson, J. B. 1997. Plant Analysis an Interpretation Manual. Australian. 572 p.

Rico, G; Pérez, D; Ledezma, C; Parra, J; Agrinzones, H. 1992. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno y fósforo en variedades modernas de arroz bajo condiciones de inundación en suelos pesados. Agronomía Tropical. 42 (1-2): 41-52.

Rodríguez González H.F.; 2002. Análisis comparativo del sistema de labranza mínima y de labranza convencional en dos ciclos de siembra en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L) variedad CR2515 en Finca La Vega. San Carlos, Costa Rica. Pract. Esp. Ing. Agr. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Agronomía. 111 p.

Rojas Acuña, L; Mora Hernández, A. 2000. La mínima labranza como práctica de producción de granos básicos. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Agronomía. 20 p.

Sánchez, P. A. 1972. Fertilización y manejo del nitrógeno en el cultivo del arroz tropical. Suelos ecuatoriales 4 (1): 197-240

Solórzano, R *et al.* 1991. La degradación de los recursos naturales en Costa Rica y su relación con el sistema de cuencas nacionales. San José, CR. Centro Científico Tropical. 106 p.

- Soto, A. 1985. Competencia entre las hierbas y granos básicos: influencia de algunos factores. *Plits* 3:1-11.
- Studdert, G. 2001. Labranza convencional. (en línea) Consultado 28 Agosto 2002. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/crbsass/balcarce/divulgtec/Suelos>.
- Tanaka, A; Kawano, K; Yamaguchi, J. 1966. Photosynthesis, respiration, and plant type of the tropical rice plant. Los Baños, Laguna. Philippines. The International Rice Research Institute. Tech. Bull. No. 7. 46 p.
- Tejada, H.R; Craswell, E.T; De Datta, S.K. 1980. Site factors affecting the efficiency of nitrogen fertilizers in INSFFER Experiments. Muscle Shoals, Alabama, International Fertilizer Development Center. 20 p. Paper presented at the Meeting of the International Network for Soil Fertility and Fertilizer Evaluation for Rice (INSFER) at IRRI, 1980.
- Unger, P. 1988. Sistemas de labranza para la conservación del suelo y del agua. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 88 p
- Unger, P. W; Laryea, K. B; Stewart, B. A. 1995. Criterios para la selección de sistemas y prácticas de labranza. *In* Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista (2ª, 1993, Guanare, Acarigua, Venezuela) Memorias. Guanare, Acarigua, VE, FONAIAP. p 118-146.
- Vega, J.; Pitty, A.; Barletta, H. 1992. Labranza cero en el trópico seco centroamericano. *Agricultura de las Américas*. 41 (6): 16-23
- Vlek, P. L; Byrnes, B. H; Craswell, E. T. 1980. Effect of urea placement on leaching losses of Nitrogen from flooded rice soils. *Plant and soil* 54 (3): 441-449.
- Yoshida, T; Padre Jr, B.C. 1975. Effect of organic matter application and water regimes on the transformation of fertilizer nitrogen in a Philippines soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 21 (3): 281-292

## 9 ANEXOS

**Cuadro 1A.** Análisis de varianza para la población de plantas antes de macollamiento obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	11533,94	7	1647,71	1,02	0,4629
<b>Bloque</b>	7269,06	3	2423,02	1,50	0,2634
<b>Dosis</b>	4264,87	4	1066,22	0,66	0,6301
<b>Error</b>	19323,64	12	1610,30		
<b>Total</b>	30857,58	19			

**Cuadro 2A.** Análisis de varianza para la población de plantas antes de macollamiento obtenido en sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	5395,36	7	770,77	0,56	0,7757
<b>Bloque</b>	3486,52	3	1162,17	0,84	0,4968
<b>Dosis</b>	1908,83	4	477,21	0,35	0,8420
<b>Error</b>	16562,99	12	1380,25		
<b>Total</b>	21958,34	19			

**Cuadro 3A.** Análisis de varianza de la población de plantas después de macollamiento obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	33454,16	7	4779,17	16,93	<0,0001
<b>Bloque</b>	1098,62	3	366,21	1,30	0,3204
<b>Dosis</b>	32355,54	4	8088,89	28,65	<0,0001
<b>Error</b>	3387,99	12	282,33		
<b>Total</b>	36842,15	19			

**Cuadro 4A.** Análisis de varianza para la población de plantas después de macollamiento obtenido en sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	33659,63	7	4808,52	4,59	<b>0,0105</b>
<b>Bloque</b>	2979,05	3	993,02	0,95	0,4486
<b>Dosis</b>	30680,58	4	7670,15	7,32	<b>0,0032</b>
<b>Error</b>	12581,21	12	1048,43		
<b>Total</b>	46240,84	19			

**Cuadro 5A.** Análisis de varianza para la población de plantas productivas obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	22136,41	7	3162,34	0,68	0,6849
<b>Bloque</b>	13651,14	3	4550,38	0,98	0,4334
<b>Dosis</b>	8485,26	4	2121,32	0,46	0,7651
<b>Error</b>	55560,82	12	4630,07		
<b>Total</b>	77697,23	19			

**Cuadro 6A.** Análisis de varianza para la población de plantas productivas obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	65989,16	7	9427,02	0,48	0,8338
<b>Bloque</b>	34571,00	3	11523,67	0,58	0,6376
<b>Dosis</b>	31418,15	4	7854,54	0,40	0,8069
<b>Error</b>	237297,55	12	19774,80		
<b>Total</b>	303286,71	19			

**Cuadro 7A.** Análisis de varianza para la población de plantas no productivas obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	543,51	7	77,64	1,43	0,2788
<b>Bloque</b>	45,11	3	15,04	0,28	0,8407
<b>Dosis</b>	498,40	4	124,60	2,30	0,1188
<b>Error</b>	650,67	12	54,22		
<b>Total</b>	1194,18	19			

**Cuadro 8.** Análisis de varianza para la población de plantas no productivas obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	1223,32	7	174,76	1,70	0,1993
<b>Bloque</b>	1071,51	3	357,17	3,48	0,0504
<b>Dosis</b>	151,81	4	37,95	0,37	0,8256
<b>Error</b>	1231,46	12	102,62		
<b>Total</b>	2454,78	19			

**Cuadro 9A.** Análisis de varianza para la altura de plantas obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	193,52	7	27,65	1,31	0,3246
<b>Bloque</b>	44,95	3	14,98	0,71	0,5644
<b>Dosis</b>	148,58	4	37,14	1,76	0,2016
<b>Error</b>	253,20	12	21,10		
<b>Total</b>	446,73	19			

**Cuadro 10A.** Análisis de varianza para la altura de plantas en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	455,36	7	65,05	8,84	0,0006
<b>Bloque</b>	33,54	3	11,18	1,52	0,2600
<b>Dosis</b>	421,82	4	105,46	14,32	0,0002
<b>Error</b>	88,34	12	7,36		
<b>Total</b>	543,70	19			

**Cuadro 11A.** Análisis de varianza para el número de panículas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	22136,41	7	3162,34	0,68	0,6849
<b>Bloque</b>	13651,14	3	4550,38	0,98	0,4334
<b>Dosis</b>	8485,26	4	2121,32	0,46	0,7651
<b>Error</b>	55560,82	12	4630,07		
<b>Total</b>	77697,23	19			

**Cuadro 12A.** Análisis de varianza para el número de panículas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	65989,16	7	9427,02	0,48	0,8338
<b>Bloque</b>	34571,00	3	11523,67	0,58	0,6376
<b>Dosis</b>	31418,15	4	7854,54	0,40	0,8069
<b>Error</b>	237297,55	12	19774,80		
<b>Total</b>	303286,71	19			

**Cuadro 13A.** Análisis de varianza para el rendimiento (kg/Ha) obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	15099147,16	7	2157021,02	6,70	<b>0,0022</b>
<b>Bloque</b>	2144323,09	3	714774,36	2,22	0,1385
<b>Dosis</b>	12954824,07	4	3238706,02	10,06	<b>0,0008</b>
<b>Error</b>	3864968,15	12	322080,68		
<b>Total</b>	18964115,31	19			

**Cuadro 14A.** Análisis de varianza para el rendimiento (kg/Ha) obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	21251347,07	7	3035906,72	6,23	<b>0,0030</b>
<b>Bloque</b>	889587,62	3	296529,21	0,61	0,6222
<b>Dosis</b>	20361759,45	4	5090439,86	10,45	<b>0,0007</b>
<b>Error</b>	5847640,49	12	487303,37		
<b>Total</b>	27098987,56	19			

**Cuadro 15A.** Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento en molino obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	28,57	7	4,08	7,89	<b>0,0011</b>
<b>Bloque</b>	2,73	3	0,91	1,76	0,2080
<b>Dosis</b>	25,84	4	6,46	12,50	<b>0,0003</b>
<b>Error</b>	6,20	12	0,52		
<b>Total</b>	34,78	19			

**Cuadro 16A.** Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento en molino obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	5,08	7	0,73	0,94	0,5123
<b>Bloque</b>	0,66	3	0,22	0,29	0,8349
<b>Dosis</b>	4,41	4	1,10	1,43	0,2835
<b>Error</b>	9,27	12	0,77		
<b>Total</b>	14,34	19			

**Cuadro 17A.** Análisis de varianza para el porcentaje de grano quebrado obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	1097,96	7	156,85	6,82	<b>0,0020</b>
<b>Bloque</b>	90,71	3	30,24	1,32	0,3148
<b>Dosis</b>	1007,25	4	251,81	10,96	<b>0,0006</b>
<b>Error</b>	275,80	12	22,98		
<b>Total</b>	1373,76	19			

**Cuadro 18A.** Análisis de varianza para el porcentaje de grano quebrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Fuente</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Modelo</b>	65,91	7	9,42	0,59	0,7507
<b>Bloque</b>	6,93	3	2,31	0,15	0,9307
<b>Dosis</b>	58,99	4	14,75	0,93	0,4797
<b>Error</b>	190,63	12	15,89		
<b>Total</b>	256,55	19			

## ANEXO B

**Cuadro 1B.** Estadísticas para la población de plantas por metro cuadrado antes de macollamiento obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	277,55	48,68	4	A
50	312,35	42,87	4	A
75	312,66	52,80	4	A
100	318,95	18,87	4	A
125	302,71	38,89	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)*

**Cuadro 2B.** Estadísticas para la población de plantas por metro cuadrado antes de macollamiento obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	228,98	18,08	4	A
50	239,35	62,47	4	A
75	231,37	31,56	4	A
100	210,99	14,59	4	A
125	235,35	35,29	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)*

**Cuadro 3B.** Estadísticas para la población de plantas por metro cuadrado después de macollamiento obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	497,35	16,02	4	D
50	543,52	21,44	4	C
75	568,47	10,17	4	BC
100	580,68	5,62	4	B
125	618,37	25,38	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)*

**Cuadro 4B.** Estadísticas para la población de plantas por metro cuadrado después de macollamiento obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Dosis</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>N</b>	
<b>12,7</b>	545,11	12,42	4	B
<b>50</b>	566,88	19,38	4	B
<b>75</b>	541,93	42,40	4	B
<b>100</b>	588,11	37,14	4	B
<b>125</b>	649,15	38,47	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 5B.** Estadísticas para la población de plantas productivas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Dosis</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>N</b>	
<b>12,7</b>	391,48	80,17	4	A
<b>50</b>	353,28	48,40	4	A
<b>75</b>	397,31	79,29	4	A
<b>100</b>	392,53	29,65	4	A
<b>125</b>	350,63	84,47	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 6B.** Estadísticas para la población de plantas productivas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Dosis</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>N</b>	
<b>12,7</b>	477,41	290,94	4	A
<b>50</b>	381,93	25,29	4	A
<b>75</b>	367,07	17,06	4	A
<b>100</b>	378,74	64,13	4	A
<b>125</b>	404,21	30,53	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 7B.** Estadísticas para la población de plantas no productivas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza cero en los diferentes niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	22,81	5,31	4	A
50	10,61	7,35	4	AB
75	12,20	7,01	4	AB
100	11,67	9,41	4	AB
125	8,49	3,47	4	B

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 8B.** Estadísticas para la población de plantas no productivas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los diferentes niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	21,22	16,44	4	A
50	24,40	7,45	4	A
75	17,51	8,38	4	A
100	20,16	13,47	4	A
125	24,93	13,79	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 9B.** Estadísticas para la altura de plantas obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	70,05	2,64	4	B
50	73,70	5,62	4	AB
75	75,38	2,49	4	AB
100	78,14	7,08	4	A
125	76,21	2,13	4	AB

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 10B.** Estadísticas para la altura de plantas obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	70,26	5,32	4	C
50	75,88	2,94	4	B
75	76,32	0,81	4	B
100	79,43	1,57	4	B
125	84,26	0,76	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 11B.** Estadísticas para el número de panículas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	391,48	80,17	4	A
50	353,28	48,40	4	A
75	397,31	79,29	4	A
100	392,53	29,65	4	A
125	350,63	84,47	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 12B.** Estadísticas para el número de panículas por metro cuadrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	477,41	290,94	4	A
50	381,93	25,29	4	A
75	367,07	17,06	4	A
100	378,74	64,13	4	A
125	404,21	30,53	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 13B.** Estadísticas para el rendimiento (kg/Ha) obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Dosis</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>N</b>	
<b>12,7</b>	2640,95	104,23	4	C
<b>50</b>	3633,20	840,22	4	B
<b>75</b>	4331,85	567,08	4	AB
<b>100</b>	4885,15	556,70	4	A
<b>125</b>	4604,45	809,18	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 14B.** Estadísticas para el rendimiento (kg/Ha) obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Dosis</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>N</b>	
<b>12,7</b>	3412,60	730,04	4	C
<b>50</b>	4888,20	529,70	4	B
<b>75</b>	5792,40	512,68	4	AB
<b>100</b>	5885,80	661,37	4	AB
<b>125</b>	6191,45	855,54	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 15B.** Estadísticas para el porcentaje de rendimiento en molino obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

<b>Dosis</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>N</b>	
<b>12,7</b>	67,95	0,62	4	A
<b>50</b>	69,61	0,38	4	A
<b>75</b>	69,56	1,10	4	A
<b>100</b>	70,54	0,54	4	A
<b>125</b>	71,35	0,97	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 16B.** Estadísticas para el porcentaje de rendimiento en molino obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	70,90	0,83	4	A
50	70,94	0,70	4	A
75	70,38	1,02	4	A
100	71,28	0,80	4	A
125	71,80	0,67	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 17B.** Análisis de varianza para el porcentaje de grano quebrado obtenido en el sistema de labranza cero en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	36,95	3,74	4	A
50	26,15	5,59	4	B
75	24,45	6,10	4	B
100	20,95	4,36	4	BC
125	15,45	4,56	4	C

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

**Cuadro 18B.** Análisis de varianza para el porcentaje de grano quebrado obtenido en el sistema de labranza convencional en los niveles crecientes de fertilizante. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

Dosis	Media	D.E.	N	
12,7	16,75	4,32	4	A
50	16,40	1,95	4	A
75	18,68	4,37	4	A
100	15,05	1,19	4	A
125	13,55	4,78	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )*

## ANEXO C



**Figura 1A.** Cuadrícula de 5 m<sup>2</sup> para el muestreo de las variables de arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 2 A.** Área experimental de arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 3 A.** Tratamiento 1 para labranza convencional con 12,7 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 4 A.** Tratamiento 2 para labranza convencional con 50 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



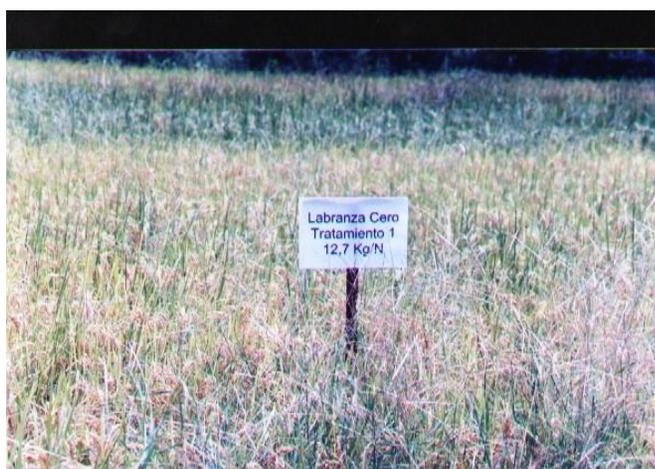
**Figura 5 A.** Tratamiento 3 para labranza convencional con 75 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 6 A.** Tratamiento 4 para labranza convencional con 100 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 7 A.** Tratamiento 5 para labranza convencional con 125 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 8 A.** Tratamiento 1 para labranza cero con 12,7 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 9 A.** Tratamiento 2 para labranza cero con 50 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 10 A.** Tratamiento 3 para labranza cero con 75 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

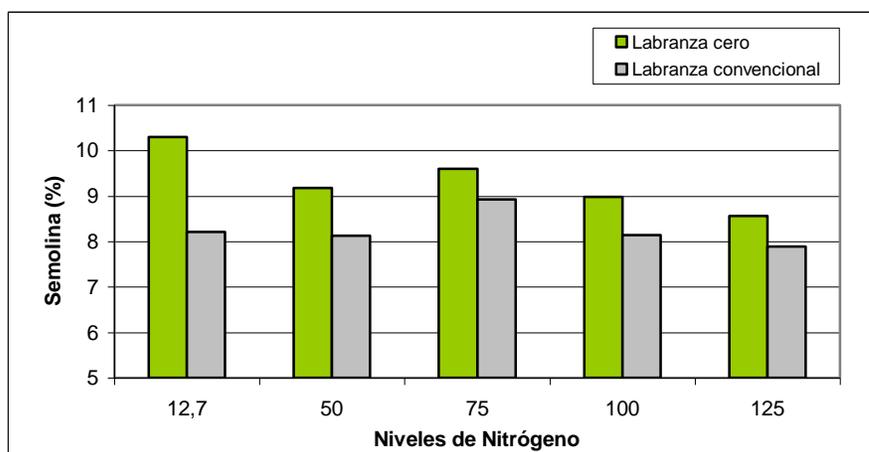


**Figura 11 A.** Tratamiento 4 para labranza cero con 100 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

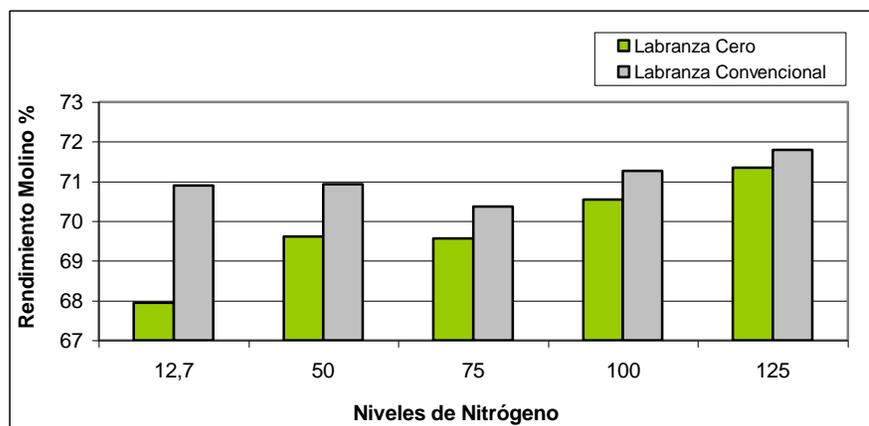


**Figura 12 A.** Tratamiento 5 para labranza cero con 125 kg N/Ha. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.

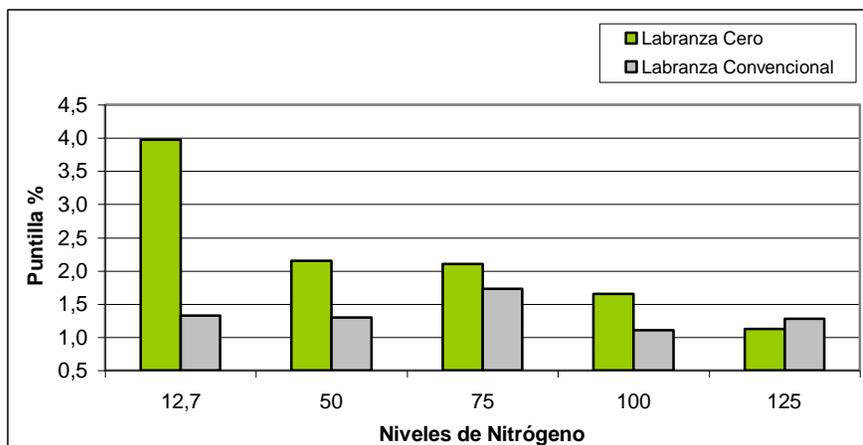
## 10 APENDICE



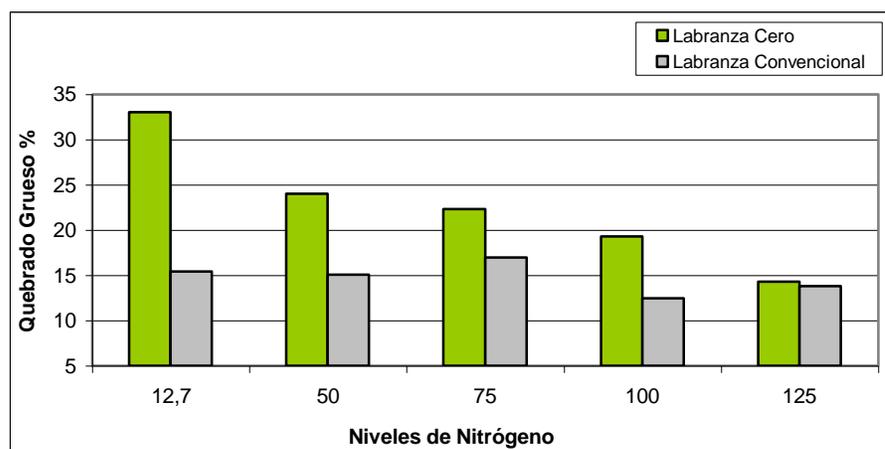
**Figura 1A.** Porcentaje de semolina para los diferentes niveles de nitrógeno, en labranza convencional y labranza cero en arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



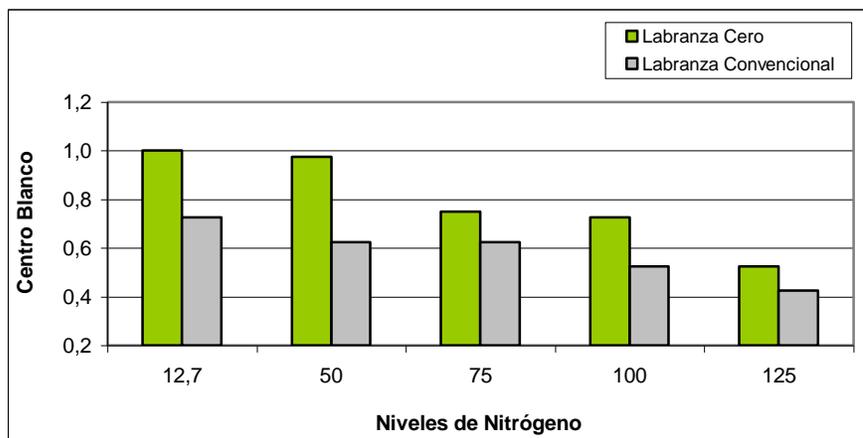
**Figura 2A.** Porcentaje de rendimiento en molino para los diferentes niveles de nitrógeno, en labranza convencional y labranza cero en arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 3A.** Porcentaje de puntilla para los diferentes niveles de nitrógeno, en labranza convencional y labranza cero en arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 4A.** Porcentaje de grano quebrado grueso en los diferentes niveles de nitrógeno, para labranza convencional y labranza cero en arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.



**Figura 5A.** Centro blanco en los diferentes niveles de nitrógeno, para labranza convencional y labranza cero en arroz. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. 2002.