

SB  
193  
.3  
.26  
66

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL

CIAT

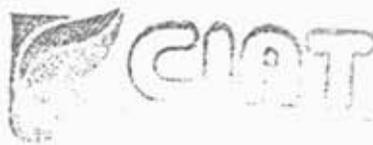


INFORME TECNICO

CONVENIO ICA-CIAT-CORPOICA

CARTA DE ENTENDIMIENTO ICA-CIAT No. 01 JULIO/94

***PARA DESARROLLAR PROYECTOS COMPLEMENTARIOS Y DE  
COLABORACION PARA ACTIVIDADES DE INVESTIGACION EN  
LOS LLANOS ORIENTALES Y AMAZONIA COLOMBIANA***



UNIDAD DE INFORMACION Y  
DOCUMENTACION

14 DIC. 2005

222023

Marzo de 1995

## TABLA DE CONTENIDO

### I. INFORMES FINANCIEROS

### II. INFORMES TECNICOS

- FI01** - MEJORAMIENTO GENÉTICO DE *BRACHIARIA*
- FI02** - ACERVOS GENÉTICOS MEJORADOS DE ESPECIES FORRAJERAS DE *ARACHIS*
- FI03** - DESARROLLO DE CULTIVARES DE *STYLOSANTHES* QUE SEAN PERSISTENTES
- FS01** - ESPECIES FORRAJERAS CON ALTO VALOR NUTRITIVO
- FS02** - ATRIBUTOS DE ADAPTACIÓN DE ESPECIES FORRAJERAS A SUELOS INFÉRTILES
- FS03** - COMPONENTES FORRAJEROS DE RECONOCIDO DESEMPEÑO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
- FD02** - ECOTIPOS DE ESPECIES FORRAJERAS DE RECONOCIDA ADAPTACIÓN A MEDIO AMBIENTES DIFERENTES
- FD01** - RECURSOS GENÉTICOS DE ESPECIES FORRAJERAS
- TL01 y TL03** - SISTEMAS DE CULTIVO PROTOTIPO QUE SEAN SOSTENIBLES PARA LOS LLANOS Y LA DINÁMICA DEL USO DE LA TIERRA
- TL01-1** - ECOLOGÍA DE LA POBLACIÓN DE MALEZAS DENTRO DE PROTOTIPOS DE SISTEMAS DE CULTIVOS QUE SEAN SOSTENIBLES EN LOS LLANOS COLOMBIANOS
- TL01-2** - ADOPCIÓN DE SISTEMAS DE ROTACIÓN DE CULTIVOS Y PASTURAS DE CORTA DURACIÓN EN LOS LLANOS COLOMBIANOS
- TL02** - INTERPRETACIÓN MECANICISTA Y MODELOS DE LOS PROCESOS QUÍMICOS, FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DEL SUELO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPASTORILES Y EN SISTEMAS DE CULTIVO SECUENCIAL

- RU01** - ACERVOS DE GENES DE ARROZ DE SECANO MEJORADOS  
1. Desarrollo de Germoplasma de Arroz de Secano
- RU01** - ACERVOS DE GENES DE ARROZ DE SECANO MEJORADOS  
2. Eficiencia de Silicona en Genotipos de Arroz
- RP01** - RESISTENCIA DURABLE A PIRICULARIA
- RP02** - CARACTERÍSTICAS DEL ARROZ PARA INCREMENTAR EL CONTROL DE MALEZAS  
1. Germoplasma de Arroz más Competitivo con Malezas
- RP02** - CARACTERÍSTICAS DEL ARROZ PARA INCREMENTAR EL CONTROL DE MALEZAS  
2. Genotipos para Siembra en Agua
- RP04** - UMBRALES DE DAÑO ECONÓMICO CON INFESTACIONES MULTIESPECÍFICAS DE MALEZAS: FUNCIONES DE PREDICCIÓN DE PÉRDIDAS POR COMPETENCIA
- RL01** - GERMOPLASMA MEJORADO DE ARROZ DE RIEGO

## **I. INFORMES FINANCIEROS**

**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investiga-  
ción en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1.994

DURACION Diciembre 31 de 1.994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1.994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000=

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)

(CODIGO): FI01

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: Mejoramiento de Brachiaria

\_\_\_\_\_

VALOR: \$ 68.000.000=

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	30,600,000	37,780,627		
2/. GASTOS GENERALES	23,800,000	29,384,932		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	13,600,000	834,441		
TOTALES	68,000,000	68,000,000		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investiga-  
ción en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1994

DURACION Diciembre 31 de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000=

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)

(CODIGO): F102

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: Mejoramiento de Arachis

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

VALOR: \$ 60.300.000=

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	27,100,000	31,773,401		
2/. GASTOS GENERALES	21,100,000	24,738,699		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	12,100,000	3,787,900		
<b>TOTALES</b>	<b>60,300,000</b>	<b>60,300,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: <u>Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94</u>	
<u>Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investigación en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.</u>	
FECHA DE LA FIRMA: <u>31 de Agosto de 1994</u>	
DURACION: _____	
ADICION: _____	
VIGENCIA PRESUPUESTAL: <u>Año 1994</u>	VALOR TOTAL: <u>\$ 1.000.000.000=</u>
FINANCIACION: <u>PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)</u>	
(CODIGO): <u>F103</u>	

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: <u>Mejoramiento de Stylosanthes</u>
VALOR: <u>\$ 42.900.000=</u>
PERIODO REPORTADO: <u>Agosto / Diciembre de 1994</u>

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	19,300,000	23,851,324		
2/. GASTOS GENERALES	15,000,000	18,537,298		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	8,600,000	511,378		
<b>TOTALES</b>	<b>42,900,000</b>	<b>42,900,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investiga-  
ción en los Llanos Orientales y la Amazonía Colombiana

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1994

DURACION 31 de Diciembre de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000 =

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)  
(CODIGO): FS01

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: Ecotipos con Alta Calidad Forrajera

VALOR: \$ 46.000.000 =

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	20,700,000	25,875,000		
2/. GASTOS GENERALES	16,100,000	20,125,000		
3/. TRANSFERENCIAS		-		
4/. INVERSION FISICA	9,200,000	-		
<b>TOTALES</b>	<b>46,000,000</b>	<b>46,000,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: <u>Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94</u>	
<u>Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investigación en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.</u>	
FECHA DE LA FIRMA: <u>31 de Agosto de 1994</u>	
DURACION <u>31 de Diciembre de 1994</u>	
ADICION: _____	
VIGENCIA PRESUPUESTAL: <u>Año 1994</u>	VALOR TOTAL: <u>\$ 1.000.000.000=</u>
FINANCIACION: <u>PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)</u>	
(CODIGO): <u>FS02</u>	

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: <u>Atributos Adaptativos a Suelos Acidos</u>
VALOR: <u>\$ 62.200.000=</u>
PERIODO REPORTADO: <u>Agosto / Diciembre de 1994</u>

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	28,000,000	33,817,960		
2/. GASTOS GENERALES	21,800,000	26,329,698		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	12,400,000	2,052,342		
<b>TOTALES</b>	<b>62,200,000</b>	<b>62,200,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investiga-  
ción en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1994

DURACION 31 de Diciembre de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$1.000.000.000=

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)

(CODIGO): FS03

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: FORRAJES PARA SUELOS ACIDOS / Componentes para Sistemas de Producción  
 \_\_\_\_\_

VALOR: \$ 77.000.000=

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	34,700,000	42,590,214		
2/. GASTOS GENERALES	27,000,000	33,139,359		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	15,300,000	1,270,427		
<b>TOTALES</b>	<b>77,000,000</b>	<b>77,000,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investiga -  
ción an los Llanos Orientales y la Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1994

DURACION 31 de Diciembre de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000=

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)

(CODIGO): FD02

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: DIVERSIDAD FORRAJERA / Ecotipos Forrajeros con Adaptación Ambiental conocida

\_\_\_\_\_

VALOR: \$ 58.000.000=

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	26,100,000	32,625,000		
2/. GASTOS GENERALES	20,300,000	25,375,000		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	11,600,000	-		
TOTALES	58,000,000	58,000,000		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: <u>Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94</u>	
<u>Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de Investigación en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.</u>	
FECHA DE LA FIRMA: <u>31 de Agosto de 1.994</u>	
DURACION <u>Diciembre 31 de 1994</u>	
ADICION: _____	
VIGENCIA PRESUPUESTAL: <u>Año 1994</u>	VALOR TOTAL: <u>\$ 1.000.000.000=</u>
FINANCIACION: <u>PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)</u>	
(CODIGO): <u>FD01</u>	

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: <u>DIVERSIDAD FORRAJERA / Mejoramiento de la Base Genética de los Pastos Tropicales</u>
VALOR: <u>\$ 59.600.000=</u>
PERIODO REPORTADO: <u>Agosto / Diciembre de 1994</u>

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	26,800,000	30,071,892		
2/. GASTOS GENERALES	20,900,000	23,451,588		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	11,900,000	6,076,520		
<b>TOTALES</b>	<b>59,600,000</b>	<b>59,600,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA–CIAT No. 01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investiga-  
ción en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1994

DURACION 31 de Diciembre de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000=

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)

(CODIGO): TL01

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: TROPICOS BAJOS – ORINOQUIA / Prototipos de Sistemas Sostenibles de Cultivos para  
los Llanos

VALOR: \$ 43.600.000=

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	19,800,000	15,414,950		
2/. GASTOS GENERALES	15,200,000	11,833,699		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	8,600,000	16,351,351		
<b>TOTALES</b>	<b>43,600,000</b>	<b>43,600,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investiga-  
ción en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1994

DURACION 31 de Diciembre de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000=

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)  
(CODIGO): TL02

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: TROPICOS BAJOS – ORINOQUIA / Entender Mecanismos y Modelos de Química de Suelos  
y de Procesos Físicos y Biológicos

VALOR: \$ 48.500.000=

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	21,800,000	16,549,542		
2/. GASTOS GENERALES	17,000,000	12,905,606		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	9,700,000	19,044,852		
TOTALES	48,500,000	48,500,000		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No.01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para las actividades de investigación en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1994

DURACION 31 de Diciembre de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000=

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)

(CODIGO): TL03

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: TROPICOS BAJOS – ORINOQUIA / Dinámica del Uso de la Tierra

\_\_\_\_\_

VALOR: \$ 40.100.000=

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	18,000,000	22,556,250		
2/. GASTOS GENERALES	14,000,000	17,543,750		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	8,100,000			
<b>TOTALES</b>	<b>40,100,000</b>	<b>40,100,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA–CIAT No. 01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investiga-  
ción en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1994

DURACION 31 de Diciembre de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000=

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)

(CODIGO): UT04

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: MANEJO DE TIERRAS / Encuesta de Diagnóstico y Planeación de la Investigación

VALOR: \$ 41.300.000=

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	18,600,000	17,729,392		
2/. GASTOS GENERALES	14,400,000	13,725,981		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	8,300,000	9,844,627		
<b>TOTALES</b>	<b>41,300,000</b>	<b>41,300,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: <u>Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA–CIAT No. 01 Julio/94</u>	
<u>Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investigación en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana</u>	
FECHA DE LA FIRMA:	<u>31 de Agosto de 1994</u>
DURACION	<u>31 de Diciembre de 1994</u>
ADICION:	_____
VIGENCIA PRESUPUESTAL: <u>Año 1994</u>	VALOR TOTAL: <u>\$ 1.000.000.000=</u>
FINANCIACION: <u>PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)</u>	
(CODIGO):	<u>RU01</u>

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: <u>ARROZ SECANO / Mejoramiento de Germoplasma para Arroz Secano</u>
_____
VALOR: <u>\$ 115.200.000=</u>
PERIODO REPORTADO: <u>Agosto / Diciembre de 1994</u>

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	51,900,000	64,846,855		
2/. GASTOS GENERALES	40,300,000	50,353,145		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	23,000,000	–		
<b>TOTALES</b>	<b>115,200,000</b>	<b>115,200,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: <u>Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94</u>	
<u>Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investigación en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.</u>	
FECHA DE LA FIRMA: <u>31 de Agosto de 1994</u>	
DURACION <u>31 de Diciembre de 1994</u>	
ADICION: _____	
VIGENCIA PRESUPUESTAL: <u>Año 1994</u>	VALOR TOTAL: <u>\$ 1.000.000.000 =</u>
FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)	
(CODIGO): <u>RP01</u>	

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: <u>ARROZ RIEGO / Resistencia Durable a Añublo</u>
VALOR: <u>\$ 66.100.000 =</u>
PERIODO REPORTADO: <u>Agosto / Diciembre de 1994</u>

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	29,700,000	37,110,964		
2/. GASTOS GENERALES	23,200,000	28,989,036		
3/. TRANSFERENCIAS	–	–		
4/. INVERSION FISICA	13,200,000	–		
<b>TOTALES</b>	<b>66,100,000</b>	<b>66,100,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94  
para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investiga-  
ción en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1.994

DURACION 31 de Diciembre de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000=

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)  
 (CODIGO): RP02

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: ARROZ RIEGO / Mejoramiento Control de Malezas

VALOR: \$ 31.200.000=

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	14,000,000	16,424,223		
2/. GASTOS GENERALES	10,900,000	12,787,431		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	6,300,000	1,988,346		
TOTALES	31,200,000	31,200,000		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investigación en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1994

DURACION 31 de Diciembre de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000 =

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)  
 (CODIGO): RP04

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: ARROZ RIEGO / Manejo Integrado de Plagas y de Cultivo

VALOR: \$ 27.700.000 =

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	12,500,000	15,596,847		
2/. GASTOS GENERALES	9,700,000	12,103,153		
3/. TRANSFERENCIAS		-		
4/. INVERSION FISICA	5,500,000	-		
<b>TOTALES</b>	<b>27,700,000</b>	<b>27,700,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: <u>Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA – CIAT No. 01 Julio/94</u>	
<u>Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de investigación en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.</u>	
FECHA DE LA FIRMA: <u>31 de Agosto de 1994</u>	
DURACION <u>31 de Diciembre de 1994</u>	
ADICION: _____	
VIGENCIA PRESUPUESTAL: <u>Año 1994</u>	VALOR TOTAL: <u>\$ 1.000.000.000=</u>
FINANCIACION: <u>PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)</u>	
(CODIGO): <u>RL01</u>	

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: <u>ARROZ RIEGO / Mejoramiento de arroz para incrementar volumen y eficiencia en la producción</u>
VALOR: <u>\$ 79.600.000=</u>
PERIODO REPORTADO: <u>Agosto / Diciembre de 1994</u>

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	35,800,000	44,735,950		
2/. GASTOS GENERALES	27,900,000	34,864,050		
3/. TRANSFERENCIAS		–		
4/. INVERSION FISICA	15,900,000	–		
<b>TOTALES</b>	<b>79,600,000</b>	<b>79,600,000</b>		



**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT  
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  
FICHA DE SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL PARA CONVENIOS**

**A/. IDENTIFICACION DEL CONVENIO**

NOMBRE: Convenio ICA/CIAT/CORPOICA – Carta de entendimiento ICA–CIAT No. 01 Julio/94  
Para desarrollar proyectos complementarios y de colaboración para actividades de Investigación en los Llanos Orientales y Amazonía Colombiana.

FECHA DE LA FIRMA: 31 de Agosto de 1.994

DURACION Diciembre 31 de 1994

ADICION: \_\_\_\_\_

VIGENCIA PRESUPUESTAL: Año 1994 VALOR TOTAL: \$ 1.000.000.000=

FINANCIACION: PROYECTO(S) PRESUPUESTAL(ES)

(CODIGO): \_\_\_\_\_

**B/. IDENTIFICACION DEL SUB – PROYECTO**

NOMBRE: Apoyo Logístico y Administrativo a los Proyectos en Carimagua

\_\_\_\_\_

VALOR: \$ 33.000.000=

PERIODO REPORTADO: Agosto / Diciembre de 1994

**C/. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS Y DE LA INVERSION FISICA**

**C. 1. AVANCE EN LA EJECUCION DE LOS GASTOS**

CONCEPTO DEL GASTO	PROGRAMACION TOTAL \$ COL.	EJECUCION EN EL PERIODO REPORTADO	EJECUCION ACUMULADA AL PERIODO ANTERIOR	SALDO POR EJECUTAR
1/. SERVICIOS PERSONALES	14,900,000	18,554,717		
2/. GASTOS GENERALES	11,600,000	14,445,283		
3/. TRANSFERENCIAS				
4/. INVERSION FISICA	6,500,000	-		
TOTALES	33,000,000	33,000,000		



## **II. INFORMES TECNICOS**



**Título: Proyecto FI01**  
**MEJORAMIENTO GENÉTICO DE *BRACHIARIA***

### **Justificación**

El género *Brachiaria* es la fuente de las especies forrajeras más importantes y de mayor cultivo en el trópico. Los cultivares de *Brachiaria* se siembran en un área tan grande que sólo en Brasil supera los 50 millones de ha.

A principios de la década de los 70 se empezaron a establecer las pasturas de *B. decumbens* en grandes extensiones, lo que permitió obtener un aumento sustancial en la productividad animal, medida ya sea según el área o por unidad animal. Desafortunadamente, *B. decumbens* es muy susceptible al ataque del salivazo (diversas especies y géneros de la familia Cercopidae, orden Homoptera). *B. brizantha* cv. Marandú, liberado en Brasil, es altamente resistente al salivazo, pero no persiste en condiciones de baja fertilidad del suelo. Un tercer cultivar comercial, *B. brizantha* cv. La Libertad, liberado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), es intermedio tanto en resistencia a los insectos como en persistencia; no es muy estolonífero.

Durante 1984-1985, el CIAT realizó una misión de recolección importante, financiada por el IBPGR (actualmente IPGRI), con la colaboración del ILCA y de programas nacionales de seis países de África Oriental. Esta misión recolectó casi 800 nuevas accesiones de más de 20 especies de *Brachiaria*.

En 1985, C.B. do Valle (CNPGC/EMBRAPA) introdujo en América tropical un biotipo artificialmente tetraploidizado del diploide naturalmente sexual *B. ruziziensis*; este biotipo se introdujo en el CIAT en 1988, y permitió iniciar proyectos de fitomejoramiento en el género *Brachiaria*. Anteriormente había sido imposible la hibridación debido a la reproducción apomíctica natural (asexual, pero por semilla) de todas las especies comerciales de *Brachiaria*. El trabajo de mejoramiento que realiza el CIAT en *Brachiaria* se hace en estrecha colaboración con EMBRAPA en Brasil, y busca mejorar la utilidad y la productividad de las gramíneas forrajeras derivadas de *Brachiaria* mediante el uso de recursos genéticos naturales, complementado por el fitomejoramiento. Específicamente, se busca combinar la adaptación edáfica y la persistencia excelentes de *B. decumbens* con la resistencia antibiótica al salivazo de *B. brizantha*, en nuevos cultivares apomícticos de *Brachiaria* que tengan buena calidad de forraje.

### **Objetivo**

Mejorar la utilidad y la productividad de algunas gramíneas forrajeras del género

*Brachiaria*, mediante el uso de recursos genéticos naturales complementado por el fitomejoramiento.

**Coordinador del proyecto:** J.W. Miles

### **Actividades principales**

1. Recursos genéticos
2. Nuevos acervos genéticos de *Brachiaria*
3. Genética de la apomixis
4. Evaluación de la resistencia al salivazo
5. Diversidad genética en *Brachiaria*
6. Control genético de atributos clave
7. Adaptación edáfica
8. Resistencia al añublo foliar causado por *Rhizoctonia*
9. Evaluación de la resistencia viral
10. Dormencia de la semilla
11. Hongos endofíticos en las gramíneas tropicales
12. Almacenamiento del polen
13. Taller de *Brachiaria*

### **1. Recursos genéticos**

#### Avances en 1994

Se completó la evaluación agronómica de 199 accesiones en Carimagua, y se seleccionaron 12 accesiones para iniciar la multiplicación de semilla para ensayos agronómicos en diversos sitios y para ensayos de pastoreo en pequeñas parcelas.

#### Actividades propuestas para 1995

- Elaborar un informe final sobre los resultados de la evaluación agronómica, hecha en diversas localidades de América tropical, de las accesiones de germoplasma de *Brachiaria* que se adquirieron en una importante misión de recolección en Africa Oriental, en 1984-1985.
- Publicar un catálogo de la colección de *Brachiaria*.
- Iniciar la multiplicación de semilla de las 12 accesiones que se seleccionaron para ensayos agronómicos multilocalizados y para ensayos de pastoreo en pequeñas parcelas.
- Obtener un duplicado del juego de accesiones de *Brachiaria* que se sembraron en el ensayo de la Red en Brasil, con el fin de sembrarlas en Carimagua.
- Comenzar a evaluar el resto de las accesiones de la colección.

## **2. Nuevos acervos genéticos de *Brachiaria***

### Avances en 1994

El proyecto de mejoramiento completó un tercer ciclo de selección y de recombinación; se evaluaron en el campo, en Carimagua y en Caquetá, un total de 2500 recombinantes híbridos de dos poblaciones. Se evaluaron siete híbridos apomícticos promisorios en la estación de CORPOICA La Libertad, cerca a Villavicencio, con la colaboración de Raúl Pérez y Alfonso Acosta.

### Actividades propuestas para 1995

- Someter las poblaciones de mejoramiento a un ciclo adicional de selección.
- Incluir en los ensayos multilocalizados dos recombinantes híbridos promisorios para observaciones adicionales.

## **3. Genética de la apomixis**

### Avances en 1994

Un proyecto de tesis de pregrado, desarrollado con la Universidad Nacional de Colombia, identificó dos marcadores moleculares (RAPDs) ligados a un gen que condicionaba la apomixis en *Brachiaria*. Estos marcadores, además de observaciones recientes sobre la herencia de la sexualidad en poblaciones híbridas, aumentan sustancialmente nuestra creencia en el modelo monogénico propuesto para la herencia del modo reproductivo en *Brachiaria*.

### Actividades propuestas para 1995

- Buscar mejores marcadores moleculares de la apomixis (es decir, que estén más estrechamente ligados), e incorporar esas herramientas en el trabajo de mejoramiento en curso para elevar su eficiencia.
- Validar los marcadores identificados hasta la fecha en las poblaciones adicionales de mapeo.
- Publicar los resultados de la investigación sobre la marcación del locus de la apomixis.

## **4. Evaluación de la resistencia al salivazo**

### Avances en 1994

Se han evaluado aproximadamente 200 accesiones adicionales por resistencia antibiótica al salivazo en condiciones controladas y en una infestación artificial en el invernadero. En la actualidad, se tiene información acerca de la reacción al salivazo de 400 accesiones.

### Actividades propuestas para 1995

- Llenar la posición de entomólogo del Programa, a comienzos de 1995. Esta

posición ha estado vacante durante más de 18 meses, situación que afectó notablemente el trabajo sobre la resistencia de *Brachiaria* al salvazo.

- Continuar la evaluación de rutina sobre la resistencia al salvazo de las accesiones de germoplasma y de los productos del proyecto de mejoramiento.
- Iniciar estudios sobre los mecanismos de resistencia al salvazo y los marcadores moleculares de los genes de resistencia; estos, a la vez, deben conducir a mejoras en la metodología de selección.

## **5. Diversidad genética en *Brachiaria***

### Avances en 1994

Los estudios de diversidad genética en el género, basados en los caracteres morfológicos, el polimorfismo enzimático y los marcadores moleculares, comienzan a explicar las relaciones filogenéticas dentro de las especies de *Brachiaria* y entre las mismas. Se confirma aparentemente la existencia de un complejo agámico de biotipos sexuales y apomícticos relacionados en las especies *B. ruzizensis*, *B. decumbens* y *B. brizantha*.

### Actividades propuestas para 1995

- Analizar los marcadores RAPD, las isoenzimas y los caracteres morfológicos, y publicar los resultados.
- Analizar la DIVMS de accesiones y de material híbrido, y publicar los resultados.

## **6. Control genético de atributos clave**

### Avances en 1994

Otro proyecto de tesis a nivel de maestría, con la Universidad Nacional de Colombia, produjo la primera evidencia de un importante componente genético de la resistencia al salvazo en *Brachiaria*. Se documentó un amplio rango de variación natural de casi 20 por ciento (51%-70%) en la calidad del forraje (DIVMS) dentro del grupo de especies al cual el programa de mejoramiento, tuvo acceso; se observó poca interacción con el ambiente. Estos resultados confirman el excelente potencial que existe para mejorar genéticamente la calidad del forraje, y lograr así un impacto en la productividad animal.

### Actividades propuestas para 1995

- Empezar estudios más refinados sobre el control genético de la resistencia al salvazo, en vista del desarrollo de poblaciones híbridas.
- Generar material progenitor para estudiar la modificación del gen de la apomixis.

## **7. Adaptación edáfica**

### Avances en 1994

Un estudio hecho en invernadero identificó dos atributos como buenos indicadores de la adaptación edáfica: el área foliar específica y la acumulación total de nitrógeno foliar.

### Actividades propuestas para 1995

- Establecer un experimento en Carimagua en que se evalúe la tolerancia de accesiones y de recombinantes híbridos a bajos niveles de N, P, y Ca, para refinar la metodología de evaluación de la adaptación edáfica y hacerla más rápida, eficiente y confiable.

## **8. Resistencia al añublo foliar por *Rhizoctonia***

### Avances en 1994

Se desarrolló una metodología efectiva y confiable de inoculación artificial del añublo foliar por *Rhizoctonia*, tanto en condiciones de invernadero como en el campo. Se examinaron 43 accesiones utilizando esa metodología. Se encontraron altos niveles de resistencia sólo en un pequeño número de accesiones de *B. brizantha*.

### Actividad propuesta para 1995

- Seleccionar accesiones avanzadas y material para trabajos de mejoramiento.

## **9. Evaluación de la resistencia viral**

### Actividades propuestas para 1995

- Recopilar información sobre la transmisión de virus por la semilla.
- Desarrollar un método de inoculación artificial.
- Evaluar el efecto del virus en el rendimiento de la semilla.

## **10. Dormencia de la semilla**

### Avances en 1994

Un estudiante de tesis de maestría, con la Universidad Nacional de Colombia (Palmira), estudió la dormencia de la semilla en *B. dictyoneura* cv. 'Llanero', buscando un método efectivo de superar la dormencia en cantidades comerciales de semilla.

### Actividad propuesta para 1995

- Terminar el trabajo de tesis.

## **11. Hongos endofíticos en las gramíneas tropicales**

### Avances en 1994

Un investigador visitante, Dr. Koga, demostró que hay hongos endofíticos en gramíneas autóctonas. Los intentos de aislar esos hongos de las gramíneas del género *Brachiaria* indicaron que se requiere desarrollar una nueva metodología. Estos estudios formarán parte de un proyecto de 5 años que será financiado por el gobierno japonés.

### Actividades propuestas para 1995

- Dependen de la asignación de fondos a través de JIRCAS.

## **12. Almacenamiento del polen**

### Actividad propuesta para 1995

- Mediante un proyecto de tesis de pregrado con la Universidad de Valle (Cali), desarrollar un medio para la germinación in vitro de polen de *Brachiaria*, e identificar condiciones de almacenamiento que conserven la viabilidad del mismo.

## **13. Taller de *Brachiaria***

### Avances en 1994

En octubre de 1994, se celebró el Taller Internacional sobre la Biología, la Agronomía y el Mejoramiento de *Brachiaria* en la sede del CIAT. Participaron conferencistas invitados de 13 países de Africa, América, Asia, Australia y Europa.

### Actividad propuesta para 1995

- Publicar en inglés (por el CIAT) y en portugués (por EMBRAPA) las memorias de este Taller que se encuentran actualmente en proceso de edición.



**Título: Proyecto FI02**  
**ACERVOS GENÉTICOS MEJORADOS DE ESPECIES FORRAJERAS DE**  
**ARACHIS**

### **Justificación**

*Arachis pintoii* es la primera leguminosa herbácea tropical que presenta alta productividad y persistencia a largo plazo cuando se asocia con gramíneas estoloníferas vigorosas en los trópicos húmedo y subhúmedo. Tiene también potencial como cobertura verde para controlar las malezas y para mejorar el suelo. Sin embargo, el actual desarrollo de *A. pintoii* como una leguminosa forrajera comercial se basa fundamentalmente en un solo genotipo. Aunque esta línea es muy exitosa, tiene ciertas limitaciones, tales como un establecimiento lento y una limitada tolerancia a la sequía. Se deben adquirir y evaluar otras accesiones para ampliar el rango de adaptación de *A. pintoii* y asegurar que hayan genes resistentes disponibles para posibles brotes de enfermedades e insectos. Es necesario evaluar la resistencia de todas las accesiones potencialmente promisorias de *A. pintoii* respecto a las enfermedades e insectos que afectan el maní común (*Arachis hypogaea*). Igualmente, respecto a otros problemas que puedan surgir ya que las especies forrajeras de *Arachis* se encuentran más diseminadas y las áreas sembradas son más grandes. También se deben adquirir y evaluar otras especies del género *Arachis* que tienen potencial forrajero y que permitan ampliar el rango de *Arachis* en diferentes ambientes. Es importante mejorar nuestros conocimientos sobre la variabilidad genética en especies potencialmente útiles, para desarrollar programas de conservación *ex situ* e *in situ*. Muchas de las áreas cubiertas con este género están actualmente expuestas al desarrollo agrícola.

Las especies silvestres de *Arachis* tienen un uso potencial generalizado en las pasturas de gramíneas y leguminosas, o como cultivos de cobertura, tanto en los trópicos húmedo y subhúmedo como en el subtropico. Pueden desempeñar un papel estratégico en los sistemas de agricultura sostenible, como cobertura del suelo y como fijadoras de nitrógeno. Los estudios *ex-ante* indican una alta tasa interna de retorno social (95%). Los beneficiarios serían los agricultores en los principales ecosistemas de los trópicos subhúmedo y húmedo. La distribución de los acervos genéticos mejorados se haría por intermedio de los SNIA.

### **Objetivos**

- Extender el rango de adaptación de las especies forrajeras de *Arachis*, expandiendo la base genética disponible mediante la recolección y la evaluación.
- Asegurar la conservación mediante estudios sobre la biología de la población donde se evalúa la resistencia a enfermedades e insectos.
- Mejorar la utilidad de esas especies mediante prácticas de establecimiento más rápidas y confiables.

**Coordinadores del proyecto:** P.C. Kerridge y E.A. Pizarro

## **Actividades principales**

1. Adquisición de germoplasma de *Arachis*
2. Evaluación en un amplio rango de condiciones ambientales
3. Tolerancia a enfermedades e insectos
4. Condiciones de manejo para un establecimiento rápido y un alto rendimiento
5. Condiciones óptimas de producción y almacenamiento de semilla de alta calidad
6. Distribución de especies silvestres de *Arachis*
7. Comportamiento reproductivo y compatibilidad de especies

### **1. Adquisición de germoplasma de *Arachis***

#### Avances en 1994

Durante el año se hicieron varios viajes de recolección al Brasil, junto con CENARGEN, y se obtuvieron 16 accesiones de *A. pintoii*, además de accesiones de otras especies (Cuadro 1). Como resultado de esta actividad de adquisición conjunta con CENARGEN/EMBRAPA, el número de accesiones disponibles se aproxima a 100. Estas accesiones se están multiplicando con fines de conservación, distribución y evaluación en los Cerrados. Las 64 accesiones enviadas al CIAT ya pasaron su cuarentena, y están disponibles para evaluación.

Los resultados de los estudios de caracterización y diversidad genética se presentan en la sección de Recursos Genéticos.

#### Actividades propuestas para 1995

- Realizar en febrero otro viaje de recolección de *A. pintoii*, con énfasis en regiones con una época seca larga, y multiplicar el material recolectado. El CENARGEN enviará al CIAT el germoplasma recolectado en 1994.
- Formular una estrategia de recolección de otras especies de *Arachis* que tengan potencial forrajero.
- Desarrollar accesiones de especies que sean diferentes a *A. pintoii*, y multiplicarlas para un ensayo multilocalizado.

### **2. Evaluación en un amplio rango de condiciones ambientales**

#### Avances en 1994

En Brasil se evaluaron alrededor de 50 nuevas accesiones de *A. pintoii*. Se presentaron grandes diferencias en la tasa de cobertura (30% a 100% en 12 semanas), en el desarrollo de raíces secundarias a finales del primer año (3 veces) y en la producción de semilla (0 a 4000 kg/ha).

**Cuadro 1.** Germoplasma de *Arachis* recolectado durante 1994 en Brasil por EMBRAPA/CENARGEN/CPAC/CIAT.

Secciones/especies	Regiones								
	N	NE	CENTRAL			SE		S	
	A	BA	GO	MT	MS	MG	SP	PR	RS
<b>ARACHIS</b>									
<i>A. hypogaea</i>	-	-	-	-	8	-	-	-	2
<i>A. decora</i>	3	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. kuhlmannii</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>A. valida</i>	-	-	-	-	2	-	-	-	-
<b>CAULORRHIZAE</b>									
<i>A. pintoii</i>	-	4	-	-	-	12	-	-	-
<i>A. repens</i>	-	-	-	-	-	8	-	(2)	-
<b>ERECTOIDES</b>									
<i>A. aracheri</i>	-	-	-	-	3	-	-	-	-
<i>A. benthamii</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>A. oteroi</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>A. paraguariensis</i>	-	-	-	-	5	-	-	-	-
<i>A. stenophylla</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<b>EXTRANERVOSAE</b>									
<i>A. lutescens</i>	-	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>A. macedoi</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. retusa</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>HETERANTHAE</b>									
<i>A. dardanii</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. pusilla</i>	-	6	-	-	-	3	-	-	-
<i>A. sylvestris</i>	-	1	-	-	-	1	-	-	-
<i>Arachis</i> sp. (Montalvania)	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<b>PROCUMBENTES</b>									
<i>A. lignosa</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>A. vallsii</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<b>RHIZOMATOSAE</b>									
<i>A. burkartii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>A. glabrata</i>	-	-	2	1	14	-	1	-	-
<i>A. pseudovillosa</i>	-	-	-	-	3	-	-	-	-
<b>TRIRECTOIDES</b>									
<i>A. guaranítica</i>	-	-	-	-	2	-	-	-	-
<b>THRISEMINATAE</b>									
<i>A. triseminata</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total/Estado</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>41</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Una nueva accesión (BRA-031143/CIAT 22160) ha persistido durante cuatro épocas secas en Planaltina, Brasil; retuvo el 15% de sus hojas verdes durante la estación seca y ha demostrado que se recupera rápidamente una vez que comienzan las lluvias.

En Costa Rica, el desempeño de las accesiones CIAT 18744 y CIAT 18748 ha sido superior al de CIAT 17434 (liberado como cultivar) en las pasturas en asociación con gramíneas y cuando se usa como cobertura.

En Colombia se sembraron 27 accesiones de *A. pintoi* y 5 de *A. repens* en seis sitios del trópico húmedo, de las sabanas y de las laderas más secas para evaluar la interacción genotipo x ambiente.

#### Actividad propuesta para 1995

- Continuar con la evaluación de nuevas especies a medida que estén disponibles como resultado del proceso de recolección en Brasil o después de su cuarentena en Colombia. En la actualidad hay 35 nuevas accesiones disponibles en Colombia.

### **3. Tolerancia a enfermedades e insectos**

#### Avances en 1994

Se observó una alta incidencia de antracnosis tanto en Carimagua como en Caquetá, Colombia, en aquel material que se propagó vegetativamente.

#### Actividades propuestas para 1995

- Iniciar un programa en el que se evaluará la resistencia a enfermedades de todas las accesiones de *Arachis*, después de determinar los protocolos apropiados de inoculación. Se hará énfasis en dos enfermedades: antracnosis y mancha foliar por *Cercospora*. Se establecerán contactos con los patólogos de ICRISAT.

### **4. Condiciones de manejo para un establecimiento rápido y para altos rendimientos**

#### Avances en 1994

En un experimento de campo en Carimagua, se demostró nuevamente que el establecimiento es mucho más rápido con el uso adecuado de fertilizante fosforado, ya sea con pequeñas cantidades colocadas debajo de la semilla o con grandes cantidades aplicadas a voleo.

Parece ser ventajoso sembrar *Arachis* junto con otras leguminosas que tienen un establecimiento más rápido, como *Stylosanthes* o *Centrosema*.

#### Actividades propuestas para 1995

- Uno de los principales obstáculos para el uso de *Arachis* es el costo involucrado en su establecimiento debido al alto costo de la semilla (que es de aproximadamente US\$25/kg), y que hace que el establecimiento actual sea lento. Por tanto, se debe considerar el uso de maquinaria que coloque la semilla adecuadamente, reduciendo así los costos de establecimiento, o el uso de material vegetativo a partir de semilleros.

### **5. Condiciones óptimas de producción y de almacenamiento de semilla de alta calidad**

#### Avances en 1994

El seguimiento de la semilla patrón en condiciones de almacenamiento a temperaturas frescas indica que hay una rápida disminución en la germinación después de 2 años. En algunas ocasiones, esto parece relacionarse con infecciones fúngicas.

En la actualidad, un estudiante de maestría de la Universidad Nacional de Colombia, Palmira, está a cargo del seguimiento del almacenamiento de semilla en condiciones diferentes.

#### Actividades propuestas para 1995

- Continuar con el seguimiento del experimento sobre semilla.
- Hacer un seguimiento de los efectos que con el tiempo tienen los patógenos en la calidad de la semilla.
- Establecer un experimento que muestre la diferencia en la producción de semilla entre las siembras hechas con material vegetativo y las hechas con semilla.

### **6. Distribución de especies silvestres de *Arachis***

#### Actividades propuestas para 1995

Las actividades dependerán de la financiación total de una propuesta de un proyecto conjunto entre CENARGEN, ICRISAT y CIAT.

### **7. Comportamiento reproductivo y compatibilidad de especies**

#### Actividad propuesta para 1995

- Diseñar experimentos que se puedan realizar con la ayuda de estudiantes de pregrado provenientes de universidades locales.



**Título: Proyecto FI03  
DESARROLLO DE CULTIVARES DE *STYLOSANTHES* QUE SEAN  
PERSISTENTES**

**Justificación**

*Stylosanthes guianensis* es una leguminosa forrajera diferente, con una amplia distribución natural en toda América del Sur tropical y subtropical. La especie es una de las leguminosas forrajeras más importantes de Australia y de América del Sur.

Una de las principales limitaciones para su uso generalizado como especie forrajera tropical es la antracnosis, causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. En Colombia se han registrado pérdidas de materia seca en *S. guianensis* entre 64% y 100%. El patógeno presenta una considerable variación en morfología y en patogenicidad. En Australia se han descrito dos biotipos separados del patógeno, designados como A y B, como los causantes de los síntomas de antracnosis en las especies de *Stylosanthes* en ese país. El biotipo A infecta la mayoría de las especies del género *Stylosanthes*, pero el biotipo B infecta sólo a *S. guianensis*. Se han identificado cuatro razas fisiológicas del biotipo B en un conjunto de diferenciales que incluye cuatro cultivares de *S. guianensis*: Endeavour, Graham, Cook y CPI 18750. Este conjunto de diferenciales, sin embargo, no es de mucha utilidad para los aislamientos más complejos y variados de *C. gloeosporioides* de América del Sur. Muy poco se conoce acerca de la composición de las razas de la población de patógenos sudamericanos, principalmente porque faltan cultivares y/o accesiones diferenciales apropiadas. Para que los programas de mejoramiento sean efectivos, es esencial conocer la forma en que las razas de los aislamientos patogénicos se especialicen entre los diferenciales apropiados y se distribuyan geográficamente. De esta manera, se pueden usar estrategias de despliegue de genes precisas para desarrollar cultivares con una resistencia estable contra la antracnosis en condiciones de campo.

Las reacciones de varias accesiones y de líneas endogámicas de diferente morfología a los aislamientos del patógeno, recolectados en diversas regiones, se utilizaron para continuar la selección de genotipos hospedantes que muestren una capacidad diferencial. Sin embargo, todavía se desconoce la identidad (el número y las particularidades) del gene (o de los genes) que confiere la resistencia a la antracnosis en cada genotipo hospedante.

Además de la resistencia a la antracnosis, otros componentes que contribuyen a la persistencia de un cultivar en los sistemas de pastoreo son un alto rendimiento de semilla y un buen vigor de la plántula.

## Objetivos

- Determinar la variabilidad del patrón de virulencia de los aislamientos de *C. gloeosporioides* provenientes de América del Sur.
- Reunir un grupo de genotipos de *S. guianensis* que diferencien las razas fisiológicas del patógeno.
- Identificar las fuentes de resistencia a la antracnosis.
- Desarrollar germoplasma de *Stylosanthes* con alto rendimiento de semilla, buen vigor de la plántula y resistencia a la antracnosis.

**Coordinadora del proyecto:** S. Kelemu

## Actividades principales

1. Evaluar los genotipos de *Stylosanthes*.
2. Establecer nuevos acervos génicos de *Stylosanthes*, con resistencia a la antracnosis y alta productividad.
3. Caracterizar los aislamientos representativos de *C. gloeosporioides*, con base en sus patrones de patogenicidad en los diferenciales y las líneas endogámicas existentes.
4. Caracterizar los aislamientos, con base en los marcadores moleculares y en el análisis bioquímico.
5. Realizar estudios epidemiológicos.
6. Estudiar el rendimiento de la semilla y la persistencia de las plantas.
7. Identificar un antibiótico que codifique la clonación de los genes y las transformaciones de las plantas.
8. Identificar nuevas enfermedades.

### 1. **Evaluar los genotipos de *Stylosanthes***

#### Avances en 1994

Se están examinando 250 accesiones de *S. guianensis* por su resistencia a la antracnosis en Carimagua. Se ha hecho una selección de las seis accesiones más tolerantes para evaluaciones y caracterizaciones adicionales.

#### Actividades propuestas para 1995

- Continuar la selección de accesiones de germoplasma de la colección.
  - Reunir un conjunto de las accesiones y los híbridos más promisorios para la evaluación a nivel regional.
2. **Establecer nuevos acervos génicos de *Stylosanthes* con resistencia a la antracnosis y alta productividad**

#### Avances en 1994

En Carimagua, seis nuevos materiales híbridos de *S. guianensis* mantienen una alta

resistencia a la antracnosis; en el momento, éstos están en proceso de multiplicación para ensayos regionales.

#### Actividades propuestas para 1995

- Se evaluarán nuevos materiales híbridos en ensayos regionales, y se sembrarán acervos génicos representativos en cuatro sitios para estudiar la epidemiología de la antracnosis.

### **3. Caracterización de aislamientos representativos de *C. gloeosporioides* con base en los patrones de patogenicidad**

#### Avances en 1994

Se seleccionó un conjunto de genotipos diferenciales de *Stylosanthes*, con base en la capacidad diferenciadora en sus interacciones con 45 aislamientos de *C. gloeosporioides*, que se recolectaron de diversas localidades y de diferentes genotipos hospedantes. Los 45 aislamientos se agruparon en 32 patotipos en esos diferenciales, en comparación con 9 grupos en los 4 diferenciales australianos que se usan en la actualidad (Cuadro 1).

Noventa aislamientos se "tipificaron por raza" en genotipos hospedantes diferenciales que se reunieron recientemente.

Los resultados muestran que los aislamientos sudamericanos son más complejos y diversos en su patogenicidad que los aislamientos australianos.

#### Actividades propuestas para 1995

- Recolectar aislamientos más representativos de los diversos ecosistemas y regiones geográficas, y analizarlos respecto a su patogenicidad en los diferenciales.

### **4. Caracterización de aislamientos con base en los marcadores moleculares y en el análisis bioquímico**

#### Avances en 1994

Se recolectaron, se recuperaron y se mantuvieron en buenas condiciones aislamientos puros representativos de *C. gloeosporioides* para estudios bioquímicos y moleculares, así como para pruebas de patogenicidad.

Se sometieron 130 aislamientos de *C. gloeosporioides* a análisis RAPD para medir la diversidad genética y la posible correlación con el espectro de virulencia.

Se iniciaron los protocolos para el análisis bioquímico (por ejemplo, los ensayos enzimáticos de degradación de la pared celular).



### Actividades propuestas para 1995

- Realizar análisis RFLP y RAPD en un mayor número de aislamientos.
- Analizar aislamientos respecto a la producción extracelular de enzimas.

### 5. Estudios epidemiológicos

#### Avances en 1994

Se instalaron sensores de seguimiento en cuatro sitios en el campo (dos en Colombia, dos en Brasil) donde se sembraron poblaciones de mejoramiento avanzado y genotipos seleccionados de *Stylosanthes*. Se hizo un seguimiento del avance de la enfermedad en los diferentes genotipos hospedantes, y se llevó un registro de datos climáticos (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Datos sobre la severidad de la antracnosis<sup>1</sup> en plantas de *S. guianensis* cerca de la estación meteorológica (CPAC/1994)<sup>2</sup>.

Accesiones	Meses									
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
cv. Mineirão	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.5	0.6	0.4	0.5	0.3
cv. Bandeirante	1.0	0.6	0.5	0.8	0.3	0.8	1.2	2.0	2.0	1.5
BRA 038625	1.1	1.1	1.0	1.9	2.0	2.0	2.2	2.8	2.8	3.2
BRA 036455	4.2	4.7	2.0	1.6	1.2	1.0	0.5	2.0	1.6	1.8
BRA 037907	2.8	6.0	5.5	6.2	3.9	4.0	3.7	4.0	3.7	4.2
BRA 038041	5.8	6.4	4.6	2.4	5.4	4.1	3.7	3.8	seco	seco

1. Con base en una escala de clasificación de la enfermedad foliar de 0 a 9.
2. Con la colaboración del Dr. María José Charchar, CPAC/EMBRAPA.

### Actividad propuesta para 1995

- Continuar con el seguimiento del avance de la enfermedad, junto con la recolección de los datos climáticos en los cuatro sitios.

### 6. Estudiar el rendimiento de la semilla y la persistencia de las plantas

#### Avances en 1994

Se han desarrollado poblaciones avanzadas de *S. guianensis* de alto rendimiento de semilla a través de varios ciclos de selección (Cuadro 3). Sin embargo, no hay información sobre el rendimiento de semilla bajo pastoreo y, especialmente, sobre la semilla que esta especie acumula como reserva en el suelo.

La baja persistencia puede deberse a la corta vida de las plantas de primera generación, a la falta de producción de semilla bajo pastoreo y/o a la incapacidad de *Stylosanthes* de restablecerse, en pasturas de gramíneas maduras, a partir de las reservas de semilla en el suelo debido al bajo vigor de las plántulas.

**Cuadro 3.** Rendimiento de la semilla de los genotipos de *Stylosanthes guianensis* en un ensayo de parcela en surcos.

Introducción (ID)	Rendimiento media de semilla limpia (g/parcela)	N
FM-103	0.23 (0.09)*	4
FM-104	0.26 (0.13)	4
FM0186/06	1.03 (0.16)	4
FM9205/04	9.36 (0.76)	4
FM-23	9.54 (0.00)	1
FM9205/05	13.63 (1.40)	4
FM9205/06	18.55 (2.31)	3
LINEA 41	19.43 (2.12)	4
FM-20	22.93 (3.20)	4
LINEA 44	23.57 (3.16)	3
FM9205/03	34.95 (6.02)	4
FM9205/02	37.98 (4.19)	4

\* Los números entre paréntesis corresponden al error estándar.

En 1994 se iniciaron dos experimentos para estudiar aspectos de la persistencia bajo pastoreo. En uno de ellos, se sembró la semilla de varias líneas de *Stylosanthes* y de otras leguminosas en pasturas viejas de diferentes especies de gramíneas sometidas a pastoreo continuo. Cada mes se midieron el establecimiento y la supervivencia de las plantas. La germinación fue muy variable entre los sitios sembrados de gramíneas, pero hubo una alta supervivencia de las plántulas durante los seis meses de la época húmeda, excepto en *B. decumbens*.

**Cuadro 4.** Supervivencia de las plántulas de especies de *Stylosanthes* sembradas en diferentes gramíneas (plantas/m<sup>2</sup>).

Especies	<i>B. dictyoneura</i>		<i>B. decumbens</i>		<i>A. gayanus</i>	
	Julio	Dic.	Julio	Dic.	Julio	Dic.
<i>S. guianensis</i> L1	140	45	26	3	65	27
<i>S. guianensis</i> L2	148	93	22	9	67	25
<i>S. capitata</i>	75	24	18	3	46	31

El segundo experimento estudió el efecto de la gramínea asociada y los nutrimentos en la persistencia de *S. capitata* y de otras tres leguminosas en un suelo arenoso, donde antes, todas las leguminosas con *B. dictyoneura* habían presentado una persistencia pobre, pero donde la persistencia de *S. capitata* con *B. decumbens* fue buena. En ese experimento se están colocando etiquetas a las plantas y se está midiendo la producción de semilla bajo pastoreo.

#### Actividad propuesta para 1995

- Continuar los experimentos establecidos en 1994.

### **7. Antibiótico que codifique la clonación de los genes y protocolos de transformación de las plantas**

#### Avances en 1994

Se ha clonado un fragmento de ADN del tamaño de 6 Kb, con actividad antifúngica/antibacteriana, en un vector 'pBluecript' de una bacteria aislada de semillas de *Stylosanthes*.

Se establecieron los protocolos de regeneración de la planta para *Stylosanthes* y otras leguminosas forrajeras tropicales importantes.

#### Actividades propuestas para 1995

- Desarrollar plantas transgénicas, utilizando un gene extraño —o varios— incluyendo una proteína que inactiva el ribosoma (RIP) de cebada.

### **8. Identificar nuevas enfermedades**

#### Avances en 1994

En Brasil y en Colombia se ha observado frecuentemente una enfermedad problemática sobre la cual se conoce poco: la muerte descendente. Esta arrasa las

plantas de *Stylosanthes*. Se completó el postulado de Koch para relacionar la causa de esta desconocida y severa enfermedad en *Stylosanthes* con un hongo en cultivo puro.

Actividad propuesta para 1995

- Investigar la identidad exacta del hongo.



**Título: Proyecto FS01  
ESPECIES FORRAJERAS CON ALTO VALOR NUTRITIVO**

### **Justificación**

Las plantas forrajeras tienen usos múltiples (i.e., como fuente de alimento, para mejorar el suelo, para controlar la erosión) en los sistemas de producción agropecuaria del trópico. Sin embargo, la adopción de nuevas especies forrajeras por los productores está determinada, en gran medida, por su efecto benéfico en la producción animal (i.e., ganancia de peso, producción de leche). Como consecuencia, es necesario caracterizar las nuevas especies forrajeras según los factores de calidad y anti-calidad (i.e., taninos) que posean.

Algunas leguminosas herbáceas y arbustivas tienen altos niveles de taninos condensados, pero no se ha definido claramente el efecto de éstos en la nutrición animal respecto a las especies tropicales. Para desarrollar métodos de selección por la presencia de taninos en leguminosas tropicales, es necesario conocer mejor su efecto en el consumo, la digestibilidad y la utilización de la proteína por los rumiantes. Se debe evaluar también el efecto que tienen los factores ambientales en la calidad del forraje cuando se evalúen nuevas especies forrajeras.

Los resultados de este proyecto ayudarán a definir "nichos" ecológicos así como la contribución potencial de nuevas especies forrajeras en diversos sistemas de producción animal del trópico.

### **Objetivo**

Determinar el valor nutritivo y el potencial forrajero de nuevas especies de gramíneas y leguminosas seleccionadas para suelos ácidos en zonas subhúmedas y húmedas del trópico.

**Coordinador del proyecto:** C. E. Lascano

### **Actividades principales:**

1. Métodos de selección de leguminosas forrajeras por presencia de taninos y de otros polifenoles.
2. Conocimiento sobre el efecto del ambiente en el valor nutritivo de especies forrajeras seleccionadas.

3. Ecotipos de especies forrajeras con alto potencial para aumentar la producción animal.

### 1. Métodos de selección por presencia de taninos y otros polifenoles

#### Avances en 1994

La caracterización de un gran número de accesiones de diferentes especies de leguminosas arbustivas mostró grandes diferencias, tanto entre las especies como dentro de ellas, en el contenido de proteína, digestibilidad in vitro y nivel de taninos condensados. Accesiones de *Desmodium velutinum* y *Cratylia argentea* mostraron niveles aceptables de digestibilidad, que se relacionaron con la ausencia de taninos. Otras especies de leguminosas arbustivas (*Codariocalyx gyroides*, *Dendrodolobium* spp., *Flemingia macrophylla* y *Tadehagi* spp.) presentaron una baja digestibilidad, que se asoció parcialmente ( $r = -0.4$  a  $-0.8$ ) con el nivel de taninos condensados. Por tanto, la baja digestibilidad de algunas leguminosas arbustivas no sólo se debe a la presencia de taninos condensados, sino posiblemente a otros polifenoles no astringentes que se encuentran asociados con la pared celular.

En la caracterización del valor nutritivo de algunas leguminosas arbustivas se encontró que la actividad biológica de los taninos (i.e., su capacidad de reaccionar con proteínas) se correlacionó más con el tipo de taninos (i.e., peso molecular) que con el nivel de los mismos. Se encontró también que el método de procesamiento de las muestras afectó la distribución de los taninos en la planta (i.e., solubles o ligados a proteína y fibra). La liofilización de las muestras de forraje fue el mejor método de secado.

Se estudió el efecto de diferentes niveles de taninos en el consumo y la utilización del nitrógeno en rumiantes —en este caso, ovinos— alimentados con *Desmodium ovalifolium* que se había tratado con diferentes niveles de polietileno-glicol (PEG), cual liga taninos solubles. Cuando el nivel de taninos en la MS de la leguminosa se redujo de 5% a 2%, el consumo voluntario aumentó (21%), los niveles de amonio ruminal se incrementaron, y la eficiencia de utilización de la proteína consumida fue mayor. Sin embargo, un efecto benéfico de los taninos fue disminuir la degradación de las proteínas en el rumen, lo cual resultó en proteína sobrepasante al intestino delgado. Este efecto se confirmó en estudios posteriores en los cuales se suministró a ovinos leguminosas con taninos (*F. macrophylla*) y sin taninos (*C. argentea*), solas y en mezcla. La mezcla de leguminosas (2% de taninos en la dieta) incrementó el flujo de nitrógeno al duodeno en 20% en comparación con la leguminosa sola (sin taninos), aunque la digestibilidad disminuyó con la mezcla de leguminosas. Parece ser que bajos niveles (1%-2%) de taninos en leguminosas tropicales ayudarían a proteger la proteína ruminal sin afectar el nivel de consumo voluntario de forraje. El suministro de mezclas de leguminosas tropicales es una

manera práctica de diluir los taninos, pero se debe prestar atención a los niveles de digestibilidad de las leguminosas que se utilicen en la mezcla.

En general, los resultados obtenidos hasta la fecha indican que en el desarrollo de métodos de selección de leguminosas tropicales con taninos se deben tener en cuenta los siguientes factores: 1) método de secado, 2) nivel y tipo de taninos presentes, y 3) polifenoles no astringentes asociados con la degradabilidad de la pared celular.

#### Actividades propuestas para 1995

- Resumir e interpretar los resultados de un ensayo diseñado para medir el efecto del nivel de taninos de leguminosas contrastantes (*D. ovalifolium* y *F. macrophylla*) en el consumo voluntario y en la eficiencia de uso del nitrógeno por ovinos (tesis de maestría).
- Ajustar un método de laboratorio para separar el efecto de los taninos en la degradación de proteína de su efecto en la digestibilidad de fibra, en leguminosas tropicales.
- Dar seguimiento a un proyecto sometido a consideración de ODA, para estudiar, junto con científicos del Reino Unido (IGER), la estructura química de los taninos y las características y la degradación de la pared celular en *D. ovalifolium*.

## **2. Conocimiento del efecto del ambiente en la calidad nutritiva de especies forrajeras seleccionadas**

### Avances en 1994

En colaboración con el fitomejorador del Programa de Forrajes Tropicales, se evaluó la digestibilidad in vitro de 20 genotipos de *Brachiaria* spp. sembrados en tres sitios de Colombia, de suelos y climas que contrastaban entre sí (Palmira, Quilichao y Carimagua). Los resultados mostraron que la varianza en digestibilidad debida al genotipo de *Brachiaria* fue cuatro veces mayor que la varianza asociada con la interacción genotipo x ambiente. La estabilidad de la digestibilidad a través de los ambientes, junto con la alta variabilidad de este atributo entre accesiones de una misma especie, sugieren que factible seleccionar genotipos de *B. decumbens* y *B. brizantha* por mayor calidad nutritiva.

Estudios con leguminosas de clima templado han demostrado que el nivel de taninos aumenta cuando hay deficiencias de nutrientes en el suelo, pero disminuye en condiciones de estrés hídrico. Estos efectos ambientales en los

taninos no han sido debidamente cuantificados en las leguminosas tropicales. Por lo tanto, en 1994 se diseñó un experimento multilocacional (en zonas de ladera del Cauca, en la región cafetera, en Florencia y en los Llanos Orientales) para medir el efecto de la interacción genotipo x ambiente en la productividad, la calidad y la aceptabilidad de *D. ovalifolium* por el ganado. Para el experimento se seleccionaron 20 ecotipos de *D. ovalifolium* tomando como criterios su origen y algunos atributos agronómicos; estos ecotipos se incluyeron en un programa de multiplicación de semilla. El ensayo, financiado por BMZ-Alemania, se iniciará en 1995 y formará parte de una tesis de doctorado (estudiante alemán) y de una tesis de maestría (estudiante colombiano).

#### Actividades propuestas para 1995

- Establecer ensayo multilocacional con genotipos de *D. ovalifolium* e iniciar mediciones.
- Medir la calidad nutritiva de genotipos de *Arachis pintoi* sembrados en diferentes ambientes de Colombia (Florencia, Llanos Orientales, Cauca).

### **3. Ecotipos de especies forrajeras de valor nutritivo y potencial para la producción animal altos**

#### Avances en 1994

En la estación de CIAT-Quilichao se está midiendo la producción de leche en pasturas de gramínea (*B. dictyoneura*) sola y asociada con un híbrido de *Stylosanthes guianensis* que fue seleccionado por su resistencia a la antracnosis y por mayor producción de semilla. En el ensayo se incluyó también una asociación de la gramínea con *C. macrocarpum* (CIAT 5713) como testigo positivo. La producción de leche en los primeros ciclos de pastoreo (ver cuadro) aumentó significativamente cuando las vacas pastaron pasturas asociadas, particularmente con *S. guianensis*. Sin embargo, la respuesta en producción de leche fue mayor en vacas de mediano potencial de producción de leche (sangre Holstein) en comparación con vacas cruzadas de menor potencial de producción de leche. Estos resultados confirman hallazgos anteriores y sugieren que el aumento en la producción de leche en pasturas comerciales a base de leguminosas estará determinado, en alguna medida, por el potencial genético de las vacas.

En CIAT-Quilichao se establecieron dos ecotipos de *P. maximum* solos y en asociación con leguminosas, para medir la producción de leche. Estos ecotipos habían sido seleccionados en Carimagua por su adaptación a suelos ácidos y se incluyeron además en un ensayo de pastoreo colaborativo con CORPOICA en Carimagua en el que se va a medir la ganancia de peso. El establecimiento de *P.*

*maximum* fue exitoso en Quilichao, pero no en Carimagua, por razones que no se han esclarecido plenamente.

En la estación CIAT-Quilichao, vacas que pastoreaban *B. dictyoneura* recibieron como suplemento la leguminosa arbustiva *Cratylia argentea*, en las épocas lluviosa y seca. La producción de leche aumentó ligeramente en ambas estaciones (8% y 13%, respectivamente). La suplementación con *C. argentea* podría tener mayor efecto en la producción de leche en pasturas con menor cantidad y calidad de forraje en comparación con las pasturas que se utilizaron en nuestros estudios.

**Producción de leche de vacas en pasturas de gramínea pura y asociada con leguminosas (datos inéditos)**

Pasturas*	Producción de leche (kg/UA por día)	
	Vacas cruzadas*	Vacas Holstein*
<i>B. dictyoneura</i>	4.8	4.9
<i>B. dictyoneura</i> + <i>C. macrocarpum</i>	5.5	7.0
<i>B. dictyoneura</i> + <i>S. guianensis</i> (híbrido)	6.1	7.9
Diferencia (%)	14-27	43-61
DMS (P<0.05)		0.8
ESM (N=3)		0.2

\* Interacción pastura x vaca (P < 0.05)

**Actividades propuestas para 1995**

- Iniciar la evaluación de *P. maximum* seleccionado para suelos ácidos, solo y en asociación con leguminosas, empleando vacas lecheras (Quilichao).
- Resembrar ecotipos de *P. maximum* en un ensayo de pastoreo en Carimagua.
- Medir el efecto de la suplementación con *C. argentea* en la producción de leche de vacas en pasturas con diferente disponibilidad de forraje.
- Colaborar en un ensayo de pastoreo en la estación de IVITA, en Pucallpa,

- Perú, para evaluar el efecto de *A. pintoii* en producción de leche.
- Evaluar el efecto de mezclas de leguminosas con y sin taninos y con digestibilidad contrastante en el consumo de gramíneas de baja calidad por ovinos.
  - Evaluar el efecto de diferentes niveles de suplementación de *C. argentea* en el consumo y la digestibilidad de ovinos alimentados con una gramínea de baja calidad (tesis de pre-grado).



**Título: Proyecto FS02**  
**ATRIBUTOS DE ADAPTACIÓN DE ESPECIES FORRAJERAS A SUELOS**  
**INFÉRTILES**

**Justificación**

El uso de especies forrajeras adaptadas a suelos de baja fertilidad es una de las formas más efectivas de manejar estos suelos. El avance ininterrumpido en la selección y el mejoramiento genético de especies forrajeras dependerá del desarrollo de técnicas rápidas y confiables que faciliten la selección de grandes números de genotipos por su tolerancia a los suelos ácidos de baja fertilidad. El escaso suministro de nutrimentos es una de las principales limitaciones de la adaptación y producción de especies forrajeras en los suelos ácidos del trópico. Las plantas adaptadas tienen atributos que están ligados a las formas de adquirir esos nutrimentos en un ambiente de pH bajo y de Al alto. Es esencial conocer esas formas para desarrollar procedimientos de selección más eficientes.

El uso de germoplasma forrajero adaptado reduce la cantidad requerida de fertilizante, pero no elimina la necesidad de aplicar fertilizantes. Estudios anteriores indicaron que en suelo infértil las leguminosas forrajeras adaptadas absorben mayor cantidad de P y de Ca, por unidad de longitud de la raíz, que las gramíneas. Estas últimas tienen mayor capacidad de utilizar el N, el P y el Ca adquiridos por la planta, en términos de materia seca producida por unidad de nutrimento absorbido. Se debe estudiar el grado de variación entre las especies y dentro de ellas en relación con la satisfacción de los requerimientos de nutrimentos minerales de los rumiantes. Si se conoce no sólo esa variación en la calidad del forraje de las gramíneas, en condiciones de baja disponibilidad de nutrimentos, sino la relación de los parámetros de nutrición vegetal a los parámetros de nutrición animal, se facilitará la selección por calidad de forraje en el programa de mejoramiento de *Brachiaria*.

El crecimiento y la renovación de las raíces son dos componentes clave en los estudios sobre el reciclaje de nutrimentos en las pasturas y la captación y acumulación de carbono en el suelo profundo. Además de la absorción y el reciclaje de nutrimentos, los sistemas de raíces profundas pueden contribuir también a la captación y acumulación de carbono en el suelo. ¿Serán éstas las principales funciones de los extensos sistemas de raíces que poseen muchas de las gramíneas (*Brachiaria* spp.) y leguminosas (*Arachis* spp.) tropicales introducidas? Muchas de las leguminosas que se adaptan bien a los factores de estrés edáfico, climático y biótico no persisten en asociación con gramíneas vigorosas. Es necesario definir mejor los atributos de la persistencia. Se da considerable importancia al aporte de N de las leguminosas a la producción animal sostenible en asociaciones estables de gramíneas y leguminosas. Aunque gran parte del N fijado se puede relacionar con el crecimiento de la leguminosa, las condiciones ambientales y algunos

macronutrientes (por ejemplo, el Ca) y micronutrientes (por ejemplo, el Mo) pueden afectar esa fijación.

## **Objetivos**

- Identificar los atributos de la planta que confieren tolerancia a suelos de baja fertilidad y que contribuyan a una absorción y utilización eficientes de los nutrientes para así desarrollar procedimientos confiables de selección.
- Investigar el papel que desempeñan las raíces en el reciclaje de nutrientes y en la captación de carbono.
- Identificar las condiciones que conducen a asociaciones estables de gramíneas y leguminosas.

**Coordinador del proyecto:** I.M. Rao

## **Actividades principales**

1. Atributos de adaptación de las gramíneas y leguminosas a los suelos ácidos.
2. Adquisición y utilización de los nutrientes por las gramíneas y las leguminosas.
3. Procedimientos de selección para identificar genotipos que se adapten a suelos ácidos y que tengan un uso más eficiente de los nutrientes.
4. Suministro de nutrientes a las plantas y calidad del forraje.
5. Papel que desempeñan las raíces en el reciclaje de nutrientes y en la captación de carbono.
6. Asociaciones estables de gramíneas y leguminosas.

## **1. Atributos de adaptación (I.M. Rao, J. Mayer y P. Wenzl)**

### Avances en 1994

Se identificaron diferencias intergenéricas e interespecíficas entre gramíneas y leguminosas respecto a los atributos de los brotes y las raíces —por ejemplo, relación raíz:brote, relación hoja:tallo, y área foliar específica— cuando éstas crecen en suelos de textura contrastante, con la aplicación de niveles altos y bajos de fertilización.

En 1994 se realizó un ensayo de invernadero para determinar las diferencias ecotípicas en los atributos de los brotes y las raíces de 15 ecotipos de cinco especies de *Brachiaria*, cultivadas en un Oxisol francoarenoso con diferentes niveles de aplicación de fertilizantes. Se encontraron diferencias ecotípicas

biomasa de los brotes varió de 5 a 10 g por maceta, mientras que la producción del área foliar varió de 100 a 450 cm<sup>2</sup> por maceta.

#### Actividades propuestas para 1995

- Realizar un ensayo de invernadero para determinar las diferencias ecotípicas en los atributos de los brotes y las raíces de 24 ecotipos de las especies *Arachis*, *Stylosanthes* y *Centrosema*, cultivadas en un Oxisol francoarcilloso con diferentes niveles de fertilización.
- Continuar el trabajo de tesis de posgrado sobre los mecanismos bioquímicos y moleculares de tolerancia al estrés por aluminio y a la baja disponibilidad de nutrimentos en especies de *Brachiaria* (P. Wenzl).

**Cuadro 1.** Diferencias ecotípicas en la tolerancia a la baja fertilidad del suelo de cinco especies de *Brachiaria* (15 ecotipos), cultivadas en un suelo francoarenoso de Carimagua.

Especies	Producción de biomasa en los brotes (g/maceta)	Producción de área foliar (cm <sup>2</sup> /maceta)
<i>B. decumbens</i>	4.8-8.7	187-362
<i>B. brizantha</i>	7.9-10.5	208-452
<i>B. ruziziensis</i>	6.5-8.4	250-334
<i>B. humidicola</i>	7.3-10.5	136-220
<i>B. dictyoneura</i>	7.1-8.3	99-234

## **2. Absorción y utilización de nutrimentos** (I. Rao, H. Marschner y K. Häussler)

### Avances en 1994

Se observaron las diferencias intergenéricas e interespecíficas entre gramíneas y leguminosas en la absorción y utilización de N, P y Ca, cuando éstas crecieron en dos Oxisoles de textura contrastante, con niveles altos y bajos de aplicación de fertilizantes. Todavía no se ha determinado la variación ecotípica dentro de cada especie.

Se realizó un ensayo de invernadero para evaluar las diferencias ecotípicas en la adquisición y utilización de N en 18 ecotipos de seis especies de *Brachiaria*, cultivadas en un Oxisol francoarenoso con cuatro niveles diferentes de suministro de N en el suelo.

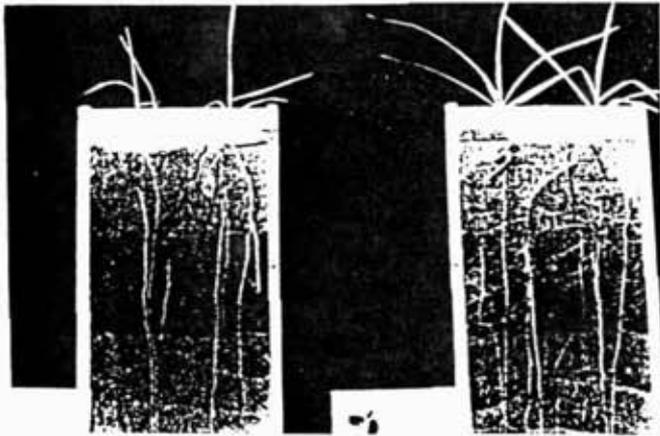
En otro estudio de invernadero, se determinaron las diferencias ecotípicas en la adquisición y utilización de P por 24 ecotipos de las especies *Arachis*, *Stylosanthes* y *Centrosema*, cuando éstas crecieron en un Oxisol francoarcilloso con cuatro niveles de fertilización con P.

Utilizando la técnica mini-rizotróf, se demostró que las diferencias interespecíficas en la absorción de Ca de las especies de *Brachiaria* se deben a diferencias en la ramificación de las raíces y no a la longitud de la raíz (Foto 1). La adquisición de Ca fue mucho mayor en *B. ruziziensis* que en *B. dictyoneura* (K. Häussler).

En la Universidad de Hohenheim, Alemania, se están estudiando las diferencias en la exudación radical de ácidos orgánicos por la raíz de las leguminosas cuando éstas se cultivan con un bajo suministro de P (K. Häussler).

#### Actividades propuestas para 1995

- Realizar un ensayo de invernadero para determinar las diferencias ecotípicas en la adquisición y utilización de P en 18 ecotipos de seis especies de *Brachiaria*, cultivados en un Oxisol francoarcilloso, suministrando cuatro niveles de P al suelo.
- Identificar las diferencias ecotípicas en la adquisición y utilización de N en especies de *Brachiaria*.
- Determinar las diferencias ecotípicas en la adquisición y utilización de N, P, y Ca en *Arachis pintoii* en un experimento de campo que se estableció en Carimagua en 1994.



A



B

- Foto 1.** A. Crecimiento y desarrollo de las raíces de dos especies de *Brachiaria*, *B. ruziziensis* (a la derecha) y *B. dictyoneura* (a la izquierda), cultivadas en un Oxisol en Carimagua.
- B. Sistema radical de *B. ruziziensis* que presenta una ramificación extensa y mayor número de ápices radicales.

### 3. Procedimientos de selección (I. Rao y J. Miles)

#### Avances en 1994

Se evaluó la utilidad de varios atributos de la planta, como la proteína soluble en las hojas, el N foliar específico (el N foliar por unidad de área foliar) y la producción de área foliar, como índices de selección para evaluar la adaptación edáfica de recombinantes genéticos de *Brachiaria*. Partiendo de dos atributos de la planta —el N foliar específico y la producción de área foliar— se han identificado varios recombinantes genéticos que son superiores a sus progenitores en términos de adquisición de N (Cuadro 2).

#### Actividades propuestas para 1995

- Determinar la utilidad de varios caracteres putativos (como área foliar específica, N foliar específico, absorción total de N en las hojas, producción de área foliar y fluorescencia de la clorofila foliar) en la evaluación de la adaptación a suelos ácidos de los recombinantes genéticos de *Brachiaria* y de ecotipos de especies de *Arachis*, en condiciones de campo en Carimagua.

#### 4. Suministro de nutrimentos a las plantas y calidad del forraje (I. Rao y C. Lascano)

##### Avances en 1994

En 1994 se realizó un ensayo de invernadero para estudiar la relación entre el suministro de los nutrimentos del suelo y la calidad del forraje en 15 ecotipos de cinco especies de *Brachiaria*. Cuando el suministro de nutrimentos es bajo, la variación ecotípica para la digestibilidad in vitro de la materia seca varió de 62% a 78% en las hojas y de 46% a 60% en las raíces.

**Cuadro 2.** Diferencias en la producción de área foliar y en el N foliar específico entre los progenitores y los recombinantes genéticos de *Brachiaria* que crecen en un suelo francoarenoso de Carimagua.

Progenitores o recombinantes	Area foliar (cm <sup>2</sup> /maceta)	N foliar específico (mg/m <sup>2</sup> )
<b>Progenitores</b>		
<i>B. decumbens</i> cv. Basilisk	327	427
<i>B. brizantha</i> cv. Marandú	226	383
<i>B. brizantha</i> cv. La Libertad	174	764
<i>B. ruziziensis</i> cv. común	152	1013
<b>Recombinantes genéticos</b>		
	358	658
FM9302/1874	352	698
FM9302/1375	84	1045
FM9302/2547	254	979
FM9302/1375	242	601
Media (57 genotipos)*		

\* 53 recombinantes genéticos y 4 progenitores.

En 1994 se realizó otro ensayo de invernadero para estudiar la relación entre el suministro de N del suelo y la calidad del forraje en 18 ecotipos de seis especies de *Brachiaria*. Cuando no se aplicó N, la variación ecotípica para la digestibilidad in vitro de la materia seca varió de 57% a 78% en las hojas y de 46% a 68% en las raíces.

#### Actividades propuestas para 1995

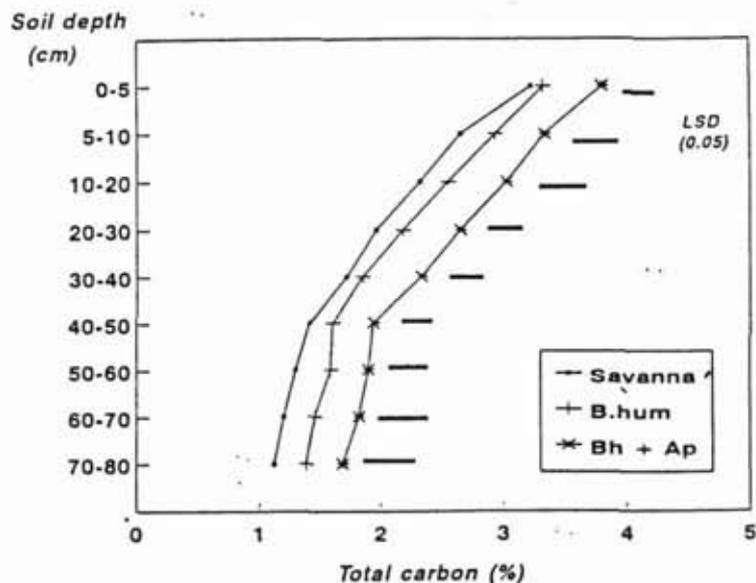
- Establecer un ensayo de campo en un Oxisol francoarenoso en Carimagua, con niveles altas y bajas de aplicación de fertilizantes, para determinar las diferencias genotípicas en la calidad del forraje y en los atributos nutricionales de la planta de ecotipos y de recombinantes genéticos de *Brachiaria*.
- Evaluar las relaciones entre el estado nutricional de la planta y los parámetros de calidad del forraje.

#### **5. Papel que desempeña la raíz en el reciclaje de nutrimentos y en la captación de carbono atmosférico (I. Rao y M. Fisher)**

##### Avances en 1994

En la estación de investigación en Carimagua, en los Llanos Orientales de Colombia, se estimó durante tres años (tres veces durante la época de cultivo) la producción de biomasa de las raíces en las pasturas mejoradas de una gramínea sola (*Brachiaria dictyoneura*) y de una pastura de gramínea y leguminosa (*Brachiaria dictyoneura* y *Centrosema acutifolium*) bajo pastoreo, en comparación con la sabana nativa. La producción promedio de biomasa de las raíces de las pasturas de gramínea sola fue cerca de 6.2 t/ha, en comparación con 3.9 t/ha en las pasturas de gramínea y leguminosa. A diferencia de las pasturas mejoradas, la producción promedio de biomasa de las raíces de la sabana nativa fue de sólo 1.8 t/ha.

En colaboración con el Programa de Trópico Bajo, se estimó en Carimagua la captación y acumulación de carbono en el suelo a profundidades de 0 a 80 cm por las pasturas mejoradas, en comparación con la sabana nativa (Figura 1). Las pasturas de larga duración (9 años de edad) de *Brachiaria humidicola* sola, con buen manejo, captaron 25 t/ha de carbono más que las pasturas vecinas de sabana nativa. La inclusión de un componente de leguminosa (*Arachis pintoii*) durante cinco años aumentó notablemente la cantidad de carbono captado en el suelo, casi triplicando la cantidad (75 t/ha más que la sabana nativa). Estos resultados indican que la pastura introducida de gramíneas y leguminosas no sólo contribuye a mejorar la producción animal sino también a moderar el incremento de dióxido de carbono atmosférico, reduciendo así el calentamiento de la tierra.



**Figura 1.** Distribución del carbono orgánico en el suelo, según la profundidad, en pasturas mejoradas de gramínea sola (*Brachiaria humidicola*, Bh) y de Bh y *Arachis pintoi*, en comparación con la sabana nativa, en un Oxisol francoarcilloso de Carimagua.

#### Actividades propuestas para 1995

- Determinar la renovación de las raíces en las pasturas mejoradas, y compararla con la renovación en la sabana nativa en Carimagua.

#### **6. Asociaciones estables de gramíneas y leguminosas** (P. Kerridge, R. Thomas, I. Rao y Y. Saito)

##### Avances en 1994

Se estableció un experimento de campo en Carimagua para estudiar el efecto de los nutrientes y de las gramíneas asociadas en la persistencia de cuatro leguminosas forrajeras. Aún no hay datos disponibles.

La determinación de la absorción de nutrientes por los brotes (N, P, K y Ca), en asociaciones estables de gramínea y leguminosa de *Brachiaria decumbens/Pueraria phaseoloides* (13 años de pastoreo) y de *Brachiaria humidicola/Arachis pintoi* (6 años de pastoreo), indicó que la introducción de las leguminosas no sólo mejora el

suministro de N mediante la fijación biológica de N, sino que contribuye también a una mayor absorción de Ca en los suelos ácidos de baja fertilidad (Cuadro 3).

La fijación de N se midió durante tres años consecutivos en condiciones de campo (Carimagua) en las leguminosas forrajeras *Arachis pintoii*, *Centrosema acutifolium* y *Stylosanthes capitata*, cultivadas en asociación con *Brachiaria dictyoneura*. Se aplicaron dos niveles de fertilización inicial en dos tipos de suelo contrastantes (francoarcilloso y francoarenoso). Los resultados indicaron que la fertilidad afectó principalmente la población de la leguminosa, y no la fijación de N por unidad de biomasa. Por tanto, se puede estimar la cantidad de N fijado por las leguminosas forrajeras tropicales a partir de una medición de la biomasa de la leguminosa en la pastura (R. Thomas).

**Cuadro 3.** Diferencias en la absorción de nutrientes por los brotes en asociaciones estables de gramíneas y leguminosas en un Oxisol francoarcilloso en Carimagua.

Pastura	Nutrientes (kg/ha)			
	N	P	K	Ca
<i>B. decumbens</i> (Bd)	23	2.2	27	6
Bd/ <i>P. phaseoloides</i>	40	2.5	18	16
<i>B. humidicola</i> (Bh)	33	6.2	58	6
<i>A. pintoii</i> /Bh	76	7.0	69	14

#### Actividades propuestas para 1995

- Continuar los experimentos de campo para evaluar la persistencia de las leguminosas en las pasturas.
- Establecer un experimento de campo con asociaciones de gramíneas y leguminosas que contrasten entre sí para evaluar los atributos de la raíz y de los brotes que contribuyan a una mayor adquisición de nutrientes y a una mejor persistencia de la leguminosa en los suelos ácidos de baja fertilidad.



**Título: Proyecto FS03**  
**COMPONENTES FORRAJEROS DE RECONOCIDO DESEMPEÑO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA**

**Justificación**

Las especies forrajeras se utilizan en diversos sistemas de producción agrícola. Por tanto, para desarrollar nuevas especies forrajeras, es necesario medir su desempeño en los sistemas de producción que se quieran intervenir, utilizando métodos participativos.

Para aumentar la adopción de nuevos cultivares de especies forrajeras, se deben desarrollar tanto la multiplicación como los sistemas de distribución de semilla. Las nuevas especies forrajeras deben también producir un impacto económico en los campos de los agricultores.

Los resultados de este proyecto contribuirán a la liberación de nuevos componentes de germoplasma forrajero que se usarán en diferentes sistemas agrícolas del trópico.

**Objetivos**

Evaluar el impacto de componentes forrajeros en la productividad, el ambiente y factores socioeconómicos de diferentes sistemas de producción agropecuaria en el trópico.

**Coordinadores del proyecto:** C.E. Lascano (CIAT-Palmira) y  
W. Stur (Sudeste Asiático)

**Actividades principales**

1. Leguminosas arbustivas para suelos ácidos infértiles
2. Leguminosas para el mejoramiento de rastrojos
3. Asociaciones de gramíneas y leguminosas para tierras bajas
4. Asociaciones de gramíneas y leguminosa para sistemas agropastoriles
5. Especies forrajeras para cobertura del suelo y control de la erosión y de las malezas
6. Especies forrajeras para sistemas de pequeños productores en el sudeste asiático
7. Sistemas de suministro de semillas para cultivares comerciales
8. Estudios socioeconómicos sobre la adopción de nuevas especies forrajeras por los agricultores

## 1. Leguminosas arbustivas para suelos ácidos

Hay varias especies de leguminosas arbustivas bien conocidas (por ejemplo, *Leucaena* y *Gliricidia*) que no se adaptan a suelos ácidos infértiles. El Programa de Forrajes Tropicales (PFT) emprendió la tarea de seleccionar leguminosas arbustivas para suelos ácidos. Las especies que han sido seleccionadas para evaluación a nivel de la finca son *Cratylia argentea*, *Flemingia macrophylla* y *Desmodium velutinum*.

### Avances en 1994

La leguminosa arbustiva *C. argentea* se estableció en dos sitios, a 1200 y 1400 m.s.n.m., en zonas de ladera de Cauca, Colombia, para suplementar vacas lecheras. El establecimiento en ambos sitios ha sido lento, probablemente a causa de la combinación de temperatura baja y sequía.

Con CORPOICA se preparó una propuesta de proyecto colaborativo sobre sistemas agroforestales para el piedemonte amazónico en Caquetá, Colombia. El proyecto se presentó al Fondo Nacional del Ganado e incluye introducción y evaluación en pasturas degradadas a nivel de finca de leguminosas arbustivas (CIAT) y árboles nativos de uso múltiple (CORPOICA).

### Actividades propuestas para 1995

- Iniciar la suplementación, a nivel de finca, de ganado de leche con *C. argentea* en zonas de ladera del Cauca.
- Seleccionar fincas en zonas de ladera de América Central para establecer bancos de proteína de *C. argentea* y *D. velutinum* en con el fin de suplementar ganado de leche durante la época seca.
- Evaluar la calidad forrajera de leguminosas arbóreas menos conocidas (por ejemplo, *Senna*) pero adaptadas a suelos ácidos.
- Dar seguimiento al proyecto colaborativo con CORPOICA sobre agroforestería para el piedemonte amazónico colombiano.

## 2. Leguminosas para el mejoramiento del rastrojos

En las laderas existe una alta proporción de tierra en descanso y con regeneración de vegetación natural (rastrojos). La introducción de leguminosas en estos rastrojos podría tener un gran impacto en la productividad de la finca mediante el mejoramiento del suelo y el suministro de un alimento de calidad para el ganado.

#### Avances en 1994

Se estableció un experimento en zonas de ladera en el Cauca, Colombia, para determinar el efecto de la introducción en rastrojos de leguminosas en el rendimiento de un cultivo subsiguiente de maíz. Se utilizaron la leguminosa *Centrosema macrocarpum* y una mezcla de caupí y guandul. El caupí se estableció rápidamente mientras que las otras leguminosas fueron lentas y susceptibles a la competencia con las malezas. Ya se hizo la primera siembra de maíz y se puede apreciar un gran efecto de *C. macrocarpum* en el crecimiento inicial de ese cultivo.

#### Actividades propuestas para 1995

- Continuar el experimento de mejoramiento del suelo en rastrojos a nivel de la finca, en zonas de ladera del Cauca.
- Establecer un experimento a nivel de finca en rastrojos en laderas del Cauca, utilizando mezclas de leguminosas para reducir al mínimo la competencia de las malezas.
- Establecer un experimento a nivel de finca en laderas del Cauca para introducir leguminosas en el cultivo final de yuca, y reducir así las necesidades de mano de obra para establecer leguminosas en rastrojo.

### **3. Asociaciones de gramíneas y leguminosas para tierras bajas**

Las asociaciones de gramíneas y leguminosas que hayan sido seleccionadas en experimentos controlados de pastoreo deben ser evaluadas con métodos participativos en fincas con el fin de promover la adopción de nuevas especies forrajeras por los agricultores y para proporcionar retro-alimentación al grupo de desarrollo de germoplasma del PFT.

#### Avances en 1994

En las márgenes de bosque de Pucallpa, Perú los agricultores están empezando a renovar las pasturas degradadas de *B. decumbens*. El PFT suministró semilla de *Arachis pintoii* al coordinador del proyecto de INIA en Pucallpa, para introducir esta leguminosa en algunas pasturas que están siendo renovadas por los agricultores. Los investigadores del INIA harán un seguimiento a las pasturas de gramíneas y leguminosas en términos de composición botánica y rendimiento de leche.

Nestlé de Colombia dió apoyo financiero a un proyecto colaborativo CIAT, CORPOICA, U. de la Amazonía, a nivel de finca en el cual evaluará el desempeño de vacas lecheras en pasturas de *Brachiaria* spp. asociado con *A. pintoii*, en el piedemonte amazónico colombiano, Caquetá. Además, el proyecto contempla validación de prototipos de establecimiento de pasturas, actividades de capacitación de técnicos de la zona y eventos de promoción de la nueva tecnología de pasturas entre productores.

#### Actividades propuestas para 1995

- Dar seguimiento de asociaciones de gramíneas y leguminosas sembradas en Fincas en Pucallpa, Perú.
- Iniciar los trabajos de recuperación de áreas degradadas a nivel de finca en el piedemonte caqueteño.
  - Seleccionar fincas y productores
  - Establecer asociaciones de gramíneas y leguminosas
  - Ajustar métodos de establecimiento de pasturas en topografías y vegetación contrastantes.

#### **4. Asociaciones de gramíneas y leguminosas para sistemas agropastoriles**

En sistemas agropastoriles, el nivel de fertilización aplicado es considerablemente mayor que el que se emplea en sistemas de pasturas permanentes. Por tanto, es necesario evaluar el desempeño de especies forrajeras en condiciones de mayor fertilidad del suelo que se presentan como resultado de la fertilización del cultivo asociado.

#### Avances en 1994

En Carimagua, Llanos de Colombia, se sembraron seis leguminosas y una gramínea común, *Panicum maximum*, en un cultivo de maíz donde el suelo, el año anterior, había sido fertilizado y enmendado con cal para cultivar maíz. La gramínea y las leguminosas presentaron un buen establecimiento siendo la gramínea muy vigorosa por la alta fertilización asociada con el cultivo del maíz. La estabilidad de las diferentes asociaciones se evaluará, bajo pastoreo, durante los próximos tres años.

Se sembraron varios híbridos nuevos de *Stylosanthes guianensis* junto con *Brachiaria* spp. y en asociación con cultivos en Puerto López, en los llanos colombianos. Todos los híbridos se establecieron bien, y su desarrollo se evaluará durante los próximos tres años en colaboración con el Programa de Tierras Bajas Tropicales.

#### Actividades propuestas para 1995

- Establecer un experimento en Carimagua para evaluar competencia de especies contrastantes de gramíneas y leguminosas con maíz.
- Hacer un seguimiento a las asociaciones de gramíneas y leguminosas establecidas con cultivos en los llanos colombianos y en los cerrados de Brasil, en colaboración con el Programa de Tierras Bajas Tropicales.

## **5. Especies forrajeras para cobertura del suelo y control de la erosión y de las malezas**

Se acepta que las especies forrajeras no sólo sirven como fuente de alimento para rumiantes, sino también pueden contribuir a la conservación de recursos naturales, a través de reducción de pérdidas de suelo y menor uso de herbicidas para el control de malezas.

### Avances en 1994

Se establecieron ensayos en colaboración con cultivadores de banano (CORBANA) en la Costa Atlántica de Costa Rica para evaluar la contribución de *Arachis pintoi* como cultivo de cobertura en plantaciones comerciales de banano. Dos nuevas accesiones de *A. pintoi* (CIAT 18744 y CIAT 18748) demostraron una capacidad de cobertura superior a la del cultivar comercial (CIAT 17434).

En Pucallpa, Perú (márgenes de bosque), una empresa cervecera está evaluando *A. pintoi* comercial (CIAT 17434) y *Centrosema acutifolium* (CIAT 5568) como cobertura en plantaciones (por ejemplo, pejívalle, camu-camu). Se seleccionó *C. acutifolium* en vez de *A. pintoi* para plantaciones nuevas ya que ejerce un mejor control de malezas en comparación con el cultivar comercial de *A. pintoi*.

En Colombia, el PFT colabora con el Programa de Yuca del CIAT en la evaluación de especies forrajeras como cobertura del suelo y como barreras contra la erosión en zonas de ladera.

### Actividades propuestas para 1995

- Hacer un seguimiento de la evaluación que están realizando los programas del CIAT, los SNIA y diferentes grupos de agricultores del germoplasma de leguminosas del PFT como cobertura en diferentes sistemas de plantación.
- Suministrar germoplasma de leguminosas seleccionadas a los programas del CIAT, a los SNIA y a diversos grupos de agricultores para que lo evalúen como cultivo de cobertura, abono verde o para controlar la erosión.
- Establecer siembras de leguminosa en pasturas degradadas de las zonas de ladera del Cauca para evaluar mejoramiento del suelo y suministro de forraje al ganado durante la época seca.

## **6. Especies forrajeras para sistemas de pequeños productores en el sudeste asiático**

Los sistemas agrícolas en el sudeste asiático son intensivos y con poca área disponible para pastoreo abierto. Sin embargo, la población animal es alta y la demanda de productos pecuarios está creciendo muy rápidamente. Por lo tanto, es necesario desarrollar sistemas de producción ganadera sostenibles en zonas rurales de ladera donde se origina el agua para la agricultura y las poblaciones de las

zonas bajas. Un proyecto especial financiado por el ACIAR de Australia trabajará con los agricultores mediante métodos de investigación participativa para integrar especies forrajeras bien adaptadas a los sistemas agrícolas.

#### Avances en 1994

Un grupo de pequeños agricultores multiplicó especies forrajeras seleccionadas para hacer una evaluación más amplia en Indonesia, Malaysia, Filipinas y Tailandia. Las especies forrajeras que fueron seleccionadas por los agricultores son las leguminosas *Arachis pintoi*, *Stylosanthes guianensis* (CIAT 184) y accesiones de las gramíneas *A. gayanus*, *B. brizantha* y *P. atratum*. Estas especies forrajeras se evaluarán en sistemas de producción silvopastoril (coco), en sistemas de cultivo migratorio y en sistemas agrícolas permanentes.

#### Actividades propuestas para 1995

- Expandir las actividades selección y evaluación de especies forrajeras a Laos y Vietnam.
- Capacitar a técnicos colaboradores en métodos de investigación participativa.

### **7. Sistemas de suministro de semilla para cultivares comerciales**

La transferencia de nueva tecnología de forrajes depende del suministro de semilla confiable y de bajo costo. En países en desarrollo la industria semillista de especies forrajeras no está bien establecida, a excepción de Brasil en el caso de las gramíneas. Por tanto, es necesario desarrollar canales de suministro de semilla dentro de los sistemas agrícolas en que se utilizan nuevas especies de gramíneas y leguminosas.

#### Avances en 1994

En un taller internacional se revisaron los resultados de muchos años de esfuerzo en el desarrollo de sistemas nacionales de semilla de especies forrajeras con participación de los SNIA de América tropical. Las memorias de ese taller fueron publicados por el CIAT.

La investigación sobre producción y calidad de la semilla de *A. pintoi* y *B. dictyoneura* ha continuado mediante el trabajo de tesis de varios estudiantes. Sin embargo, la investigación sobre semillas de especies forrajeras en el PFT sufrió un duro golpe al eliminarse la posición de Biología de la Semilla a causa de recortes presupuestales en el CIAT.

#### Actividades propuestas para 1995

- Establecer una Unidad de Semillas interna en el PFT que permita realizar actividades de multiplicación de semilla (por ejemplo, semilla experimental) para evaluaciones de germoplasma a nivel regional y para la selección de nuevos componentes forrajeros con el Programa de Recursos Naturales del

CIAT y con los SNIA.

- Buscar fondos externos para continuar las actividades de investigación en semillas y desarrollo de sistemas de suministro de semilla.

## **8. Estudios socioeconómicos sobre la adopción de especies forrajeras nuevas por los agricultores**

En el desarrollo de componentes forrajeros, se requieren estudios socioeconómicos relacionados con las actitudes de los agricultores, la motivación hacia la adopción de tecnología nueva y el posible impacto económico de la tecnología en las fincas. Además, es necesario mantenerse informado de las tendencias globales del sector pecuario en América Latina.

### Avances en 1994

El PFT no tiene una posición de científico principal con recursos asignados para emprender por sí solo estudios socioeconómicos sobre la adopción de especies forrajeras. Sin embargo, un economista asociado inició estudios sobre la adopción temprana de *A. pinto* en la zona cafetera de Colombia. Un análisis preliminar de la información recopilada indicó que los primeros agricultores que adoptaron a *A. pinto* la están sembrando para multiplicar semilla y no para mejorar pasturas. Además, *A. pinto* está siendo promovida principalmente por la industria semillista del sector privado y por algunas asociaciones de ganaderos. Sin embargo, los agricultores se quejan de los altos costos de la semilla (US\$30.00/kg). La industria semillista de especies forrajeras de Brasil ha comenzado a multiplicar semilla de *A. pinto* y esto indudablemente hará que el precio se reduzca en un futuro cercano.

Se realizaron estudios de impacto ex-ante sobre los principales componentes forrajeros que desarrolla el PFT en la actualidad. Se continuó con el seguimiento de los precios del ganado y de los inventarios ganaderos de América tropical.

### Actividades propuestas para 1995

- Terminar el estudio sobre la adopción de *A. pinto* en la zona cafetera de Colombia.
- Buscar fondos para la posición de científico principal de tiempo completo en socioeconomía.



**Título: Proyecto FD02  
ECOTIPOS DE ESPECIES FORRAJERAS DE RECONOCIDA ADAPTACIÓN A  
MEDIO AMBIENTES DIFERENTES**

### **Justificación**

Se han logrado los adelantos más importantes en el área de mejoramiento de germoplasma de especies forrajeras tropicales mediante la explotación de la diversidad fitogenética natural entre las especies y dentro de ellas. El Programa de Forrajes Tropicales continuará sus estudios sobre especies adaptadas a los suelos ácidos e infértiles, y a los ambientes con alta incidencia de las enfermedades y plagas que se presentan en los trópicos húmedo y subhúmedo. El Programa se ha fortalecido con el establecimiento de una gran colección *ex situ* de leguminosas y gramíneas, que se ha evaluado, en gran parte, en condiciones de campo. Se han identificado géneros clave en esa colección, y se ha abierto un portafolio de opciones de germoplasma forrajero para las sabanas (Llanos y Cerrados) de América tropical húmeda y subhúmeda.

Este proyecto comprende la identificación de germoplasma forrajero para diferentes ambientes, su multiplicación para una evaluación más extensa, y el desarrollo de una base de datos integrada que contenga información sobre las características de las plantas y sobre el uso de la tierra.

Tradicionalmente, el Programa ha seleccionado germoplasma para mejorar pasturas persistentes en las tierras bajas del trópico. Se ha dado énfasis a nuevas áreas de germoplasma para los siguientes fines: 1) rotaciones de cultivos y pasturas en las sabanas; 2) múltiples propósitos en áreas de ladera con altitudes intermedias; 3) árboles y arbustos de múltiples propósitos (MPTS).

De 1986 a 1991 se evaluó el germoplasma de leguminosas y gramíneas forrajeras respecto a su adaptación a diferentes ambientes en el sitio principal de selección del entonces Programa de Pasturas Tropicales en Pucallpa, Perú. En 1992, esas actividades fueron transferidas a Caquetá, Colombia. En los ensayos de evaluación se incluyó germoplasma nuevo, especialmente de leguminosas arbustivas. Esos materiales ofrecen una opción para mejorar pasturas en las tierras bajas del trópico húmedo.

La nueva tecnología de sistemas de cultivos y pasturas requiere de especies de cobertura que puedan servir en las rotaciones de corta duración después de que el cultivo se haya cosechado, y que puedan aprovechar la fertilidad más alta de la mayoría de los sistemas de cultivos. Se buscan leguminosas que sean capaces de establecerse junto con el cultivo pero sin competir con él. Se piensa de que en evaluaciones anteriores se descartaron algunas leguminosas con potencial para

sistemas de cultivos y pasturas que habían sido evaluadas respecto a su adaptación solamente en suelos de baja fertilidad de Carimagua y para persistencia de largo plazo. Por tanto, es posible que se tengan que evaluar nuevamente algunas especies respecto a su adaptación a condiciones de mayor fertilidad.

En los últimos años se ha identificado nuevo germoplasma con potencial para uso en sistemas de producción, y se compiló una lista en el Informe Bienal 1992-1993. Algunos de estos materiales está siendo incrementado aún con el propósito de disponer de suficiente semilla para realizar una distribución más amplia para ensayos en varias localidades.

**Coordinadora del proyecto:** B.L. Maass

## **Objetivo**

Identificar ecotipos de especies forrajeras adaptadas a las condiciones de clima y suelo de los trópicos húmedo y subhúmedo y que sean resistentes a plagas y enfermedades, con un alto valor nutritivo como forraje y con potencial para mejorar el suelo.

## **Actividades principales**

1. Forrajes para las sabanas y los ambientes de época seca
2. Forrajes para las laderas de altitud intermedia
3. Forrajes para las tierras bajas del trópico húmedo
4. Forrajes para los sistemas de cultivos y pasturas
5. Forrajes con valor nutritivo alto
6. Multiplicación de semilla
7. Sistemas de información sobre la adaptación de especies

### **1. Forrajes para las áreas de sabana y los ambientes de época seca**

#### Avances en 1994

En 1993, se establecieron dos colecciones de leguminosas herbáceas en Carimagua para evaluarlas respecto a su adaptación al medio ambiente: una incluía cerca de 380 accesiones de *Galactia striata* y la otra cerca de 80 accesiones de *Chamaecrista rotundifolia* (syn. *Cassia rotundifolia*). Ambas colecciones muestran un amplio rango de variación con respecto a sus características morfológicas y a su adaptación general; sin embargo, el añublo por *Rhizoctonia* afectó severamente a *G. striata*. Se seleccionaron unas cuantas de las mejores accesiones para incluirlas en ensayos en Carimagua o en otros ambientes (Cuadro

1). Las accesiones más vigorosas que sobrevivieron fueron, en su mayor parte, originarias de Casanare, Colombia. La mayor parte de los materiales de la colección de *Ch. rotundifolia* fue severamente afectada por la antracnosis. En condiciones de baja fertilidad, ambas especies—*G. striata* (añublo foliar) y *Ch. rotundifolia* (antracnosis)—no son apropiadas para los Llanos debido a su susceptibilidad a las enfermedades. (B.L. Maass y E. Cárdenas)

#### Actividades propuestas para 1995

- Establecer un ensayo con cerca de 15 "nuevas" especies, agronómicamente desconocidas para evaluarlas respecto a su adaptación al medio ambiente; se repetirá el ensayo en áreas de ladera de altitud intermedia.
- Promover germoplasma seleccionado para investigar sistemas de producción por medio de la Red de Sistemas Agropastoriles.

**Cuadro 1.** Evaluación de leguminosas herbáceas para sabanas y medio ambiente con época seca pronunciada en los Llanos de Colombia, 1993-1994.

Germoplasma evaluado		Germoplasma más destacado
Especie	Accesiones (no.)	(Número de accesión CIAT)
<i>Galactia striata</i>	380	CIAT 8151, 20786, 20787, 7236, 8139, 8143, 8148, 8749, 17971, 20758
<i>Chamaecrista rotundifolia</i> var. <i>rotundifolia</i> var. <i>grandiflora</i> (erecta, hojas grandes)	80	CIAT 8156, 8158, 8391; CIAT 8992, 17000, 17001

## **2. Forrajes para las laderas de altitud intermedia**

### Avances en 1994

Desde mayo de 1993 se establecieron ensayos en fincas en dos altitudes, a 1200 m (San Vicente) y a 1600 m (El Melcho), en el Departamento del Cauca, Colombia. Los materiales bajo estudio incluyen 43 especies y 101 accesiones de leguminosas herbáceas, arbustivas y arbóreas (18 especies, 30 accesiones), y también gramíneas (29 especies, 41 accesiones). Hasta el momento, (i) *Arachis pintoi*, *Desmodium ovalifolium*, *Canavalia ensiformis*, *C. brasiliensis* y *Mucuna pruriens*, entre las leguminosas herbáceas, presentaron el mejor desempeño en el sitio de mayor altitud; (ii) de los árboles y arbustos de múltiples propósitos, sólo *Cajanus cajan*

(guandul) se estableció bien; (iii) entre las gramíneas, *Brachiaria decumbens*, *B. dictyoneura* cv. Llanero, *B. humidicola*, y *Panicum maximum* sobresalieron por su rapidez de establecimiento y la cobertura del suelo.

De 10 especies de *Centrosema* (45 accesiones) que se evaluaron, *C. grazielae*, *C. acutifolium* y *C. brasilianum* se establecieron más rápidamente en el sitio de mayor altitud y produjeron la mayor cantidad de biomasa; *C. acutifolium* tuvo también el mejor desempeño en el sitio de menor altitud. En los cortes segundo y tercero, *C. macrocarpum*, *C. schiedeanum* y *C. acutifolium* tuvieron el mejor desempeño. Hubo una interacción significativa entre especies y sitios. El nivel global de producción fue muy inferior en el sitio de mayor altitud (Cuadro 2). (B.L. Maass, C.G. Meléndez y F. Díaz Bolívar)

**Cuadro 2.** Desempeño de especies de *Centrosema* en laderas, 1993-1994.

Especie (no. de accesiones) o sitio	Corte (MS g/m <sup>2</sup> )*		
	1.	2.	3.
<b>Especie</b>			
<i>C. acutifolium</i> (4)	206.7a <sup>#</sup>	112.7a	126.9a
<i>C. macrocarpum</i> (8)	154.5cde	112.4a	129.2a
<i>C. schiedeanum</i> (5)	161.5cde	93.0ab	96.4ab
<i>C. pubescens</i> (5)	177.8abc	70.2bc	52.6cd
<i>C. brasilianum</i> (4)	170.4bcd	67.0bc	62.8bc
<i>C. plumieri</i> (5)	127.9e	52.9c	43.2cd
<i>C. grazielae</i> (3)	203.4ab	50.7c	63.0bc
<i>C. rotundifolium</i> (2)	67.3f	45.5c	16.3d
<i>C. virginianum</i> (2)	136.3de	36.4c	26.7cd
<i>C. pascuorum</i> (2)	158.6cde	-	-
<b>Sitio</b>			
El Melcho (1600 m)	176.6a	53.7b	45.5b
San Vicente (1200 m)	141.9a	106.1a	116.1a

\* Cortes se realizaron de manera siguiente: 31, 13 y 15 semanas después del establecimiento.

# Medias con la misma letra en una columna no son diferentes estadísticamente (P <0.05).

### Actividades propuestas para 1995

- Continuar la evaluación del ensayo "San Vicente/El Melcho"; analizar los datos y resumir los resultados.
- Establecer un nuevo conjunto de leguminosas arbustivas (*Flemingia*, *Calliandra*, *Erythrina*, *Sesbania*, *Cajanus cajan*) para evaluar su adaptación, incluyendo una colección de *Calliandra* que se recibirá de OFI (Oxford Forestry Institute Inglaterra).
- Establecer nuevos conjuntos de especies de leguminosas herbáceas promisorias como *Vigna adenantha* y *V. unguiculata* (caupí).
- Establecer un ensayo con unas 15 "nuevas" especies, agronómicamente desconocidas, para evaluar su adaptación a diferentes ambientes; este ensayo se repetirá en Carimagua (Llanos Orientales).
- Supervisar tesis de maestría, en colaboración con la Universidad Nacional de Colombia en Palmira, sobre la adaptación de *Centrosema* spp. en laderas de altitud intermedia en Colombia.
- Seleccionar germoplasma y completar una lista de accesiones, cuya semilla se multiplicará para futuras investigaciones en las laderas de altitud intermedia.

### **3. Forrajes para las tierras bajas del trópico húmedo**

#### Avances en 1994

Se ha completado la evaluación agronómica de leguminosas herbáceas y arbustivas en el campo en Caquetá, Colombia. Entre las arbustivas, las que presentaron el desempeño más sobresaliente fueron *Codariocalyx gyroides* y *Flemingia macrophylla*. *Cratylia argentea* mostró una adaptación moderada, pero produjo una cantidad mucho menor de biomasa que las otras dos especies (Cuadro 3). Aunque el valor forrajero de *Desmodium velutinum* es muy alto, sólo dos accesiones de esta especie presentaron una adaptación moderada.

Las leguminosas herbáceas que presentaron la mejor adaptación son, en orden descendente, *Desmodium heterocarpon* subsp. *ovalifolium*, *Arachis pintoii* (3 accesiones), *Centrosema acutifolium* y *Pueraria phaseoloides*. Se seleccionaron accesiones específicas, y se ha comenzado la multiplicación de semilla.

Entre las gramíneas, 12 de las casi 30 accesiones de *Hyparrhenia* mostraron vigor, producción de biomasa y sanidad vegetal excelentes. Casi todas las 58 accesiones de *Brachiaria* fueron severamente infestadas por el salivazo, y la mayoría de estas accesiones fueron afectadas también por el añublo foliar causado por *Rhizoctonia*. Entre las 21 accesiones de *Panicum maximum*, sólo el cv. Tobiata y una otra accesión se desempeñaron bien.

**Cuadro 3.** Evaluación de leguminosas herbáceas y arbustivas para las tierras bajas del trópico húmedo en Caquetá, Colombia, 1992-1994, y material promisorio seleccionado.

Germoplasma evaluado		Germoplasma más destacado	
Especie	Accesiones (no.)	Rendimiento MS promedio <sup>a</sup>	Accesión CIAT (no.) en orden descendente
<b>Leguminosas arbustivas</b>		<b>- g/pl -</b>	
<i>Codariocalyx gyroides</i>	27	246-267	CIAT 33130, 13547, 3001, 33131
<i>Cratylia argentea</i>	11	75-80	CIAT 18668, 18674, 18672, 18676
<i>Desmodium velutinum</i>	83	57-59	CIAT 33249, 33138, 33242, 23996
<i>Flemingia macrophylla</i>	55	266-320	CIAT 17400, 17405, 17409, 17407, 17412
<b>Leguminosas herbáceas</b>		<b>- g/m<sup>2</sup> -</b>	
<i>Arachis pintoii</i>	8	49-64	CIAT 18747, 18748, 18751
<i>Centrosema acutifolium</i>	11	83-87	CIAT 15814, 15446, 5278
<i>Centrosema capitatum</i>	3	20-29	CIAT 5114, 15680
<i>Desmodium ovalifolium</i>	11	113-124	CIAT 13125, 350, 13400
<i>Pueraria phaseoloides</i>	8	42-45	CIAT 17765, 17292, 7978
Otras especies de <i>Arachis, Cajanus,</i> <i>Centrosema,</i> <i>Desmodium,</i> <i>Stylosanthes, Zornia</i>	134	no presentado	no seleccionado
<b>Total</b>	<b>351</b>		

a. Media de cuatro cortes de rebrote de 9 semanas, dos durante la época de mínima y dos durante la época de máxima precipitación; para las leguminosas arbustivas, aquí se presentan solo rendimientos de MS de hojas.

Para finalizar la evaluación de leguminosas en Caquetá, y para diseminar los resultados a un público más amplio, se celebró un día de campo, en diciembre de 1994, en colaboración con CORPOICA y el Fondo Ganadero del Valle. Se contó con la asistencia de más de 120 participantes, lo que demostró bien la necesidad de tener más opciones de especies forrajeras para esta región. (B.L. Maass y C.G. Meléndez)

#### Actividades propuestas para 1995

- Continuar y finalizar la evaluación de gramíneas en Caquetá.
- Multiplicar la semilla de algunas accesiones seleccionadas de leguminosas

- arbustivas en Caquetá.
- Analizar y publicar los resultados de ensayos con leguminosas en Caquetá.

#### 4. Forrajes para los sistemas de cultivos y pasturas

##### Avances en 1994

En la estación experimental Carimagua, Meta, se establecieron 17 especies de leguminosas (un total de 45 accesiones) con arroz en una parcela que tenía la fertilidad residual de un cultivo anterior de maíz. Desafortunadamente, los chigüiros arrasaron dos veces el arroz a nivel del suelo y, por tanto, no se pudo evaluar la compatibilidad de las leguminosas con el cultivo. Sin embargo, varios materiales respondieron bien a una mayor fertilidad residual, especialmente *Pueraria phaseoloides* accesiones CIAT 9900, CIAT 7182, CIAT 17296 y CIAT 20024; *Stylosanthes guianensis* línea 3, CIAT 2950 (cv. Mineirao), CIAT 11844 y CIAT 11833; *Arachis pintoii* CIAT 22160; *Galactia striata* CIAT 18018 y CIAT 8143; *Desmodium ovalifolium* CIAT 13089, y cinco accesiones CIAT de *Calopogonium mucunoides*: 9454, 822, 20676, 20709 y 709. En comparación con estos materiales, el desempeño de las otras especies fue bastante deficiente, lo cual significa que no pudieron aprovechar la mayor fertilidad; es el caso de *Centrosema* spp. (que fue afectado severamente por los insectos comedores de hojas), de *Macroptilium atropurpureum* y de *Neonotonia wightii*. (B.L. Maass y E. Cárdenas)

##### Actividades propuestas para 1995

- Continuar la evaluación agronómica de leguminosas herbáceas para rotaciones de cultivos y pasturas, y seleccionar las mejores accesiones para la subsiguiente multiplicación de semilla.

#### 5. Valor forrajero

##### Avances en 1994

En las leguminosas arbustivas se presentaron diferencias en el contenido de proteína cruda y grandes diferencias en la DIVMS entre las especies y dentro de ellas. Las accesiones de *Desmodium velutinum*, *Cratylia argentea* y *Codariocalyx gyroides* presentaron altos niveles de proteína cruda y niveles de intermedios a altos de DIVMS. (C.E. Lascano)

##### Actividades propuestas para 1995

- Evaluar el efecto de la época del año en la DIVMS de accesiones seleccionadas de *C. gyroides*.

- Ayudar en la interpretación de los resultados de ensayos de tipo cafetería con *C. gyroides*.
- Supervisar la valoración del muestreo para valor forrajero en los ensayos de selección en los ecosistemas diferentes.

## 6. Multiplicación de semilla

### Avances en 1994

Para poder proporcionar suficiente semilla del germoplasma seleccionado (especies recomendadas para evaluación regional - Informe Bienal 1992-1993) para la respectiva evaluación de éste en ensayos multilocalizados, se establecieron más de 50 accesiones en parcelas en las estaciones experimentales del CIAT en Palmira (2150 m<sup>2</sup>), en Quilichao (3000 m<sup>2</sup>) y en Popayán (800 m<sup>2</sup>). Se establecieron en Quilichao otras 2 ha para multiplicar la semilla de dos líneas híbridas de *Stylosanthes guianensis*. CENICAFE-Chinchiná ha colaborado especialmente en multiplicar accesiones seleccionadas de *Arachis pintoi* (1700 m<sup>2</sup>). (B.L. Maass y E. Cárdenas)

### Actividades propuestas para 1995

- Mantener las parcelas y cosechar la semilla.
- Hacer una lista y establecer parcelas de multiplicación para conjuntos múltiples de *Arachis* spp. y nuevas líneas de *Brachiaria* y de *Stylosanthes*.
- Multiplicar la semilla de accesiones seleccionadas de *G. striata* y *Chamaecrista rotundifolia*.
- Reunir un conjunto básico de accesiones para ensayos multilocalizados con *Panicum maximum* y eventualmente con *Codariocalyx gyroides*.

## 7. Sistemas de información sobre adaptación

### Avances en 1994

La base de datos de pasaporte del germoplasma se ha implementado en su totalidad, usando el sistema de manejo de bases de datos ORACLE. Esto permite un fácil acceso a estos datos para realizar análisis geográficos y elaborar mapas. Por ejemplo, se elaboró un mapa de áreas con potencial para el uso de *Leucaena*, relacionado éste con la adaptación al suelo y al clima en América del Sur y América Central, utilizando información sobre las características de adaptación de *Leucaena* e información del SIG (sistema de información geográfica) sobre suelos y climas. Este mapa de adaptación potencial de *Leucaena* deber ser validado. (P.C. Kerridge)

#### Actividades propuestas para 1995

- Analizar la evaluación multilocalizada de especies en colaboración con la Unidad de Biometría para obtener información sobre las características esenciales de la planta que se deben registrar en ensayos de evaluación.
- Vincular la base de datos de pasaporte del germoplasma a la base de datos del SIG para producir mapas de distribución sobre la presencia del germoplasma y definir los parámetros de ocurrencia natural de éste.
- Explorar un programa general para elaborar mapas de distribución potencial de especies que sean comercialmente importantes. Revisar el mapa de distribución de *Leucaena*.



**Título: Proyecto FD01  
RECURSOS GENÉTICOS DE ESPECIES FORRAJERAS**

### **Justificación**

Los principales adelantos en el mejoramiento del germoplasma de especies forrajeras tropicales se han logrado mediante la explotación de la diversidad fitogenética natural que existe entre especies y dentro de ellas. Todavía hay campo de acción para seguir mejorando este germoplasma, y continuarán siendo importantes las actividades de adquisición, caracterización y conservación de una extensa colección de germoplasma de especies silvestres de leguminosas y gramíneas, que tenga potencial forrajero para mejorar el desempeño animal. Sin embargo, en el futuro, la adquisición estará orientada hacia la satisfacción de necesidades muy específicas; por ejemplo, el germoplasma que se use como cobertura del suelo y para controlar la erosión y las malezas.

La colección de leguminosas y gramíneas silvestres tropicales que se mantiene en el CIAT es una de las más grandes del mundo, y representa la rica diversidad vegetal que existe en los trópicos húmedo y subhúmedo, especialmente la de leguminosas de América tropical y del Sudeste Asiático y la de gramíneas de África. Las actividades de adquisición comenzaron en 1971. La colección consta en la actualidad de aproximadamente 21,000 accesiones pertenecientes a 155 géneros y 730 especies, que tienen potencial forrajero; de estas especies conservadas, el 90% son leguminosas y el 10% gramíneas (Cuadro 1). Los principales géneros representados, en orden de cantidad, son *Stylosanthes*, *Desmodium*, *Centrosema*, *Zornia* y *Aeschynomene*. Actualmente, hay suficiente semilla disponible de 15,700 accesiones para su distribución. Las principales necesidades, en lo que se refiere a la colección de germoplasma, son asegurar su integridad contra el riesgo de pérdida, mediante la duplicación adecuada de semilla de alta calidad, y normalizar las actividades con las de otros centros de recursos genéticos forrajeros en el trópico. Por tanto, es necesario fortalecer la investigación en fisiología de la semilla, relacionándola con la conservación, y facilitar la interacción con otros centros de investigación.

### **Objetivo**

Identificar, conservar y propagar el germoplasma forrajero productivo adaptado a diferentes sistemas de producción en el trópico subhúmedo y húmedo.

**Coordinadora del proyecto: B.L. Maass**

Cuadro 1. Estado de la colección de especies forrajeras tropicales mantenida en CIAT (a partir del 31.01.1995).

Género	Accesiones (no.)		
	Conservadas	Multiplicada en almacenamiento a corto plazo	Colección base en almacenamiento a largo plazo
<b>Leguminosas</b>			
<i>Aeschynomene</i>	1,002	633	269
<i>Arachis</i>	56	33	25
<i>Calopogonium</i>	538	407	118
<i>Centrosema</i>	2,453	2,214	1,023
<i>Desmodium</i>	2,915	1,876	689
<i>Galactia</i>	574	559	371
<i>Leucaena</i>	199	177	113
<i>Macroptilium</i>	616	607	464
<i>Pueraria</i>	253	233	59
<i>Rhynchosia</i>	453	215	29
<i>Stylosanthes</i>	3,628	2,867	1,075
<i>Vigna</i>	746	642	333
<i>Zornia</i>	1,030	889	68
Otra	4,220	2,896	1,412
Total leguminosas	18,683	14,248	6,048
<b>Gramíneas</b>			
<i>Andropogon</i>	91	89	-
<i>Brachiaria</i>	655	572	97
<i>Hyparrhenia</i>	53	40	-
<i>Panicum</i>	598	512	6
<i>Paspalum</i>	109	67	-
Other	493	171	-
Total gramíneas	1,999	1,451	103
<b>Otras familias</b>	2	-	-
<b>Gran total</b>	20,684	15,699	6,151
Porcentaje total (%)	100%	75.9	29.7

## **Principales actividades:**

1. Adquisición
2. Conservación (incluyendo multiplicación)
3. Caracterización e identificación
4. Documentación
5. Distribución
6. Rizobios y micorrizas
7. Red de Centros de Recursos Genéticos Forrajeros

## **1. Adquisición**

### Avances en 1994

Se obtuvo nuevo germoplasma de *Arachis pintoi* del Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia (EMBRAPA/CENARGEN), Brasil, y de otras especies silvestres de *Arachis* del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina. Se obtuvo una colección de guandul de tipo forrajero (*Cajanus cajan*) del Instituto Internacional de Investigación sobre Cultivos para el Trópico Semiárido (ICRISAT), en India.

Se desarrolló un procedimiento fitosanitario que fue aceptado por el ICA; este procedimiento se publicó como documento del CIAT.

### Actividades propuestas para 1995

Se continuará la adquisición de especies de *Arachis* y de *Cratylia argentea* en colaboración con CENARGEN y otros centros situados en América del Sur; de caupí (*Vigna unguiculata*) de tipo forrajero del Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA); y de *Calliandra* procedente de OFI (Oxford Forestry Institute).

## **2. Conservación**

### Avances en 1994

La multiplicación inicial de 1500 accesiones se realizó en los invernaderos y campos del CIAT en Palmira, Quilichao y Popayán. Un tercio del germoplasma de leguminosas se conserva actualmente en la colección base en condiciones de almacenamiento a largo plazo (-20 °C, en papel aluminio sellado), y las primeras 100 accesiones de gramíneas se almacenaron en forma similar en 1994. Mediante el traslado de la producción de semilla de Quilichao hasta el área más fresca de Popayán, se logró semilla de gramíneas de buena calidad, con un rango de germinación de 70%-80%.

Es necesario conocer los factores que afectan la calidad de la semilla y, por tanto, determinar el tiempo que debe pasar antes de la regeneración. Esto puede variar mucho entre especies. Sin embargo, se requieren más recursos para poder iniciar la investigación oportuna de los factores físicos y químicos que afectan la viabilidad y la longevidad de la semilla almacenada para que la conservación sea más efectiva.

Continuó la investigación en el área de biología reproductiva para desarrollar protocolos de multiplicación de semilla que se aplicarán en el manejo adecuado de los recursos genéticos. Se confirmaron datos previos obtenidos para diferentes ambientes cuando se alcanzaron altas tasas de alogamia (31%-37%) en *Centrosema brasilianum* al utilizar una accesión de flores blancas. En *C. virginianum*, la alogamia fue de 18% en Palmira (en plantas con flores pequeñas cleistógamas). En *Desmodium heterocarpon* sólo se determinó 4% de alogamia, en Quilichao.

#### Actividades propuestas para 1995

Continuar la multiplicación para el almacenamiento a largo plazo y para la duplicación en un centro de recursos fitogenéticos alterno; y dar énfasis especial al aumento inicial del germoplasma acumulado.

Se contactó a la Universidad de Reading, Reino Unido, para participar en las actividades de investigación relacionadas con la conservación de especies forrajeras silvestres, con énfasis en la producción, el manejo y el almacenamiento de semilla de especies de gramíneas. La realización de esta actividad depende de la obtención de financiación por medio de Proyectos Especiales.

Se usará el color de la testa de la semilla para estudiar la alogamia en *Centrosema plumieri*, *C. acutifolium* y *C. macrocarpum*.

### **3. Caracterización e identificación**

#### Avances en 1994

Caracterización morfológica. Se realizó un estudio en 14 accesiones de *Arachis glabrata*, utilizando 46 descriptores vegetativos y reproductivos. El análisis de conglomerados indicó una amplia variabilidad genotípica dentro de este germoplasma.

El estudio de la colección de 32 accesiones de *Arachis*, en la sección Caulorrhizae, indicó que no había duplicados. A medida que se han adicionado accesiones, ha

umentado el rango de variación morfológica. Los descriptores morfológicos evaluados presentaron un rango continuo y amplio entre *A. repens* y *A. pintoi*.

Los resultados preliminares de la caracterización morfológica de *Stylosanthes capitata* indican que la especie tiene un alto grado de variabilidad morfológica, que se puede ordenar en conglomerados según su origen. Las accesiones originarias de Brasil y de Venezuela presentan diferentes patrones morfológicos.

Caracterización bioquímica. Los resultados del estudio izoenzimático de las 32 accesiones de *Arachis*, sección Caulorrhizae, indicaron una gran variabilidad intraseccional e intraespecífica. Al igual que en la caracterización morfológica, no se detectaron duplicados genéticos.

Se encontró un amplio polimorfismo bioquímico en 290 accesiones de *Stylosanthes capitata* caracterizadas respecto a cinco isoenzimas y proteínas de semilla nativa. Estos datos son similares a los obtenidos en un estudio de 561 accesiones de *Stylosanthes guianensis*, y sugieren patrones de polimorfismo genético relacionados con la distribución geográfica. Indican, además, una amplia variabilidad intraespecífica.

Para ayudar en la clasificación taxonómica, se validó la variedad botánica *Centrosema macrocarpum* var. *andinum* con base en la accesión tipo, CIAT 25008. El análisis de las isoenzimas  $\alpha$ -EST, DIA y GOT de 24 accesiones proporcionó evidencia suficiente para diferenciar a *Centrosema macrocarpum* var. *andinum* de la var. *macrocarpum*.

Herbario. La Dra. B. Schubert, del Arnold Arboretum de los Estados Unidos, identificó y confirmó la determinación de especie de 586 accesiones de *Desmodium*. Se enviaron 87 especímenes de diferentes especies a otros 12 taxónomos.

#### Actividades propuestas para 1995

Se continuará la caracterización de nuevas accesiones de *Arachis*, y se hará una caracterización bioquímica para aclarar la identidad de varias accesiones, especialmente de *Panicum maximum*. Se hará una caracterización de accesiones de *Cratylia argentea* y se evaluará su tasa de alogamia utilizando marcadores bioquímicos.

Se analizarán los datos electroforéticos obtenidos en las accesiones de *Brachiaria* y de *S. guianensis*, y se revisará en forma crítica la caracterización bioquímica de *S. guianensis*.

#### **4. Documentación**

##### Avances en 1994

La base de datos ya es completamente funcional para todos los aspectos del manejo de germoplasma; cumple con los requerimientos de los usuarios que necesitan información específica sobre la combinación de parámetros para accesiones específicas.

Se publicó y se distribuyó un catálogo de germoplasma de Colombia, y se desarrollaron etiquetas por computador para el herbario.

##### Actividades propuestas para 1995

Revisión de los datos de pasaporte del germoplasma originario de Brasil, de Africa y de otros países que restan por revisar; publicación de los respectivos catálogos de germoplasma.

#### **5. Distribución**

##### Actividad en 1994

La Unidad de Recursos Genéticos respondió a 150 solicitudes, y distribuyó 3000 muestras de 70 géneros dentro del CIAT y a instituciones colaboradoras de 18 países.

#### **6. Rizobios y micorrizas**

##### Avances en 1994

Se realizó un experimento para validar la necesidad de inocular las leguminosas arbustivas en suelos ácidos (pH 4.8 y saturación de Al de 76%). Los resultados indicaron que *Calliandra grandiflora* y *Cratylia argentea* crecieron bien sin inoculación, mientras que *Erythrina fusca* y *Flemingia macrophylla*, aunque mostraron una buena adaptación, pueden requerir de inoculación. Se deben hacer estudios adicionales respecto a la selección de cepas.

##### Actividades propuestas para 1995

Aislamiento de cepas y conservación de rizobios recolectados en las nuevas accesiones de *Arachis*.

#### **7. Red de Recursos Genéticos Forrajeros**

##### Avances en 1994

El CIAT organizó una reunión para discutir la creación de una Red de Recursos Genéticos Forrajeros para el Trópico. Asistieron representantes de CSIRO,

CENARGEN, ILCA e IPGRI, y se produjo un documento explicando la estrategia que se seguirá en la formación de la red.

Actividades propuestas para 1995

Bajo la Iniciativa para los Recursos Genéticos de los Centros del GCIAI, se dispondrá de US\$50,000 para convocar a un taller en que se inicie la Red de Recursos Genéticos Forrajeros; en el taller participarán centros de recursos genéticos tanto del trópico como de las zonas templadas. Se planea realizar ese taller en el mes de noviembre.



**Título:        Proyectos TL01 y TL03**  
**SISTEMAS DE CULTIVO PROTOTIPO QUE SEAN SOSTENIBLES PARA LOS**  
**LLANOS Y LA DINÁMICA DEL USO DE LA TIERRA**

Preparado por: (en orden alfabético) E. Amézquita (TB), W. Bell (MT de GRC), P. Jones (MT GRC), J.I. Sanz (TB, oficial del proyecto), J. Smith (TB), R. Vera (TB)

### **Introducción y Justificación**

El objetivo de este proyecto es generar tecnologías que permitan incrementos sostenibles en el uso eficiente de los recursos y que controlen la degradación del suelo y del agua.

Tradicionalmente, los Llanos Orientales de Colombia se han usado para la ganadería extensiva, pero esta situación está cambiando a causa de la introducción de cultivos anuales y de nuevos sistemas de producción pecuaria. Los estudios que emplean sensores remotos y técnicas de verificación en el campo indican que las señales de degradación ambiental, como la erosión y la pérdida de especies nativas, están aumentando porque se hace un uso más intensivo de la vegetación nativa por el ganado, y por las formas inapropiadas de preparar y de manejar la tierra.

Este proyecto intenta conciliar una producción agrícola más intensiva con la conservación y el mejoramiento de los recursos naturales para las diversas condiciones que se encuentran en el área de los Llanos colombianos.

El proyecto incluye, entre otros aspectos, ensayos a largo plazo dirigidos a encontrar las diferencias entre las tecnologías existentes y las nuevas generadas por el Programa del Trópico Bajo (PTB), para las sabanas de América del Sur.

### **Estrategia para Solucionar Problemas y Resultados Esperados**

A continuación se detallan los estudios en curso, los cuales ilustran la estrategia del proyecto.

En las sabanas bajo pastoreo, se quema tradicionalmente la vegetación nativa para tener un rebrote nuevo, fresco y tierno para alimentar al ganado. Actualmente, la posibilidad de sembrar cultivos hace necesaria la eliminación de la vegetación nativa o de los residuos de cultivos y malezas. La quema es una manera económica de hacerlo, y nuestro trabajo ha demostrado que la quema de los residuos tiene efectos positivos en el rendimiento de los cultivos. Desafortunadamente, la quema no se considera ecológicamente segura y, por razones obvias, desde comienzos de 1994 el Programa ha empezado a buscar prácticas que sean económicamente factibles y ambientalmente positivas para eliminar esos residuos, sin recurrir a la quema o, por lo menos, reduciendo la frecuencia de su uso.

En los últimos años, varias especies forrajeras mejoradas de gramíneas y leguminosas, que están adaptadas a los suelos ácidos, han tenido éxito en los sistemas de cultivo con arroz, ya sea para su establecimiento o para su recuperación. En las sabanas ácidas se están sembrando nuevos cultivos; uno de los cultivos que ha tenido éxito es el maíz tolerante a suelos ácidos, desarrollado por CIMMYT y CORPOICA. Para tener otra alternativa al monocultivo —una práctica poco deseable— se decidió evaluar a comienzos de 1994, antes de liberar la primera variedad de maíz para las sabanas, sistemas de maíz y pasturas mediante un esfuerzo colaborativo entre el CIMMYT y el PTB.

La nueva variedad de maíz, cv. Sikuni 1, se adapta a suelos cuya saturación de Al llega al 60%. Esto significa que hay que aplicar de 1 a 1.5 t/ha de cal al suelo para disminuir la saturación de Al, mientras que los requerimientos de fertilización de la variedad son similares a los del arroz de secano. Esa cantidad de cal representa un cambio cualitativo importante en los sistemas de cultivo y, al menos para los Llanos, establece un sistema de insumos relativamente alto en el cual el suelo se modifica parcialmente para adecuarse a un cultivo más exigente. Existe la hipótesis de que el valor residual de la cal y de los fertilizantes permitirá introducir germoplasma forrajero relativamente más exigente, como *Panicum maximum* cv. "Vencedor", que se seleccionó en Brasil para los suelos del Cerrado que están mejor dotados.

Se están realizando varios estudios de tipo interseccional (cross-sectional) para poder satisfacer las especificidades de cada sitio y buscar tanto la extrapolación de los resultados de los ensayos como la recolección de datos en áreas representativas; estos estudios se detallan a continuación.

Las fincas localizadas en los Llanos colombianos, en sistemas de tierra que contrastan entre sí, difieren significativamente en el uso de los recursos. Algunas de estas diferencias se relacionan con la variación en el paisaje, la distancia relativa hasta los mercados y la dotación de recursos. Se ha planteado la hipótesis de que por lo menos algunas de esas diferencias en el uso de la tierra, que se presentan entre las fincas, simulan los cambios que tendrán lugar en el tiempo; de esta manera, un estudio de tipo interseccional puede representar también la evolución temporal de esas diferencias. Si este, en verdad, fuera el caso, los estudios relativamente cortos serían, sin lugar a dudas, un sustituto imperfecto para muchos estudios de más largo plazo.

Se hace seguimiento a un grupo de siete fincas que contrastan por tamaño, localización y sistema de producción en los dos principales sistemas de uso de la tierra de los Llanos colombianos: el #201, con 424,000 ha de tierra plana, que es virtualmente idéntico al #202, que tiene 1,447,800 ha, y el #203, con 1,200,000 ha y topografía de ladera ondulante.

Desde comienzos de este año se hace seguimiento de todos los insumos agrícolas y de la producción de las fincas. En cada finca se han identificado puntos fijos en

diferentes áreas del terreno, que están sometidos a diversos usos. Según la intensidad relativa de uso, se toman muestras del suelo —como mínimo, dos veces al año— para hacer una caracterización fisicoquímica detallada que permita relacionar el actual uso de la tierra con los parámetros del suelo. En colaboración con la Universidad Tecnológica de los Llanos, se intenta caracterizar la actividad biológica del suelo y, en aquellas áreas cubiertas por vegetación nativa o con pasturas introducidas, se están realizando estudios sobre la composición botánica, la carga y el pastoreo.

En el área de estudio de los Llanos colombianos (entre Puerto López y Puerto Gaitán, departamento del Meta), el SIG está ampliando su cobertura; esto ayudará al equipo del PTB a clasificar sus sitios experimentales, hacer extrapolaciones a partir de éstos, y ayudar en el seguimiento de los cambios en el uso de la tierra y en la adopción de nuevas tecnologías a medida que éstas se desarrollan.

Se ha hecho un registro digital del mapa de suelos a escala 1:100,000 del área, elaborado por el Agustín Codazzi, y para esa cobertura de SIG se está desarrollando una interfaz para el usuario que incluye datos sobre las características del suelo, el drenaje y la topografía de 11 diferentes áreas de esa cobertura. Mapas topográficos a escala 1:25,000 están en proceso de digitalización. Se ha completado la parte de topografía. Actualmente se digitalizan las líneas de drenaje, anotando su dirección y los puntos de iniciación y de terminación de cada uno de los arcos de drenaje. Esto se utilizará, junto con un algoritmo curvo de Laplace, para calcular el modelo de elevación digital para toda el área de estudio, que servirá para calcular con precisión las pendientes y la escorrentía que se aplican en los modelos de manejo de captación de aguas y en el control de la erosión. La digitalización de la topografía en esta escala requiere de un gran insumo de mano de obra. En efecto, hasta la fecha este proyecto ha tomado más de tres años-hombre de trabajo. Se han obtenido imágenes de satélite para diferentes años, y actualmente se está analizando la imagen TM Landsat de 1989 como una clasificación no supervisada. Ya que no están disponibles los datos de verificación en el campo para 1989, los algoritmos de clasificación del paquete de análisis de las imágenes de satélite por computador permiten producir la clasificación de la imagen con la mejor resolución posible, sin conocer en realidad el tipo de cobertura del suelo denotado en su clasificación. En la actualidad, este proceso se utiliza para producir un muestreo estratificado que permitirá realizar, a finales de enero de 1995, un trabajo de verificación y de muestreo en el campo (es decir, verificar el actual uso de la tierra en el terreno, en campos individuales referenciados geográficamente con las imágenes de satélite). Se ha solicitado una imagen TM Landsat, que luego se relacionará directamente con la verificación en el campo en esa área, permitiendo la construcción de una clasificación supervisada en la cual se conozca el uso actual de la tierra.

Con la clasificación supervisada y las imágenes topográficas del modelo de elevación digital, esa clasificación puede transponerse luego en el tiempo a imágenes anteriores, y se pueden determinar así las tendencias en el uso de la

tierra. También existen series de fotografías aéreas que datan desde la década de los 40 y que fueron tomadas a intervalos de aproximadamente 5 años. Después de obtener la clasificación supervisada del uso de la tierra a partir de imágenes de satélite más recientes, se seleccionarán ciertas áreas de estudio para interpretar las fotografías aéreas, y se hará una serie de imágenes que ha experimentado el uso de la tierra en los últimos 40 años. Estas imágenes se utilizarán como datos básicos para producir modelos de cambio en el uso de la tierra en el área. Otras fuentes de datos que se incorporarán gradualmente a la respectiva base de datos son las descripciones de perfiles de suelo típicos y los resultados de estudios agrícolas previos del CIAT y de estudios de vegetación, entre otras. Esta base de datos dinámica servirá, entre otros propósitos, para delimitar mejor los dominios de extrapolación por componentes tecnológicos, y para crear prototipos de sistemas de cultivo y de explotación agrícola. Si la base de datos se utiliza junto con los modelos de simulación del uso de la tierra basados en el SIG, eventualmente se podrá hacer la simulación espacial y temporal de los usos alternativos de la tierra y evaluar su impacto en la región.

Para un análisis de la dinámica del uso de la tierra en los Llanos, ver el informe del Proyecto TA02. Consulte también los subproyectos TL01-2, **Adopción de sistemas de rotación de cultivos y pasturas de corta duración en los Llanos colombianos**, y TL03-1/2, **Vegetación y ecología de las pasturas nativas de "serranía" de los Llanos Orientales de Colombia y manejo de la pastura nativa**.

Para este informe y para ilustrar la estrategia, a continuación se discutirán dos ensayos a largo plazo que contrastan entre sí. Estos ensayos, aún en curso, se establecieron en 1989, y representan sistemas contrastantes para los cuales el CIAT, en colaboración con otras instituciones internacionales y nacionales, ha desarrollado tanto germoplasma (cultivos y pasturas) como tecnología para su manejo.

Uno de estos ensayos, el monocultivo continuo de arroz de secano, se estableció a comienzos de 1989 para poder seguir de cerca lo que podría ser el ejemplo más obvio de adopción de germoplasma, considerado en ese momento como promisorio y en la actualidad ya liberado. El temor entonces era que hubiese degradación adicional de los Oxisoles —que ya eran muy ácidos, poco fértiles y propensos a la erosión y a la compactación— si se utilizaban en monocultivo continuo.

La hipótesis inicial fue que el rendimiento disminuiría con el tiempo, y que el recurso suelo se degradaría después de unos cuantos años de cultivo continuo.

Se ha hecho un seguimiento minucioso al ensayo, intentando optimizar los cambios químicos, físicos y microbiológicos que se presentaban en el suelo, así como minimizar la incidencia de malezas, para mantener los rendimientos. En otras palabras, se trató en lo posible de que el sistema fuera sostenible.

En contraste, se estableció, también a principios de 1989, un experimento en el cual se sembraron simultáneamente arroz y pasturas de gramíneas y leguminosas en el mismo campo. Esta era una de las alternativas tecnológicas que presentaba el CIAT para minimizar el riesgo potencial que representaba el monocultivo; era también una alternativa a la ganadería tradicional. La hipótesis decía que sería posible producir arroz de manera económica mientras se establecían pasturas mejoradas que, a su vez, se beneficiarían de la fertilidad residual dejada por el cultivo de arroz. Con esto se evitaría el monocultivo y, en unos cuantos años, el suelo se cubriría de pasturas vigorosas hasta que se necesitara recuperar la pastura con otro cultivo de arroz. Se esperaba mejorar la productividad animal y, al mismo tiempo, conservar el acervo de recursos naturales.

En ambos ensayos se ha hecho un seguimiento regular utilizando formularios para registrar el balance nutricional, que contemplan la distribución de los nutrimentos en las diferentes partes del sistema, es decir, en el suelo (antes y después de cada época de cultivo); la cantidad de fertilizante aplicado; la absorción de nutrimentos por las plantas (cultivo, gramínea, leguminosa o maleza) así como el porcentaje de nutrimento extraído por el producto (por ejemplo, grano de arroz); la cantidad de nutrimentos fijados por las raíces o perdidos (no encontrados).

Además, las mediciones de las características físicas del suelo en el segundo ensayo son útiles para hacer un seguimiento de la compactación de las pasturas sometidas a pastoreo y de las que no son pastoreadas. Estas pasturas arrojan también información valiosa sobre las tasas de producción de biomasa forrajera.

También están disponibles los registros sobre el uso de maquinaria, que permiten elaborar balances sobre el consumo de energía fósil.

## **Resultados y Discusión**

### **a) Arroz de secano en monocultivo continuo**

En el experimento de arroz en monocultivo continuo, el rendimiento de *Oryza Sabana 5* presentó una disminución lineal constante, a una tasa de casi 400 kg/ha al año ( $r^2 = 0.96$ ), durante el período 1989-1992. A pesar de que se ajustó cada año la fertilización, según los datos de las pruebas de suelo, para mantener niveles apropiados de nutrimentos y un equilibrio de los mismos, el rendimiento disminuyó de 3.8 a 2.6 t/ha. En 1993, con prácticas agronómicas mejoradas, el rendimiento aumentó en cerca de 700 kg/ha. La incidencia de las malezas fue uno de los obstáculos más evidentes para una producción estable; en consecuencia, en 1994 se incluyó la aplicación de herbicidas. Desafortunadamente, la eficiencia de éstos en los Oxisoles de las sabanas no fue tan buena como en otras áreas arroceras, incluyendo el piedemonte llanero. El manejo de las malezas probablemente requerirá de estudios adicionales que sean específicos para el sitio y el cultivo, y que pueden ser desarrollados por los SNIA y otras entidades locales. (Ver el

subproyecto TL01-1, **Ecología de la población de malezas dentro de sistemas prototipo que sean sostenibles en los Llanos colombianos**).

Además de lo anterior, se han hecho varias mediciones para documentar los cambios que la práctica del cultivo continuo del arroz produce en las propiedades físicas del suelo.

Si la presión interna de las células nuevas es suficiente para superar la resistencia externa causada por la matriz de suelo circundante, las raíces de las plantas se alargan y se agrandan en diámetro. Algunos investigadores han encontrado que la máxima presión de crecimiento longitudinal de la raíz de ciertos cultivos varía de 9 a 15 bares (1 bar  $\approx$  1 kg/cm<sup>2</sup>) y que las raíces (de *Raphamis sativus* L.) dejan de agrandarse (en diámetro) cuando se someten a compresión radial de cerca de 8.5 bares. Roosell y Goss (1974) demostraron que una presión de 0.2 bares aplicada a un medio de crecimiento de cuentas de vidrio redujo el alargamiento de las raíces de cebada en un 50% y que una presión de 0.5 bares lo redujo en 80%. Si un suelo se deforma fácilmente, las raíces lo penetran y crecen hasta que algún factor diferente a la impedancia mecánica detiene el proceso de alargamiento. En la mayoría de los casos, las raíces crecen parte a través de los espacios porosos existentes y parte retirando las partículas del suelo.

La mayoría de los valores de penetrabilidad que se encuentran en Matazul (Figura 1) son superiores a los que se registran generalmente como valores limitantes (9 a 15 bares), especialmente a profundidades superiores a los 7.5 cm, e independientemente de los tratamientos de labranza (rastra de discos, arado de reja). Es probable, por tanto, que la impedancia mecánica esté afectando negativamente el rendimiento del arroz.

La Figura 1 indica también que los valores promedio de la resistencia de la sabana se aproximan más entre sí, o tienen un rango menor, que los obtenidos en los tratamientos de labranza, variando de 12 bares (a una profundidad de 2.5 cm) a 22 bares (a una profundidad de 32.5 cm), aproximadamente. En el tratamiento de rastra de discos, estos valores variaron de 7 (a 2.5 cm) a 24 bares (a 32.5 cm) y, en el tratamiento de arado de reja, de 8 bares (a 2.5 cm) a 25 bares (a 32.5 cm). Estos resultados sugieren que el testigo (el tratamiento de sabanas) tiene una mejor continuidad de poros.

La Figura 1 muestra también que todos los tratamientos, incluyendo el testigo, presentan valores similares a una profundidad de 22.5 cm; esto indica que, probablemente, hay una capa que ha sufrido compactación o un cambio de suelo a subsuelo, que podría afectar tanto los procesos del suelo como el rendimiento del cultivo.

Esta figura indica también que la labranza afloja el suelo desde los 0 hasta los 22.5 cm de profundidad, pero lo compacta a partir de los 22.5 cm, y que el arado de reja aumenta la compactación profunda.

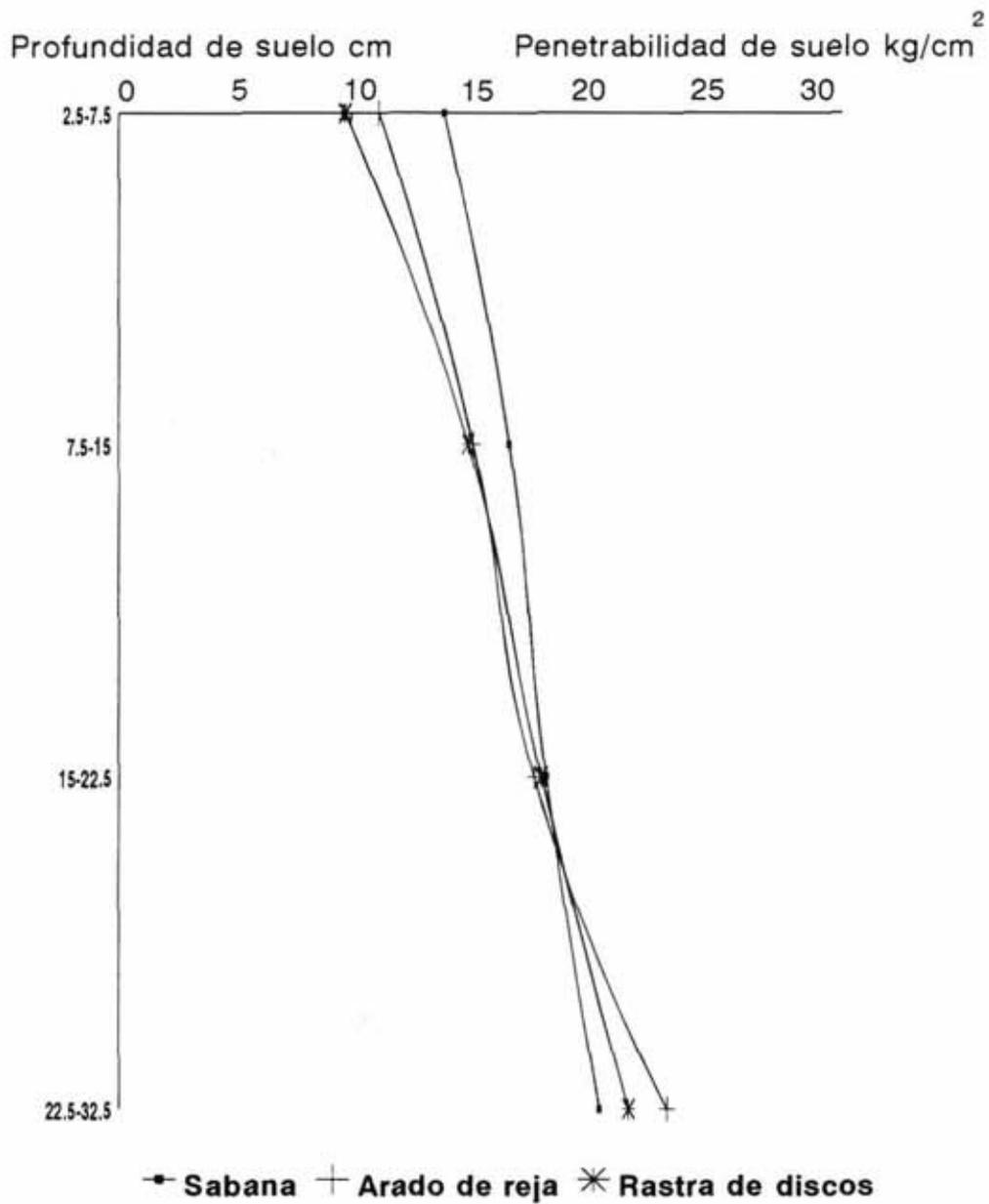


Figura 1. Valores promedio de penetrabilidad del suelo en el sexto año de monocultivo continuo de arroz seco. Matazol, Llanos Orientales, Colombia, 1994.

El análisis estadístico de los datos (Cuadro 1) indica que hay diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en los valores de penetrabilidad cuando se comparan los tratamientos a profundidades de 2.5 a 7.5 cm. La sabana nativa presenta los valores más altos, lo que significa que es más compacta. A profundidades de 7.5 a 15.0 cm y de 15.0 a 22.5 cm, el análisis muestra valores que se asemejan más entre sí y menos diferencias entre los tratamientos, pero la sabana todavía presenta valores significativamente mayores a profundidades de 7.5 a 15.0 cm. A una profundidad de 22.5 a 32.5 cm, el tratamiento del arado de reja presentó valores significativamente mayores que la sabana, causando, por tanto, compactación del suelo en profundidad.

El resultado de los fenómenos antes descritos fue que en la época de cultivo de 1994 se redujo drásticamente el rendimiento en todos los tratamientos, entre 1.6 y 1.9 t/ha, sin diferencias estadísticas. En ese año se presentó el rendimiento más bajo de los seis años del ensayo (el más bajo había sido 2.6 t/ha en 1992). Obviamente, las malezas se pueden manejar, pero un proceso continuo de degradación de las propiedades físicas del suelo plantea el interrogante de cuán sostenible es el monocultivo de arroz de secano. Sin embargo, el arado de cincel profundo puede romper las capas compactadas debajo de los 20 cm y aumentar nuevamente la porosidad. En un futuro se debe investigar si el uso anual de las prácticas de labranza que rompen las partículas del suelo unidas por sesquióxidos hará que el suelo se agregue nuevamente para que, con el tiempo, el suelo sea menos estructurado o permanentemente compacto.

El fomento de la actividad microbiana del suelo y el aumento de la materia orgánica (MO) del mismo —mediante, por ejemplo, abonos verdes y cultivos de cobertura— podrían ayudar a equilibrar el efecto de la labranza y del cultivo continuo del arroz; el presente ensayo, no obstante, no fue diseñado para evaluar estos aspectos. (Ver, sin embargo, el Proyecto "culticore" TL02).

El N de la biomasa microbiana fue considerablemente menor en el arroz en monocultivo, y el C de la biomasa microbiana no varió mucho en la comparación del sistema de arroz y pasturas con la sabana nativa (ver los proyectos TL02 y TC02). En consecuencia, la relación C:N microbiana fue más de 1.5 veces mayor en el arroz en monocultivo continuo que en cualquier otro tratamiento. La contribución del N microbiano al contenido total de N orgánico fue también baja. El fertilizante nitrogenado residual no compensó la alta relación C:N, y es probable que la población microbiana compitiera realmente con el cultivo por el N.

El P de la biomasa microbiana fue también menor en el arroz que en el sistema de arroz y pasturas, y la relación C:P microbiana fue muy alta, lo que sugiere una posible competencia entre los microbios y el cultivo por el fertilizante fosforado. El cultivo del arroz solo también mostró una tasa de mineralización del C del suelo menor que la del sistema de arroz y pasturas, lo que indica menor actividad o menor eficiencia en el uso de la energía en la población microbiana de los cultivos

continuos de arroz. Esto se debe probablemente a que se empleó poca materia orgánica, ya que gran parte de la planta de arroz se eliminó del campo.

Los proyectos TL02 y TC-02 también indican que el método del reciclaje de nutrientes en cultivos continuos de arroz puede proporcionar una cantidad mucho menor de nutrientes (especialmente N) que el sistema de arroz y pasturas. Esto indica que la materia orgánica fresca en el arroz en monocultivo es menor y de calidad inferior.

En resumen, es probable que el rendimiento del arroz en los cultivos continuos se reduzca por causa de los siguientes factores: pérdida de las propiedades físicas del suelo, menor actividad microbiana y, además, otras razones secundarias como la incidencia de malezas.

La sostenibilidad de un monocultivo tradicional en los Oxisoles de sabana se ve bastante comprometida después del sexto año, pero es necesario seguir estudiando los procesos que determinan la degradación de los suelos bajo el monocultivo.

#### **b) Sistemas de arroz y pasturas**

En el mismo sitio se estableció con éxito un experimento a largo plazo y de dimensiones grandes (9 ha) en que el arroz (Línea 3) y las pasturas de gramíneas y leguminosas conformaban un sistema agropastoril prototipo. En 1989, el rendimiento del arroz fue, en promedio, 2 t/ha para el arroz solo o para la asociación de arroz y pasturas, sin diferencias estadísticas y con un excelente establecimiento de la pastura. Desde entonces, las pasturas se han sometido a pastoreo y se ha obtenido un aumento significativo del peso animal durante los primeros dos años (en promedio, 755 g/animal por día a comienzos de la época seca de 1990-1991) y una disminución a niveles más bajos en la época lluviosa de 1992 (540 g/animal por día). Esta tendencia es más característica de las pasturas establecidas en forma tradicional, pero con muy buen manejo, en los Oxisoles de textura mediana.

En octubre de 1992 casi habían desaparecido las leguminosas (eran 2.5% a 3.1% de la MS total/ha), y en 1993 se decidió dividir en dos las parcelas de 1 ha, y que siguiera bajo pastoreo una de las partes como testigo a largo plazo, mientras se recuperaba la otra mitad mediante la siembra de arroz y leguminosas. Se dejó que las gramíneas crecieran de las reservas de semilla del suelo. El rendimiento del arroz varió entre 2.5 y casi 4 t/ha (Cuadro 2), y se obtuvieron pasturas restablecidas de gramíneas y leguminosas. Estas parcelas se están sometiendo nuevamente a pastoreo.

En estas pasturas recién recuperadas se adicionó fertilizante sólo al arroz en 1989 y a la parte recuperada en 1993, mientras que en el arroz en monocultivo se han hecho adiciones cada año. Se están computando los formularios de adición y extracción de nutrientes de este experimento y del anterior. Hacia finales de

1992, antes de la reclamación de tierras, los niveles de nutrimentos en el suelo de las parcelas de arroz y pasturas eran casi los mismos que los de la sabana nativa original, sin agotamiento o desproporción. El pastoreo continuó en 1993-1994 en las pasturas sin recuperar, y se inició en las recuperadas. El Cuadro 3 presenta los resultados para el año en curso. En las pasturas recuperadas, los aumentos de peso animal han sido, en general, superiores a los de las pasturas sin recuperar, aunque hubo algunos problemas en el restablecimiento de *Brachiaria dictyoneura*. Esta gramínea tuvo un poco de rebrote debido a lluvias anormales ocurridas durante la estación seca, después de preparar la tierra para el cultivo del arroz; por tanto, hubo necesidad de una segunda pasada de la maquinaria para suprimir su crecimiento antes de establecer el arroz. Esta reserva agotada de semilla del suelo originó luego una población inferior a la esperada. Por tanto, *B. dictyoneura* ha probado ser menos adaptable de lo que se esperaba según los experimentos hechos anteriormente con *B. humidicola*. Los SNIA deben hacer investigación aplicada sobre este tema, y probablemente se deba hacer investigación básica sobre la dinámica de la semilla y de la población de plantas.

Al igual que en el ensayo del arroz en monocultivo, se ha hecho seguimiento a las propiedades físicas del suelo.

Los valores de la penetrabilidad del suelo arado para la renovación de pasturas mediante el arroz son significativamente menores ( $P < 0.05$ ) que los de la sabana nativa y los de las pasturas sin renovar, en el rango de profundidad de 3.5 a 17.5 cm. A mayor profundidad en el perfil, las pasturas renovadas son significativamente más compactas que la sabana nativa, pero menos compactas si se desciende más en el perfil, hasta casi los 52.5 cm, en comparación con las pasturas sin renovar (Cuadro 4). Esto indica que el pastoreo produce una compactación profunda en el suelo, pero la labranza para la renovación de la pastura revierte este efecto parcialmente, por lo menos en las capas más superficiales del suelo (Figura 2).

Otras mediciones diferentes a la penetrabilidad, como la tasa de infiltración y la densidad volumétrica (sin reportar aquí), confirman nuestras conclusiones y la interpretación de los datos.

Las tendencias de la materia orgánica y de la biomasa microbiana del suelo en este ensayo difieren de las registradas para el monocultivo prototipo (ver proyectos TL02 y TC02). El valor de C en la biomasa microbiana del sistema arroz y pasturas es similar al del arroz en monocultivo o al de la sabana nativa, mientras que el N en la biomasa microbiana fue considerablemente mayor (1.5 veces) en el sistema de arroz y pasturas que en el monocultivo de arroz. Para el P en la biomasa microbiana, el sistema de arroz y pasturas, ya sea renovado o sin renovar con arroz, presentó mayores valores (11.5 a 13.6  $\mu\text{g/g}$  de P) en 1993 que el monocultivo de arroz o en la sabana nativa (9.6  $\mu\text{g/g}$  de P); por tanto, la relación C:P microbiana es inferior en el sistema de arroz y pasturas.

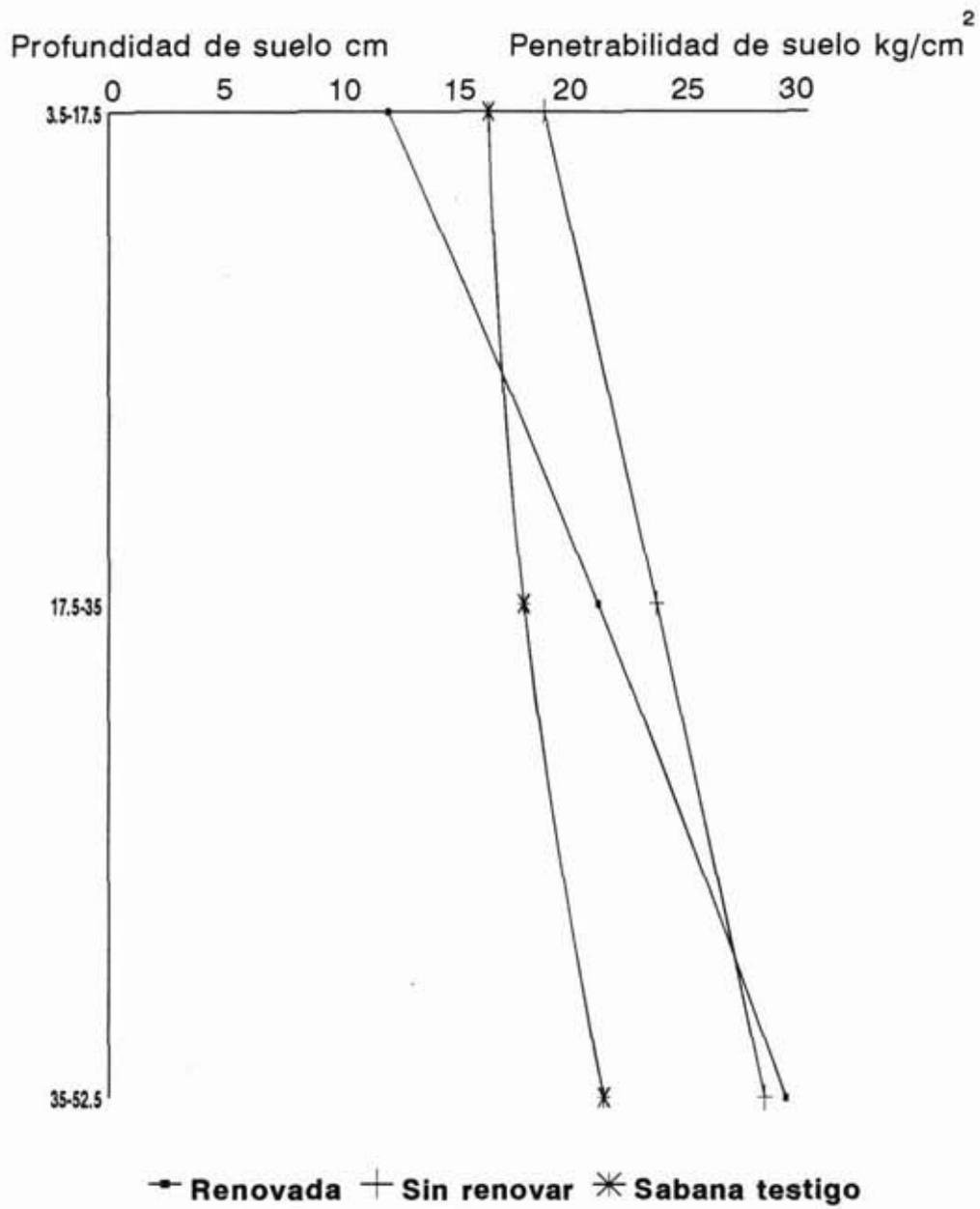


Figura 2. Valores promedio de penetrabilidad en pasturas de B. dictyoneura renovadas con arroz y sin renovar, Matazul, Llanos Orientales, Colombia, Octubre, 1993.

Hay, por tanto, una mayor renovación de materia orgánica de mejor calidad en el sistema de arroz y pasturas que en el monocultivo de arroz o en la sabana nativa. Después de seis años de seguimiento es posible afirmar que el sistema prototipo de arroz y pasturas es un sistema estable y, desde el punto de vista microbiológico, contribuye a mejorar el ambiente edáfico con las consecuencias que esto trae para el crecimiento de las plantas.

En resumen, el sistema de arroz-pasturas/ganado puede afectar las propiedades físicas del suelo, aunque de manera más reversible que el arroz en monocultivo. Además, las pasturas contribuyen al N y al P microbiano, aumentan la actividad microbiana, y mejoran tanto la calidad como la cantidad de la materia orgánica. Con el tiempo, las pasturas no sólo pueden mejorar las propiedades microbiológicas y químicas del suelo, sino también sus propiedades físicas (por ejemplo, la porosidad de suelo mediante las pasturas de raíces profundas...).

**Cuadro 1.** Valores promedio de penetrabilidad del suelo en el sexto año de monocultivo continuo de arroz de secano en Matazul, Llanos de Colombia, 1994.

Tratamiento	Profundidad del suelo (cm)			
	2.5-7.5	7.5-15.0	15.0-22.5	22.5-32.5
	Penetrabilidad (kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>			
Sabana	13.9 a	16.2 a	17.7 a	19.7 b
Arado de reja/93	10.8 b	14.7 ab	17.2 a	22.7 a
Rastra de discos/93	9.3 b	14.5 b	17.5 a	21.1 b

- a. Datos en la misma columna seguidos de la misma letra no difieren significativamente ( $P < 0.05$ ).

**Cuadro 2.** Rendimiento (kg/ha) de una línea experimental y de una variedad liberada, ambas de arroz de secano, en rotación con diferentes tipos de pasturas y sembradas con *Brachiaria dictyoneura* (Bd), *Arachis pintoi* (Ap), *Centrosema acutifolium* (Ca) y *Stylosanthes capitata* (Sc) en Matazul, Llanos de Colombia, agosto de 1993.

Pastura anterior <sup>a</sup>	Línea 3	Oryzica Sabana 6
Ag/Sc (preparación temprana del semillero) <sup>b</sup>	3671	3926
Ag/Sc (preparación tardía del semillero)	2987	3276
Bd/Ca (preparación temprana)	2853	3390
Sabana nativa (preparación temprana)	3143	2568
Bd (preparación temprana)	2511	2758
<b>Media</b>	<b>3033</b>	<b>3184</b>
<b>ES</b>	<b>161</b>	

- a. Las pasturas sembradas tenían 4 años de edad, y se habían establecido inicialmente junto con arroz (Línea 3).
- b. Preparación temprana = diciembre 1992 (comienzos de la época seca); preparación tardía = abril 1993 (comienzos de época húmeda); época de siembra = mayo-junio de 1993.

**Cuadro 3.** Ganancia de peso animal en pasturas de *Brachiaria dictyoneura* renovadas con arroz, y con leguminosas o sin ellas, en comparación con pasturas sin renovar en Matazul, Llanos de Colombia, 1993-1994.

Período	Días de pastoreo		Tasa de carga (UA/ha)			Aumento de peso <sup>2</sup> (g/animal.día)			Promedio <sup>3</sup>
	T <sub>1</sub> /T <sub>2</sub> '	T <sub>3</sub> '	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	
oct. 12-nov. 30/93	49	34	2.01	1.43	0.85	578b	-212c	1213a	526a
abr. 6-jun. 9/94	64	74	1.53	1.50	2.35	845a	396b	569b	603a
jun. 9-ago. 18/94	70	70	1.88	1.54	2.65	792a	119b	248b	386b
Total	183	168							
Promedio ponderado			1.79	1.50	2.17				
Promedio						738a	101c	676b	505

1. T<sub>1</sub> = Pastura renovada de *B. dictyoneura* + *C. acutifolium* + *A. pintoi*.  
T<sub>2</sub> = Pastura pura de *B. dictyoneura* sin renovar (testigo a largo plazo).  
T<sub>3</sub> = Pastura pura de *B. dictyoneura*, renovada.
2. Diferentes letras en la misma línea difieren significativamente (P<0.05).
3. Diferentes letras en la misma columna difieren significativamente (P<0.05).

**Cuadro 4.** Valores promedio de penetrabilidad del suelo en pasturas de *Brachiaria dictyoneura* (Bd) renovadas con arroz y sin renovar, en Matazul, Llanos de Colombia, octubre de 1994.

Tratamiento	Profundidad del suelo (cm)		
	3.5-17.5	17.5-35.0	35.0-52.5
	Penetrabilidad (kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>		
Bd renovada	12.0 c	21.0 b	29.0 a
Bd sin renovar	18.7 a	23.5 a	28.1 ab
Sabana nativa	16.3 b	17.8 c	21.2 c

- a. Datos en la misma columna seguidos de la misma letra no difieren significativamente (P<0.05).

**Título: Subproyecto TL01-1****ECOLOGÍA DE LA POBLACIÓN DE MALEZAS DENTRO DE PROTOTIPOS DE SISTEMAS DE CULTIVOS QUE SEAN SOSTENIBLES EN LOS LLANOS COLOMBIANOS**

Investigadores principales: Albert Fischer (Arroz), José I. Sanz (TB)

Colaborador: Dennis Friesen (TB)

**Justificación**

Como se indicó anteriormente, se ha aceptado ya que las malezas son un problema que afecta cada vez más tanto los sistemas de cultivo existentes en las sabanas de suelo ácido como los prototipos de sistemas de cultivo que desarrolla el CIAT. Cuando se empieza a cultivar la tierra en las sabanas, las poblaciones de malezas aumentan (Friesen, 1994). Ayarza (1994) informa que la mayoría de los sistemas de producción en los Cerrados tienen problemas de sostenibilidad, debidos principalmente a las infestaciones de malezas.

Los niveles de infestación de malezas son variables en los sistemas agrícolas, lo que indica que ciertas variables podrían ajustarse para favorecer el cultivo en detrimento de las malezas, minimizando, por tanto, la aplicación de herbicidas. Las malezas parecen asociarse con una menor sostenibilidad y, a lo mejor, algunas de ellas servirían como indicadores válidos de la degradación del acervo de recursos naturales dentro de un sistema. En consecuencia, la ecología de las malezas —y su relación con los patrones de disponibilidad de los recursos, con los sistemas de cultivo y con la labranza— debe dar indicios útiles para mejorar, o preservar, el acervo de recursos naturales y aumentar así la sostenibilidad de un sistema.

Este estudio tiene como primer objetivo estudiar la dinámica de poblaciones de las especies (nativas o introducidas) que se relacionan con los cultivos y las pasturas —dentro de los prototipos de sistemas de cultivo de los Llanos colombianos— en su relación con el manejo del cultivo y según los patrones de disponibilidad de los recursos naturales. Se examinará en más detalle el papel ecológico que la vegetación introducida debe desempeñar, y se intentará identificar aquellas especies que puedan servir como indicadores de la sostenibilidad. Un segundo objetivo del estudio es establecer tanto la importancia económica de las malezas como la necesidad de aplicar insumos externos para su manejo. Para lograrlo, se evaluarán las pérdidas del cultivo y se determinará la capacidad de los prototipos de sistemas de cultivo de suprimir cualquier vegetación indeseada.

**Materiales y Métodos**

En 1994 se establecieron experimentos de campo en la Finca Matazul, en los Llanos colombianos, bajo la dirección de los Drs. J.I. Sanz y D. Friesen. En este

informe se discuten los datos preliminares obtenidos en tres experimentos, que se detallan a continuación.

El primer experimento se estableció en un área que había sido cultivada durante cinco años consecutivos con arroz solo. Se combinaron tres niveles de P, K, Zn y cal dolomítica con dos alternativas de cultivo: arroz en monocultivo y arroz sembrado con *Stylosanthes capitata*. Se aplicaron herbicidas al cultivo del arroz y durante el establecimiento de la leguminosa. El segundo experimento se realizó en un área cultivada con arroz después de un cultivo de soya. En 1990 se sembró arroz y luego se dejó el terreno en barbecho hasta 1993, cuando se sembró arroz seguido de soya en el segundo semestre; en 1994 se sembró allí arroz solo o en asociación con especies forrajeras. El tercer experimento se estableció en un terreno que anteriormente se hallaba bajo sabana nativa. En 1994 se sembró arroz, y los tratamientos evaluaban diferentes maneras de incorporar los residuos de la sabana. Por ser éste un estudio a largo plazo, los experimentos continuarán durante otros tres años.

El área mínima de muestreo, que se determinó según Bonham (1989) y Walter (1983), comprendía 10 cuadrados de 0.5 m<sup>2</sup> por parcela. Para cada experimento se definieron tres subparcelas dentro de cada parcela: 1) un testigo sin desyerbar, 2) un testigo libre de malezas y 3) un tratamiento estándar de control de malezas, donde se registraron la densidad de las malezas (no./m<sup>2</sup>), la cobertura de las mismas (evaluación visual), y el rendimiento del arroz. Para el estudio a largo plazo, se establecieron puntos fijos en cada parcela, en la que se hizo también un seguimiento a la densidad y a la cobertura de las malezas. Un transecto en zigzag, colocado a lo largo de los puntos antes mencionados, ha permitido hacer estimaciones adicionales de la cobertura. Estas evaluaciones se hacen aproximadamente 45 días después de la emergencia del arroz y en el momento de su cosecha. Otros datos que se recopilan son la cantidad de nutrimentos en el suelo, la humedad del suelo y la biomasa de las especies.

Se analizó el rendimiento del arroz mediante el análisis de varianza, y se sometieron los datos sobre la abundancia relativa de la especie (un valor sintético de importancia que se define como el promedio de la densidad relativa y la frecuencia relativa de una especie dada) a análisis discriminario canónico (CDA), según Derksen et al. (1993 y 1994). El CDA permite establecer los principales factores que afectan la composición relativa de especies en las comunidades de malezas (Derksen et al., 1993). Dada una determinada variable de clasificación, el CDA deriva combinaciones lineales (variables canónicas) que cuantifican la variabilidad que existe entre los niveles de la variable de clasificación. Los coeficientes que recibe la variable canónica indican el aporte relativo de cada especie hacia esa variable canónica (Johnson y Wichern, 1992; SAS Inst. Inc., 1989). El análisis se realizó utilizando SAS, versión 6.09.

## Resultados y Discusión

En el Cuadro 5 se enumeran las especies encontradas. En el monocultivo de arroz se desarrollaron poblaciones de malezas que redujeron severamente el rendimiento del arroz (Figura 3) aun cuando se aplicaron herbicidas (Cuadro 6). Al relacionar la densidad de las malezas con la pérdida en el rendimiento, la cobertura de las malezas (en cuanto se relaciona con la competencia por luz) expresó mucho mejor la presión de las malezas que el número real de malezas por unidad de área (Figura 3). Las malezas redujeron también el rendimiento del arroz después de hacer rotación con otros cultivos o con sabana nativa (Cuadro 6), aunque en menor grado. Las adiciones de P, K y cal dolomítica a un cultivo sin desyerbar dieron pérdidas aún mayores debido a la competencia de las malezas (Cuadro 7).

El CDA no puede identificar interacciones y, por tanto, se formaron dos grupos con diferentes combinaciones de los diversos efectos experimentales estudiados (P, K, cal, monocultivo de arroz, arroz y pasturas) y con los datos del primer experimento (arroz después de 5 años de monocultivo). La primera agrupación se presenta en el Cuadro 8 y la segunda en la Figura 4. En la primera agrupación, la composición real de las comunidades de malezas fue diferente cuando se comparó el cuadrado de las distancias de Mahalanobis entre los centroides de agrupación (datos sin presentar) (Cuadro 8). Según los coeficientes canónicos, *Axonopus purpurii* fue la especie que más se asoció con la baja fertilidad, mientras que *Centrosema pubescens* se asoció principalmente con el grupo de alta fertilidad (Cuadro 8). En el caso de la segunda agrupación, los grupos 1 y 3 representaron diferentes comunidades de malezas ( $p < 0.05$ ), según la comparación de los grupos 2 vs. 3 y de los grupos 2 vs. 4 (datos sin presentar). Las funciones canónicas 1 y 2 explicaron el 68% y el 30%, respectivamente, de la variabilidad entre los tratamientos de la segunda agrupación (Figura 4). En el momento de registrar los datos, la pastura recién sembrada no había afectado la composición de las comunidades de malezas, según lo indica la falta de diferencias ( $p > 0.05$ ) entre los grupos 1 y 2 y entre los grupos 3 y 4 (datos sin presentar), y la proyección corta de los vectores de la mayoría de las especies (Figura 4). *C. pubescens* y *Paspalum multicaule* fueron indicadores de niveles de fertilidad más altos, según lo indican sus vectores, mientras que *A. purpurii* y *Digitaria sanguinalis* (una especie ruderal conocida) se relacionaron con niveles de fertilidad más bajos (Figura 4).

Es evidente el efecto negativo que tienen las malezas en la sostenibilidad de los monocultivos de arroz, ya que fue mucho mayor la respuesta del rendimiento a la desyerba que a la mayor fertilidad (Cuadro 6). Es posible que algunas de estas malezas se hayan introducido en los Llanos con el avance de la agricultura. Cuando se aplicó fertilizantes a un cultivo de arroz sin desyerbar, el rendimiento se redujo por la competencia de las comunidades de malezas. Esas comunidades se habían desplazado hacia especies que prosperan en condiciones mejoradas, según lo indica el análisis de CDA. En ambientes similares, ya se había observado que las malezas pueden absorber mayor cantidad de Ca y de K que el arroz (Sanz, 1994).

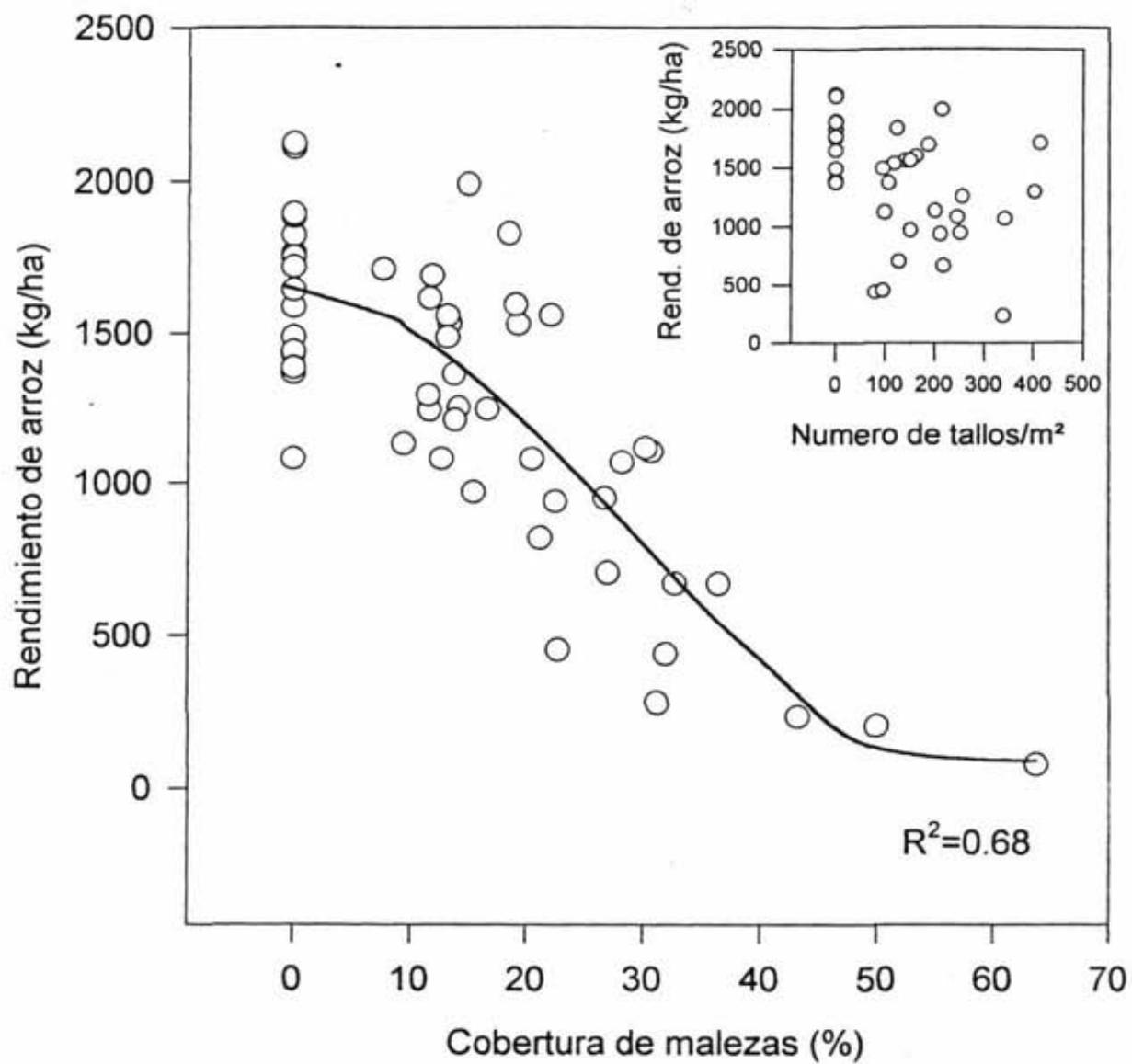


Figura 3. Reducciones de rendimiento por infestaciones de malezas luego de cinco años de monocultivo de arroz.

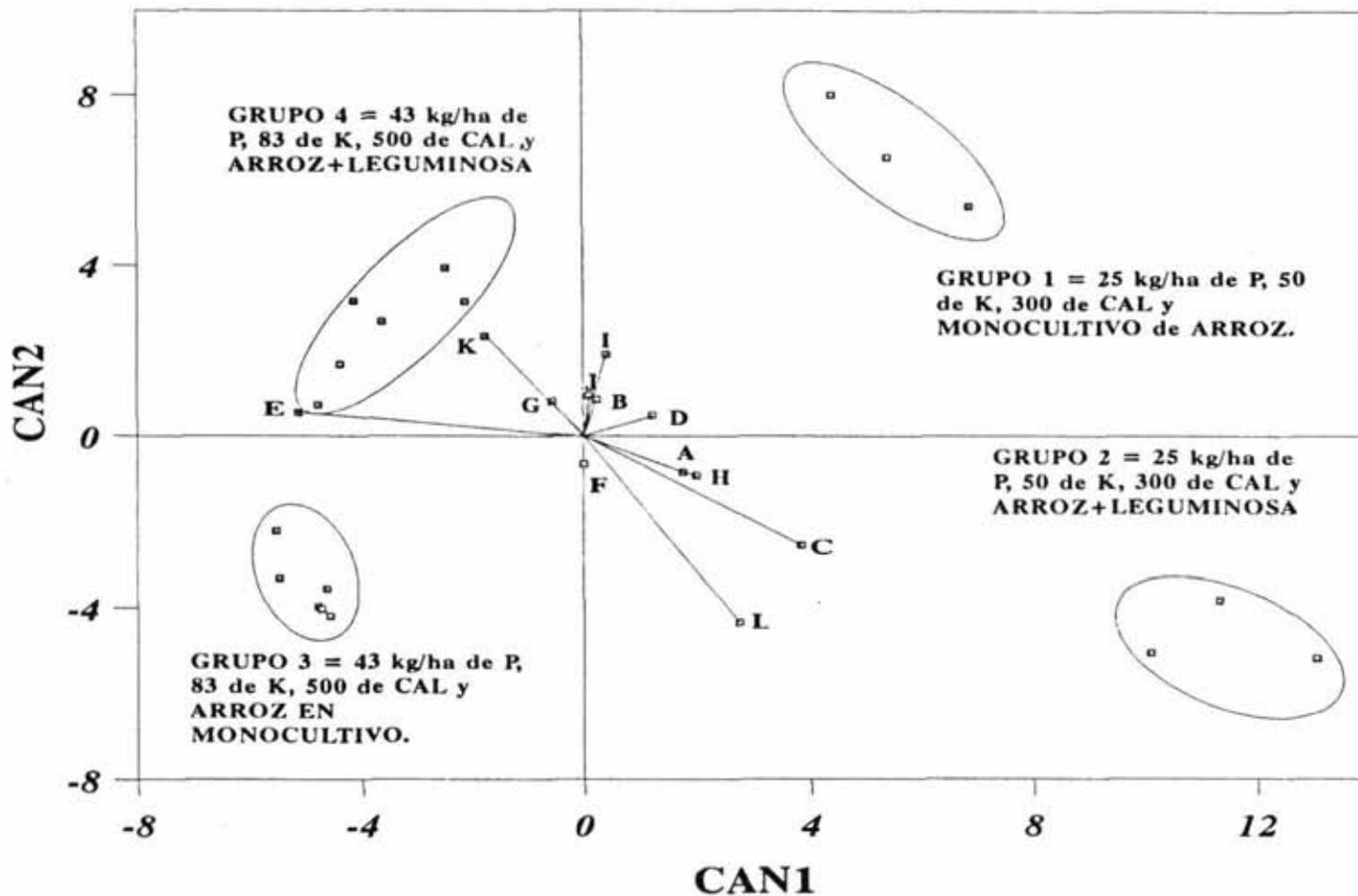


Figura 4. Diagrama de ordenación del análisis de discriminación canónica para grupos consistentes en combinaciones de dos niveles de fertilización con dos sistemas de cultivo, y gráfico de vectores para cada especie según su asociación con los tratamientos. Los símbolos corresponden a los sitios de observación y su posición está en función de la composición relativa de sus especies. La significancia de las diferencias entre tratamientos se discute en el texto. La asociación entre las especies y los símbolos puede inferirse de la dirección de los vectores. La longitud de los vectores indica que tan significativas son esas asociaciones.

Con la actual presión de las malezas, se necesitará aplicar un control externo a las malezas en los monocultivos de arroz. Además, en vista de la flora existente, se pueden requerir combinaciones de herbicidas que tengan un espectro de control más amplio, con el consiguiente impacto en la economía agrícola, en el ambiente y en la salud humana. El CDA puede ayudar a identificar el papel ecológico de las especies dentro de las comunidades vegetales. Si se conocen los principales papeles ecológicos que desempeñan las malezas y las pasturas, se puede escoger una especie forrajera que ocupe con éxito los nichos abiertos por los nuevos insumos agrícolas y reemplazar algunas de las malezas. Una de las leguminosas evaluadas se relaciona estrechamente con altos niveles de P y de cal (Figura 4); esto le convendría también a otras leguminosas forrajeras. Por tanto, el CDA es una técnica promisoría para analizar poblaciones de plantas y para identificar especies relacionadas con ciertos patrones de disponibilidad de los recursos. Estudios posteriores relacionarán la abundancia relativa de las especies con otros parámetros agronómicos y del suelo.

## Referencias

- Ayarza, M.A. 1994. Sustainable agropastoral systems for the Cerrados. En: CIAT - Savannas Program. Biennial report 1992-1993. Working Document no. 134. p. 67-85.
- Bonham, C.D. 1989. Measurements of terrestrial vegetation. J. Wiley & Sons. Nueva York.
- Derksen, D.A.; Lafond, G.P.; Gordon Thomas, A.; y Swanton, C. 1993. Impact of agronomic practices on weed communities: Tillage systems. Weed Sci. 41:409-417.
- Derksen, D.A.; Gordon Thomas, A.; Lafond, G.P.; Loeppky, H.; y Swanton, C. 1994. Impact of agronomic practices on weed communities: Fallow within tillage systems. Weed Sci. 42:184-194.
- Friesen, D.K. 1994. Nutrient cycling. En: CIAT - Savannas program. Biennial report 1992-1993. Working Document no. 134. p. 1-13.
- Johnson, R.A. 1992. Applied multivariate statistical analysis. Third edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- S.A.S. Institute Inc. 1989. User's guide, version 6. Fourth edition, volume 1. Cary, NC, S.A.S. Institute Inc.
- Sanz, J.I. y Vera, R.R. Prototype cropping and farming systems. En: CIAT - Savannas Program. Biennial report 1992-1993. Working Document no. 134. p. 51-65.

Walter, H. 1983. Weed sampling in the field and interpretation of sampling data. En: H. Walter (ed.). PLITS: Weed management in the Philippines: Report of seminars. Stuttgart, Alemania. p. 65-80.

**Cuadro 5.** Especies encontradas en el experimento después de cinco años de monocultivo del arroz (Matazul, 1994).

Nombre científico	Familia	Letra del vector <sup>1</sup>
<i>Hyptis</i> sp.	Lamiaceae	A
<i>Gymnopogon foliosus</i>	Poaceae	B
<i>Axonopus purpusii</i>	Poaceae	C
<i>Colocasia esculenta</i>	Araceae	D
<i>Centrosema pubescens</i>	Fabaceae	E
Pendiente clasificación	---	F
<i>Emilia sonchifolia</i>	Asteraceae	G
<i>Croton rhamnifolius</i>	Euphorbiaceae	H
<i>Stylosanthes capitata</i>	Fabaceae	I
<i>Chamaecrista nictitans</i>	Fabaceae	J
<i>Paspalum multicaule</i>	Poaceae	K
<i>Digitaria sanguinalis</i>	Poaceae	L

1. La letra identifica el vector en el diagrama de discriminación canónica.

**Cuadro 6.** Rendimiento del arroz (kg/ha) en diferentes sistemas de cultivo, según el efecto que le hacen diferentes niveles de infestación de malezas (Matazul, 1994).

Sistema de cultivo	Infestación de malezas			DMS 0.05 (kg/ha)
	Sin desyerbar	Libre de malezas	Testigo estándar	
Después de 5 años de monocultivo de arroz	732	1652	1475	156
Después de soya	2072	2379	2186	117
Después de la sabana nativa	1640	1873	1735	110

**Cuadro 7.** Efecto de dos niveles de fertilización en las pérdidas de rendimiento (kg/ha) del arroz (después de cinco años de monocultivo del arroz) causadas por la competencia de las malezas (Matazol, 1994).

	Fertilización			Infestación de malezas		
	P	K	Cal	Sin desyerbar	Libre de malezas	Testigo
<b>a</b>	25	50	300	1023	1726	1590
<b>a</b>	43	83	500	603	1787	1560
				<b>b</b>	<b>b</b>	<b>b</b>

- Para comparar los niveles de infestación de malezas dentro de un mismo tratamiento de fertilización, DMS (0.05) = 319 kg/ha.
- Para comparar los niveles de fertilización para el mismo nivel de infestación de malezas, DMS (0.05) = 501 kg/ha.

**Cuadro 8.** Resultados parciales del análisis de discriminación canónica para dos niveles de fertilización, con datos de un experimento realizado después de 5 años consecutivos de monocultivo de arroz (Matazol, 1994).

Grupo	P	K	Cal
1	25	50	300
2	43	83	500

Prob. > Distancia Mahalanobis de los grupos 1 a 2 = 0.0073	
Coeficientes estandarizados más altos de la muestra total para la variable canónica:	
<i>Axonopus purpurii</i>	1.76
<i>Centrosema pubescens</i>	-3.55



**Título: Subproyecto TL01-2**  
**ADOPCIÓN DE SISTEMAS DE ROTACIÓN DE CULTIVOS Y PASTURAS DE CORTA DURACIÓN EN LOS LLANOS COLOMBIANOS**

Preparado por: José Vicente Cadavid y Joyotee Smith

Los sistemas de producción en las áreas de sabana de mayor explotación agrícola (principalmente en el centro-sur de los Cerrados y en la sabana occidental de Venezuela) se caracterizan por el monocultivo continuo y la labranza continua, utilizando maquinaria pesada. Aunque estos sistemas son rentables, causan erosión y compactación del suelo, reducen la actividad microbiológica del mismo, disminuyen la calidad de la materia orgánica y ocasionan la pérdida de las propiedades físicas del suelo. La acumulación de plagas es también una característica de estos sistemas. En esas áreas se practica también la ganadería semi-intensiva; cerca del 54% del área cubierta con pasturas consta de pasturas sembradas, con cargas de cerca de 1.24 UA/ha de pastura sembrada. El área restante de la sabana se caracteriza principalmente por tener fincas ganaderas extensas, que tienen principalmente gramíneas de la sabana nativa cuyas tasas de carga son bajas, a veces menores que 0.2 UA/ha. La degradación de las pasturas es común en ambos sistemas, con partes peladas que llevan a la erosión y a la infestación de malezas.

La tecnología de cultivos y pasturas se desarrolló en respuesta a los problemas antes descritos. Se siembra un cultivo anual y una pastura de gramíneas y leguminosas. Se fertiliza el cultivo anual, y la pastura se beneficia de la fertilidad residual, haciendo que el establecimiento de la pastura sea más rápido y la calidad de ésta mejor. Esto permite someter la pastura a pastoreo inmediatamente después de cosechar el cultivo (en este caso, el arroz). Después del pastoreo, que dura aproximadamente tres años, la pastura se renueva mediante la nueva siembra del cultivo anual fertilizado y de la leguminosa.

El concepto de tecnología de cultivos y pasturas se basó en la visión de un desarrollo agrícola intensificado y sostenible en toda la sabana. Se esperaba que la intensificación de las actividades en las sabanas aumentaría los retornos a la inversión de capital en el área, y desviaría el capital empresario del bosque húmedo tropical de la región amazónica. Se esperaba también que esa intensificación restringiría la expansión de la frontera agrícola en la sabana y, por tanto, ayudaría a conservar las especies vegetales y animales. Dentro de esa visión, el objetivo de la tecnología de cultivos y pasturas era proporcionar una alternativa sostenible al monocultivo continuo en áreas intensificadas, inducir la intensificación en áreas extensas sin la degradación de los recursos que caracterizaba el monocultivo continuo, y contribuir a la conservación de los recursos mediante la renovación de pasturas degradadas y la preservación de la calidad de las pasturas. Se esperaba que el sistema de rotación de cultivos y pasturas de corta duración lograría ese propósito, al eliminar la labranza durante la fase de pastura en la rotación y al

mantener la calidad de la pastura mediante el efecto residual del fertilizante que se aplicaba al cultivo anual. La disponibilidad de cultivares de arroz y maíz tolerantes a suelos ácidos indicó que se podría reducir sustancialmente la aplicación de cal correctiva. Las pasturas de gramíneas y leguminosas se consideraron más sostenibles que las pasturas de gramíneas solas, ya que los agricultores se mostraron renuentes a fertilizar las pasturas en vista del largo período de espera antes de obtener utilidades. Además de fijar nitrógeno, las leguminosas estimulan también la actividad biológica del suelo y mejoran el reciclaje de nutrientes, el valor nutritivo del forraje, y la capacidad de captar carbono del sistema. El sistema ha mostrado también que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo si lo comparamos con los cultivos anuales y las gramíneas de la sabana nativa. Al mismo tiempo, se esperaba que el flujo de efectivo, en comparación con el sistema de pasturas solas, sería mejor porque un cultivo anual estaría disponible para la venta pocos meses después de incurrir en el costo de establecimiento de la pastura, y la pastura estaría lista para pastoreo inmediatamente después de la cosecha del cultivo. Se esperaba que la calidad de la pastura se mantuviera porque el incentivo de obtener ingresos en efectivo del cultivo anual conduciría a la siembra de un cultivo más o menos cada cuatro años y se proporcionaría, por tanto, fertilizante de mantenimiento a la pastura.

A medida que se caracteriza la sabana y se analiza la dinámica del uso de la tierra se están examinando algunas de las suposiciones en que se basa esta estrategia. El estudio presentado a continuación da información sobre una de estas suposiciones: la tecnología puede inducir una intensificación en áreas extensas. Si esta suposición es correcta, el desarrollo de tecnologías debe centrarse en tecnologías intensivas. Si no es correcta, se puede proponer un portafolio muy diferente de tecnologías que concilie la demanda de tecnología con las estrategias de manejo del ecosistema.

En 1990 se hizo el análisis económico de la tecnología de cultivos y pasturas, con arroz como el cultivo anual, partiendo de los resultados de ensayos realizados en condiciones experimentales controladas. Se obtuvieron tasas de retorno internas que fueron atractivas para la producción de carne de res en fincas de mediana y gran escala, pero no en fincas pequeñas; esto indica la existencia de economías de escala. Los rendimientos de arroz (2 a 2.5 t/ha) fueron lo suficientemente altos para compensar los costos de producción del arroz y hacer un aporte sustancial al costo de establecimiento de la pastura.

El sistema de arroz y pasturas proporcionó también ingresos netos positivos a partir del tercer año, y no a los cinco años como ocurre en las pasturas establecidas sin arroz. Mientras la tecnología ofrece estas ventajas, requiere de mayor inversión de capital y de un manejo más intensivo que el sistema tradicional basado en gramíneas de la sabana nativa o que el sistema de pasturas sembradas. Para cambiar el sistema tradicional a uno de pasturas mejoradas de gramíneas solas, hay que llenar varios requisitos como la preparación de la tierra, la colocación de cercas y el costo de la semilla de las gramíneas. También pueden requerirse más

animales para obtener retornos oportunos de las pasturas mejoradas, y se puede precisar una inversión adicional significativa en el manejo. El sistema tradicional puede ser administrado por terratenientes ausentistas que hacen visitas ocasionales a la finca y dejan la administración diaria de ésta a la mano de obra contratada, que tiene relativamente poca capacitación. Las pasturas de gramíneas sembradas requieren un pastoreo y una rotación controlados de los animales para evitar el sobrepastoreo, por una parte, y el crecimiento excesivo de las gramíneas, por la otra. Por tanto, es probable que el manejo apropiado por terratenientes ausentistas exija el costo del contrato de un administrador capacitado que resida en la finca. El cambio a pasturas de gramíneas y leguminosas implica un manejo aún más intensivo, puesto que se debe mantener el equilibrio adecuado entre las gramíneas y las leguminosas; esto requiere un mayor control del pastoreo, el establecimiento de potreros adicionales para rotar los animales y, en consecuencia, más cercas. Las semillas de las leguminosas son más costosas que las de las gramíneas, y son más difíciles de producir en la finca. Es necesario también invertir en la ampliación del hato para recuperar el capital y los costos adicionales de manejo.

Un cambio al sistema de rotación de cultivos y pasturas de corta duración requiere una cosechadora combinada, una sembradora a chorillo, fertilizantes e insecticidas para el cultivo anual. Pero, más importante aún, el componente "cultivo" requiere un seguimiento constante y, en consecuencia, un cambio de actitud en aquellos administradores habituados a dejar las pasturas sin revisar durante varias semanas sin que esto les cause implicaciones serias. Las gramíneas de la sabana nativa, las pasturas de gramíneas solas, las pasturas de gramíneas y leguminosas, y los sistemas de rotación de cultivos y pasturas de corta duración se ubican en un continuo de inversión creciente respecto a capital y a manejo. Cuando el valor de la tierra es bajo, los aumentos en la producción pueden obtenerse en forma más económica mediante la expansión del área que mediante la intensificación de los insumos de capital y de manejo por unidad de área. Hay pocos incentivos para maximizar los retornos por unidad de área, porque la tierra es un recurso que abunda. Los agricultores prefieren tecnologías que requieran una mínima inversión por área. Esto explica la frecuencia del pastoreo extensivo de las gramíneas de la sabana nativa en áreas donde el valor de la tierra es bajo. La producción aumenta a medida que el hato se amplía naturalmente en el tiempo. Como hay abundante tierra, el hato, ya ampliado, se mantiene haciéndolo pastorear mayor área cubierta con gramíneas de la sabana nativa o quemando la sabana, o utilizando zonas más bajas durante la época seca. A medida que el hato crece más allá de los límites de estas prácticas, se presenta el sobrepastoreo. La siembra de una pequeña área de pasturas mejoradas es una alternativa al sobrepastoreo, y es también una manera de mejorar la alimentación animal y, en consecuencia, las tasas de reproducción. Por tanto, se puede inducir la adopción de pequeñas áreas de pasturas mejoradas mediante el aumento natural del tamaño del hato. A medida que aumenta el valor de la tierra, vale la pena quedarse con la tierra solamente si se obtienen altos retornos por unidad de área, haciendo que la inversión en capital y en manejo sea más atractiva. Una infraestructura mejorada induce un incremento en el valor de la tierra, pero reduce los márgenes de mercadeo y aumenta los precios del producto

en relación con los precios de los insumos, lo que promueve aún más un mayor uso de insumos. Es probable que, si se avanza a lo largo del mejoramiento continuo de tecnología, se requiera que el valor de la tierra aumente y que la infraestructura mejore. En ausencia de estas condiciones previas, es poco probable que la tecnología pueda inducir la intensificación. Por otra parte, si existen las condiciones previas, la intensificación es improbable si falta la tecnología que haga que la intensificación sea rentable.

Este estudio investiga la adopción de pasturas mejoradas en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán (Departamento del Meta) en la sabana colombiana, que es parte de la región denominada Orinoquia (Figura 1). En 1989 y 1992 se estudiaron 73 fincas seleccionadas al azar; se excluyeron de la muestra aquellas fincas cuyo tamaño era menor que 40 ha.

La sabana colombiana se caracteriza por tener suelos altamente ácidos (pH de 3.8 a 5.0), con altos niveles de aluminio (>80%). La precipitación anual es de 1700 a 2500 mm, y la estación seca dura de 3 a 4 meses. El pastoreo extensivo es la principal forma de uso de la tierra; la mayor parte de la vegetación consta de gramíneas de sabana nativa. Se encuentran áreas boscosas dentro de la sabana, bosques de galería a lo largo de los lechos de los ríos; es en estas áreas donde los pequeños cultivadores tienden a ubicarse. También se encuentran poblaciones autóctonas nómadas de cazadores y recolectores. La mayoría de esas poblaciones está en proceso de sedentarización, y el número de sus pobladores está disminuyendo rápidamente.

El Departamento del Meta se ha desarrollado más rápidamente que el resto del país; las tasas de crecimiento de PIB son de 6.82% (de 1970 a 1990) y de 7.05% (de 1980 a 1990), en comparación con 3.5% y 4.0% para el resto del país. Esto se debe a la reciente evolución de la agricultura comercial y a las inversiones que se relacionan con el petróleo. Meta contribuye con el 3% del producto agrícola nacional y con el 2.7% de la producción mineral. Sin embargo, se debe señalar que la zona agrícola más importante —el piedemonte— no forma parte del ecosistema de la sabana.

Villavicencio, el principal centro urbano del Meta, ha tenido un importante desarrollo en los últimos años como centro de distribución de artículos de consumo para las instalaciones petroleras de la parte oriental del país. En 1985, la densidad de población en el Meta era de 5.5 habitantes/km<sup>2</sup>, y se prevé que aumentará a cerca de 8 habitantes/km<sup>2</sup> en 1995; 60% de la población vive en las áreas urbanas. Por tanto, la densidad de la población rural es extremadamente baja.

El transporte es una de las principales limitaciones en el Meta. En la Orinoquia, sólo un 16% de las carreteras están pavimentadas. Los pueblos de Puerto López y Puerto Gaitán, que quedan dentro del área de estudio, están localizados a 94 y 207 km de Villavicencio, respectivamente. La carretera Puerto López-Villavicencio se pavimentó a comienzos de los 80, pero es difícil el acceso a las fincas que no están

ubicadas sobre la carretera principal o que están en los caseríos, porque no existen, a veces, caminos o porque éstos sólo se pueden utilizar en ciertas épocas del año. Se espera que los recientes descubrimientos de petróleo y de gas natural en las sabanas orientales conduzcan a mejorar significativamente las principales carreteras; sin embargo, al menos a corto plazo, los caminos que van desde las fincas hasta los mercados seguirán siendo probablemente deficientes. En la actualidad, se están haciendo mejoras importantes a la carretera que conduce de Villavicencio a la capital, Bogotá, a unos 90 km de distancia.

La zona de estudio se caracteriza, por tanto, por su ganadería extensiva tradicional sus suelos poco fértiles, una densidad de población rural muy baja, y un proceso de cambio de una infraestructura deficiente a otra de nivel intermedio. Aunque el área puede considerarse bastante representativa de las sabanas de América Latina, en términos de la fertilidad del suelo se ubica en el extremo desfavorable, y en términos de infraestructura está en el proceso de cambio de un estado típico hacia una posición más favorable. La tasa de cambio que el área experimenta es más rápida que en otras regiones, como la sabana brasileña, donde se está desacelerando el proceso de expansión de las fronteras.

Los datos del estudio confirman que están sucediendo cambios rápidos en el área de estudio. Entre 1979 y 1992, el tamaño promedio de la finca disminuyó significativamente, de cerca de 5000 ha a 1551 ha, aparentemente por efecto de los nuevos agricultores que colonizaron el área. De las fincas de la muestra, el 52% se adquirieron después de 1981, y de éstas cerca del 22% se adquirieron después de 1990. Esto ha cambiado el tipo de población agrícola que existe en el área. Anteriormente, la mayoría de los agricultores habían sido dueños de sus tierras durante mucho tiempo. Algunos de ellos, generalmente los que tenían niveles inferiores de educación y, en consecuencia, menor costo de oportunidad, residían en la finca, siendo la subsistencia su principal motivo. Otros eran dueños ausentistas que provenían de familias de tradición ganadera que habían adquirido su tierra por herencia. Ambas categorías consideraban la tierra como un recurso económico que abundaba, porque la habían adquirido sin gastos de capital de su parte. Por tanto, su prioridad era un sistema que requería poco manejo o inversión de capital por unidad de área. En cambio, en 1992, el 31% de los agricultores ya empleaba administradores residentes que eran técnicamente calificados, el 32% pagó por asistencia técnica, y el 53% tenía su propio tractor (Cuadro 1). Los niveles de educación eran altos: el 41% tenía educación universitaria. Sólo el 21% vivía en la finca, y el 64% residía en Bogotá. Se desconoce el número de compras de tierra que se hicieron por motivos ajenos a la producción. Sin embargo, los datos indican que se están haciendo inversiones productivas en la tierra.

La adopción de pasturas mejoradas en el área de estudio aumentó a una tasa anual de 14% entre 1978 y 1992. En 1992, 173,000 ha —o sea, el 17% del área agrícola— se sembró con pasturas mejoradas. Sólo en el 18% del área mejorada había pasturas de gramíneas y leguminosas, y el 1.5% de esta área se sembró utilizando la tecnología de cultivos y pasturas; el 82% contenía pasturas de

gramíneas solas (Cuadro 2). Sólo en 1991 se liberó una variedad mejorada de arroz que tolera los suelos ácidos. Por tanto, no es sorprendente el bajo nivel de adopción del sistema de rotación de cultivos y pasturas de corta duración. La gramínea que se cultiva más ampliamente es *B. decumbens*; esta especie nunca se liberó oficialmente en Colombia, aunque sí se liberó en otros países de América Latina, comenzando por Cuba en 1987. La gramínea que le sigue en popularidad es *B. humidicola*, que se liberó en Colombia en 1992 y en otros países a partir de 1985. En ambos casos, la adopción de estas gramíneas ocurrió espontáneamente; los agricultores obtuvieron el material de otros países y, en forma extraoficial, de las estaciones experimentales situadas en Colombia. En 1992 ya habían sembrado 125,000 ha. En cambio, aunque *S. capitata*, la leguminosa que más se cultiva en la actualidad, se liberó en 1983, sólo era adoptada en 28,000 ha en 1992. Es también notable que aunque sólo el 17% del área agrícola total se sembró con pasturas mejoradas (de cualquier tipo), más del 98% de los agricultores habían adoptado una. Aparentemente, los agricultores comenzaban con una pequeña área de pastura mejorada, y gradualmente la ampliaban a medida que había capital disponible. Más del 90% de los agricultores aumentó el área que tenían en pasturas mejoradas con el tiempo; entre 1978 y 1981, el área cubierta con pasturas mejoradas aumentó en forma relativamente lenta (9.6% p.a.), siendo más notorio el aumento a partir de entonces (15.5% p.a.).

Los datos del estudio indican diferencias importantes entre las prácticas recomendadas por el CIAT y las usadas por el agricultor: el 31% de las parcelas no se fertilizan en el momento del establecimiento, el 96% no recibe fertilización de mantenimiento, y el 75% nunca se renuevan. De los agricultores que sembraron *B. decumbens*, el 76% dijo que la productividad del pasto había disminuido en comparación con la de los primeros dos años después del establecimiento; de estos agricultores, el 43% afirmó que la productividad se redujo en 50% o más. Observaciones ocasionales indican que el sobrepastoreo de las parcelas de pasturas mejoradas durante la época seca puede haber contribuido a la degradación de la pastura.

Alrededor del 75% de los productores se dedicaba a actividades de cría (vacas y terneros); el resto tenía además un poco de ganado de engorde. Aunque el número de productores que sacaba ganado de engorde aumentó de 21% en 1979 a 28% en 1989, la diferencia no fue estadísticamente significativa.

El análisis de regresión en serie cronológica durante el período 1978-1992 indicó que la construcción de la carretera pavimentada entre Villavicencio y Puerto López tuvo un efecto estadísticamente significativo en la acumulación neta de área sembrada de pasturas mejoradas, al igual que en el aumento, en términos reales, del PIB agrícola y de la oferta de carne (Cuadro 3). Era de esperarse que la carretera pavimentada estimularía el uso de tecnologías de altos insumos al aumentar el valor de la tierra y al reducir la relación precio de insumos:precio de producción, mientras que las otras variables representan condiciones de mercado que generalmente favorecen la agricultura.

El análisis de regresión interseccional indicó que los adoptadores eran los que invertían en sus fincas; los que poseían tractores eran los que tenían administradores agrícolas y pagaban asistencia técnica. Otros factores indicaron que la adopción aumentó con el valor de la tierra. El área cubierta con pasturas mejoradas fue mayor en las fincas que poseían títulos de tierra legales y estaban ubicadas cerca de Puerto López. Igualmente, hubo una relación negativa entre el área de pastura mejorada y el área agrícola explotada en el bosque. La extensa área cubierta con bosques indicó una abundancia de tierra que hizo innecesaria la adopción de tecnologías intensivas.

En contraposición a puntos de vista generalizados, la residencia en la finca se relacionó negativamente con la adopción. Esto puede deberse a que los que residían en los centros urbanos tenían mejor acceso al capital y tenían, en consecuencia, mayor probabilidad de adoptar tecnologías que requieren una considerable inversión de capital. Estos propietarios de mayor capital pudieron adoptar tecnología intensiva de manejo, a pesar de residir fuera de la finca, mediante la contratación de administradores residentes que estaban capacitados. Sorprendentemente, los años de educación se relacionaron negativamente con la adopción. Cuando se preguntó a los agricultores acerca de sus exigencias, ellos respondieron que querían pasturas de alto valor nutritivo, que fueran persistentes, adaptadas a los suelos de la región y resistentes a plagas. Más importante aún, querían pasturas que reunieran esas condiciones bajo su propio nivel de manejo. La persistencia de las leguminosas, dado el sistema de manejo del agricultor, es un problema específico. Los agricultores se muestran renuentes a cambiar su nivel de inversión y de manejo con el fin de aprovechar las nuevas tecnologías.

Los resultados de este estudio son coherentes con la predicción teórica de que se tienen que cumplir las condiciones previas —mayor valor de la tierra y mejor infraestructura— antes de adoptar tecnologías que requieran mayor inversión de capital y de intensidad de manejo. Las pasturas de gramíneas y leguminosas y los sistemas de rotación de cultivos y pasturas de corta duración parecen requerir un nivel de inversión de capital y de manejo mucho mayor de lo que los agricultores en el área de estudio están dispuestos a aceptar en este momento. Parece que hasta las recomendaciones de pasturas de gramíneas solas son demasiado intensivas, dado el valor actual de la tierra y los niveles actuales de infraestructura. En efecto, la principal fuerza motriz de la adopción puede haber estado en los aumentos naturales del tamaño del hato. Hay indicaciones, sin embargo, de que es probable que haya mejoras importantes en la infraestructura del área de estudio, y esto llevará probablemente a la adopción de tecnologías más intensificadas. Sería muy importante, por tanto, hacer un estudio detallado de los objetivos, recursos y prácticas de los propietarios para poder guiar la modificación de la tecnología y satisfacer así mejor las necesidades de los agricultores. El resultado puede ser especialmente benéfico en vista de la evidente capacidad de esa tecnología de captar carbono atmosférico, en un momento en que aparecen en los mercados internacionales los servicios de captación de carbono. Sin embargo, se debe

señalar que este pronóstico puede resultar minado si la actividad guerrillera y el comercio de drogas continúan sin control en esa región.

Es probable que una gran parte de las sabanas de América Latina permanezca con una infraestructura más deficiente que la del área de estudio, a mediano plazo. Se requiere caracterizar la heterogeneidad que existe dentro de la sabana para aplicar con más precisión las tecnologías existentes y desarrollar el perfil de las alternativas tecnológicas apropiadas. Es evidente la necesidad de realizar un estudio de adopción en las áreas de actividad más intensa de la sabana, como son el centro-sur de la sabana brasileña que parece ser el objetivo más apropiado, según estudios hechos ex ante. Se requiere un plan de uso de la tierra para las sabanas, basado en consideraciones tanto socioeconómicas como biofísicas, que determine si el desarrollo agrícola es deseable en zonas remotas de la sabana o si esas áreas se deben reservar para propósitos conservacionistas. Hay que enfatizar la importancia de preservar la sabana nativa para conservar la biodiversidad. El hecho de que la leguminosa más promisorio de que se dispone en la actualidad, *A. pintoii*, es una especie nativa de la sabana brasileña demuestra la importancia de preservar esa biodiversidad. La persistencia de *A. pintoii* puede implicar también que esta especie nativa puede crecer con más vigor bajo el sistema de manejo de los agricultores.

Para aquellas áreas de actividades menos intensa, donde el desarrollo agrícola forma parte de la estrategia, las tecnologías que ahorren mano de obra, capital y manejo, pero usen la tierra en abundancia, pueden ser más apropiadas. Además, parece ser que en las leguminosas, que se desarrollaron pensando en áreas de infraestructura deficiente donde se dificulta el acceso a los fertilizantes, deben reducirse significativamente los requerimientos de capital y de manejo si van a cumplir el papel para el cual fueron concebidas originalmente. También sería válido investigar si se puede lograr una producción sostenible en áreas de infraestructura deficiente, donde la carga probablemente es baja, mediante el desarrollo de tecnologías que combinen el manejo de las gramíneas nativas con el de pasturas sembradas de gramíneas solas. Este sistema se basaría en la práctica actual de los agricultores y aumentaría, por tanto, la probabilidad de ser aceptado por ellos.

Los resultados del estudio indican que los aumentos naturales en el tamaño del hatu estarían promoviendo, hasta cierto punto, la adopción de pasturas de gramíneas solas. Se necesita adaptar la tecnología a los requerimientos de estas fincas no intensificadas para evitar que ellas incurran en el sobrepastoreo. Se debe notar aquí que la actual tecnología de recuperación de tierras degradadas —el sistema de cultivos y pasturas— es demasiado intensiva para estas áreas. Una tecnología alternativa basada en la estrategia de los agricultores de utilizar áreas bajas, y sembrar áreas pequeñas con pasturas de gramíneas solas, puede tener mayor probabilidad de adopción. Se requiere sin duda un conocimiento detallado de las prácticas actuales, y de los objetivos de las diferentes categorías de agricultores de la sabana, incluyendo los pequeños agricultores. Debe señalarse también que el análisis de la economía de las nuevas tecnologías y la evaluación de su impacto ecológico se han basado, hasta el momento, en datos obtenidos en

experimentos controlados. Es preciso validar esos resultados aplicando las prácticas de los agricultores. Además, hasta ahora se ha prestado poca atención a los impactos colaterales, como el efecto que causa el aumento en la demanda de materiales para cercas en la conservación de los bosques de galería. Vale la pena estudiar la opción de emplear cercas vivas, utilizando árboles forrajeros.

**Cuadro 1.** Características del área de estudio analizando 73 productores agropecuarios en la altillanura colombiana en 1992.

Variables	Suma	Promedio	ES <sup>a</sup>	Max.	Min.
Area en pasturas (ha)	18756	256.93	473.42	2900	1
Tamaño de la finca (ha)	113199	1550.67	2276.75	16000	40
Area en bosque (ha)	4820	66.03	99.49	500	1
Area sin bosque (ha)	108379	1484.64	2220.95	15600	32
Area mecanizable (ha)	66954	917.18	1170.07	7100	1
Tractor propio (simulada)	39	0.5342	0.5022	1	0
Uso de mano de obra (jornales/ha-año)	159.29	2.18	2.50	9.12	0.10
Préstamo (simulada)	18	0.25		1	0
Distancia de Puerto López (km)	6642	90.98	69.51	275	9
Administrador de la finca (simulada)	23	0.31		1	0
Residencia en la finca (días/año)		104.25	126.84	365	1
Residencia en Santafé de Bogotá (simulada)	47	0.64	0.4821	1	0
Residencia en Villavicencio (simulada)	11	0.15	0.3602	1	0
Residente en la finca (simulada)	15	0.21		1	0
Educación universitaria (simulada)	30	0.41		1	0
Educación secundaria (simulada)	16	0.22		1	0
Educación primaria (simulada)	27	0.37		1	0
Edad (años)		52.01	12.23	78	30
Tenencia de la finca (años)		12.09	10.73	44	1
Título de la tierra (simulada)	56	0.77	0.4255	1	0
Uso de mano de obra/año	69286	945.10	875.97	6020	292
Uso de mano de obra familiar/año	7139	89.27	186.70	730	0
Uso de otro tipo de mano de obra/año	62147	172.58	441.03	3245	0
Otras actividades (simulada)	62	0.85	0.36	1	0
Compras de 1981 a 1992 (simulada)	38	0.52	0.50	1	0
Experiencia en cultivos (simulada)	6	0.07		1	0
Asistencia técnica (simulada)	23	0.32	0.4677	1	0

a. ES = desviación estándar.

**Cuadro 2.** Area cubierta con pasturas mejoradas<sup>1</sup> en fincas<sup>2</sup> de la altillanura colombiana.

Pasturas de gramíneas y leguminosas	Area estimada <sup>1</sup> (ha)		Area de finca (%)	
	1989	1992	1989	1992
<i>Andropogon gayanus</i>	4,453	7,129	5.0	4.1
<i>Brachiaria decumbens</i>	45,559	67,580	51.3	38.5
<i>Brachiaria humidicola</i>	26,479	57,476	29.8	32.7
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	1,371	5,584	1.5	3.2
Otras gramíneas	3,598	4,013	4.2	2.3
<b>Total de gramíneas</b>	<b>81,604</b>	<b>141,782</b>	<b>91.8</b>	<b>80.8</b>
<i>S. capitata</i> + <i>B. decumbens</i>	1,490	15,137	1.7	8.6
<i>S. capitata</i> + <i>B. dictyoneura</i>	847	5,558	1.0	3
<i>S. capitata</i> + <i>B. humidicola</i>	0	6,765	0.0	3.9
<i>S. capitata</i> + <i>A. gayanus</i>	2,480	621	2.8	0.4
<i>C. acutifolium</i> + <i>A. gayanus</i>	339	0	0.4	0.0
Otras asociaciones	1,794	2,699	2.0	1.5
<b>Total de pasturas de gramíneas + leguminosas</b>	<b>6,950</b>	<b>30,780</b>	<b>7.8</b>	<b>17.3</b>
Leguminosas <sup>3</sup>	323	277	0.4	0.2
Cultivo + pastura	-	2,737	-	1.5
<b>Total pasturas mejoradas</b>	<b>88,877</b>	<b>175,576</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
Area de sabana nativa con gramíneas	871,459	850,408	90.7	82.9
<b>Total de zona agrícola</b>	<b>960,336</b>	<b>1'025,984</b>		

1. Error de estimación: 20%; nivel de confiabilidad: 80%; encuesta: 86 y 82 fincas en 1989 y 1992, respectivamente.
2. 728 fincas cuyo tamaño es mayor que 40 ha, localizadas en Puerto López y Puerto Gaitán (Meta, Colombia).
3. Leguminosas (semillero): *S. capitata*, *A. pintoii*, *C. acutifolium*, *P. phaseoloides*.

**Cuadro 3.** Estimaciones con regresión múltiple en serie cronológica de los factores que determinan el área neta acumulativa en pasturas mejoradas (1978-1992).

<b>Variables externas</b>	<b>Signos y coeficientes</b>	<b>"t" estad.</b>	<b>Nivel de signific.</b>	<b>R<sup>2</sup><sub>aj</sub></b>	<b>D.W.</b>	<b>F</b>
Constante	-39.81	-2.76	0.020	0.93	1.44	51.02
PIB agrícola <sup>1</sup> (Ln)	+2.59	3.27	0.008			
Oferta de ganado (Ln)	+1.07	1.85	0.093			
Vías pavimentadas (simulada)	+0.65	3.94	0.003			
Número de especies forrajeras liberadas	+0.08	1.55	0.15 ns			
Indice B/C (beneficio/costo)	+		n.s.			

1. Pesos, valor constante de 1978.

R<sup>2</sup><sub>aj</sub>: Coeficiente ajustado de correlación múltiple.

D.W.: Coeficiente de autocorrelación, Durbin-Watson.

F.: F de estadística.

n.s.: No significativo al nivel de 0.10.

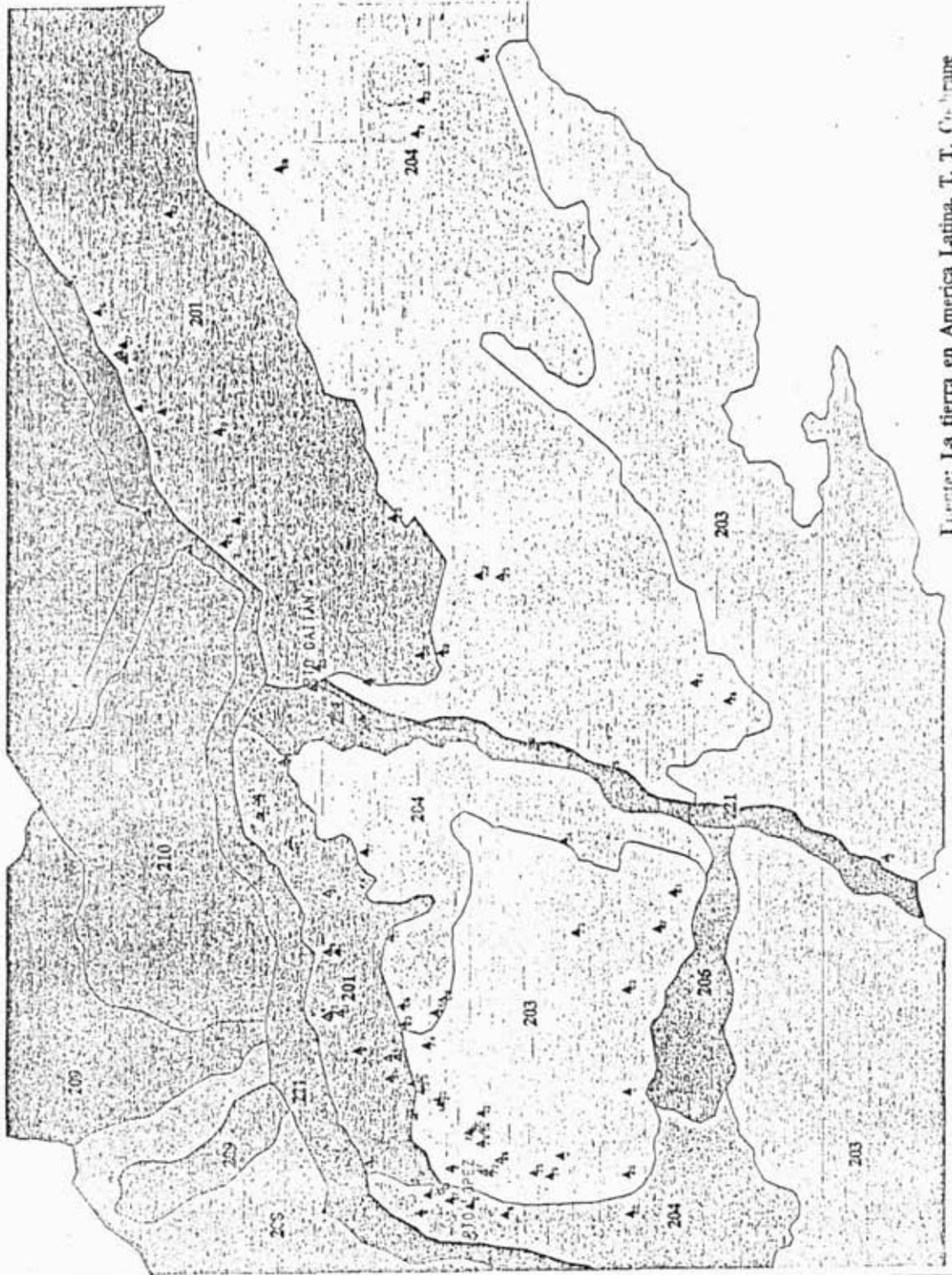
Ln.: Logaritmo natural.

**Cuadro 4.** Estimaciones interseccionales con regresión múltiple de factores que determinan el área cubierta con pasturas mejoradas en 73 fincas de la altillanura colombiana en 1992.

Variables externas *	Signos y estimaciones de coeficientes	"t" estadis.	Nivel de signif.	Coficiente de correlación
Constante	+133.835	0.799	0.427	
Area en bosque (ha)	-0.995	-2.474	0.016	0.11
Area sin bosque (ha)	-0.049	-1.873	0.066	0.42
Area mecanizable (ha)	+0.378	8.058	<0.001	0.69
Tractor propio (simulada)	+123.985	1.720	0.090	0.37
Distancia a Puerto López (km)	-1.103	-1.838	0.071	-0.08
Asistencia técnica (simulada)	+126.671	1.563	0.123	0.37
Administrador de la finca (simulada)	+135.128	1.729	0.089	0.42
Residencia en la finca (días)	-0.588	-1.955	0.055	-0.16
Educación (años)	-96.109	-2.058	0.044	0.15
Título de la tierra (simulada)	+175.608	2.027	0.047	0.17
$R^2_{aj} = 0.6695$		F = 15.58	D.W. = 2.32	

$R^2_{aj}$  Coeficiente ajustado de correlación múltiple.  
 D.W. Coeficiente de autocorrelación, Durbin-Watson.  
 F. F de estadística.

SISTEMAS DE TIERRA ZONA PUERTO LOPEZ PUERTO GAITAN  
 FINCAS CON ADOPCION DE PASTOS 1992



CIAT  
 G I S  
 UNIT  
 Agosto 1994

Fuente: La tierra en America Latina. T. T. C. - hrane



**Título: Proyecto TL02**  
**INTERPRETACIÓN MECANICISTA Y MODELOS DE LOS PROCESOS QUÍMICOS, FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DEL SUELO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPASTORILES Y EN SISTEMAS DE CULTIVO SECUENCIAL**

El proyecto TL02 pretende desarrollar, mediante el uso de modelos, una comprensión mecanicista de los procesos químicos, físicos y biológicos del suelo en sistemas agropastoriles y en sistemas de cultivo secuencial en los Llanos Orientales de Colombia. Las actividades desarrolladas incluyen el establecimiento de dos experimentos a largo plazo a nivel de estación experimental en Colombia (con CORPOICA) y en Brasil (con EMBRAPA-CPAC). Los SNIA que colaboran en el proyecto participan activamente en el desarrollo, la planeación y la ejecución de estos experimentos. La producción agrícola, la optimización de la fertilización, el reciclaje de nutrientes, las propiedades del suelo y la infestación de malezas son las actividades básicas que se comparten en esos experimentos. Se trabaja con un enfoque estratégico y se realizan experimentos "satélite". El proyecto busca comprender mejor los procesos clave de una producción sostenible y desarrollar algunos indicadores de sostenibilidad. Para estos últimos, se utilizan dos enfoques: el primero es la evaluación comparativa que determina y compara el desempeño de un sistema con el de otras alternativas, y el segundo es un enfoque dinámico en el cual la dinámica del sistema es una medida de su sostenibilidad (por ejemplo, se mide algún atributo de calidad del suelo en un período de tiempo determinado). Las sabanas nativas se utilizan como testigos o sitios de referencia para comparar los diferentes sistemas de cultivo y los sistemas agropastoriles. En este informe se registran las actividades del programa que se realizan dentro de los experimentos a largo plazo, junto con algunos estudios clave sobre procesos tales como el reciclaje de los nutrientes contenidos en la hojarasca, los residuos de los cultivos, los excrementos del ganado y la biomasa microbiana, las transformaciones del fósforo, las propiedades físicas del suelo, y la dinámica tanto de población como de las actividades de la fauna del suelo.

**Experimento a Largo Plazo no. 1: Rotación sostenible de cultivos y sistemas de rotación de cultivos y pasturas de corta duración, para las sabanas de suelos ácidos de Colombia (Experimento "culticore")**

(D. Friesen (IFDC), H. Carmen, H. Delgado, E. Owen (CORPOICA), R. Thomas, M. Fisher, A. Gijsman, I. Rao, C. Lascano (CIAT), G. Rippstein (INRA), P. Lavelle (ORSTOM/TSBF/Univ. de París), A. Moreno, J.J. Jiménez (Univ. Complutense, Madrid))

La intensificación de la producción agrícola en las sabanas de suelos ácidos de América Latina se ve limitada por la falta de diversidad en el germoplasma tolerante a la acidez (por aluminio) y a la baja fertilidad del suelo. Se considera que el uso de altos niveles de insumos, especialmente en situaciones de monocultivo, no es sostenible ya que deteriora las propiedades físicas del suelo y agrava el problema de las plagas.

Las pasturas mejoradas a base de leguminosas —que muchos tienen por la alternativa que menos daño causa al acervo de recursos naturales del suelo— requieren de inversiones en insumos para su establecimiento, las cuales pueden carecer de atractivo para los ganaderos de sistemas extensivos o van más allá de sus recursos. El establecimiento de pasturas en asociación con arroz (para sufragar el costo de los insumos) ha demostrado ser una alternativa muy atractiva que se está adoptando rápidamente en las áreas fronterizas de los Llanos Orientales colombianos. Sin embargo, a medida que los agricultores ven las ganancias que pueden obtener con el cultivo del arroz, esta opción puede deteriorarse fácilmente a un monocultivo continuo, con problemas potenciales de degradación de la tierra como los que ya se han observado en los monocultivos de los Cerrados del Brasil. Se requieren sistemas alternativos que incorporen componentes que atenúen o reviertan los efectos nocivos ocasionados por los monocultivos. Se deben desarrollar también medidas biofísicas de sostenibilidad que sirvan como 'indicadores' del desempeño del sistema y de 'los riesgos ambientales que ese sistema representa'.

Las leguminosas de grano, los abonos verdes, los cultivos intercalados, y las rotaciones de cultivos y pasturas de corta duración son componentes potenciales que podrían aumentar la estabilidad de aquellos sistemas que incluyen cultivos anuales. El experimento a largo plazo que se describe aquí estudia una serie de alternativas seleccionadas, cuyos componentes se utilizan en dos niveles de intensificación basados en la cal. Se hace un seguimiento intensivo en condiciones controladas para identificar los indicadores de sostenibilidad de los sistemas agropastoriles y de rotación en las sabanas de suelos ácidos. Puesto que muchos de los procesos interactúan y contribuyen a la estabilidad de cualquier sistema específico, uno de los principales objetivos del proyecto es desarrollar modelos integrados que simulen los efectos de los componentes del sistema y de su manejo en la sostenibilidad del sistema, según lo señalen los indicadores previamente identificados; así permitirán esos modelos evaluar y extrapolar, en el espacio y en el tiempo, el efecto que tienen los componentes y las alteraciones del manejo en la estabilidad del sistema. Se conoce que los efectos nocivos (o benéficos) de diversas prácticas agrícolas son a menudo sutiles, y sólo se manifiestan después de largo tiempo; por tanto, la experimentación propuesta está concebida para extenderse durante dos ciclos de rotación, por lo menos.

## **Materiales y métodos**

El experimento se estableció en un Oxisol francoarcilloso, en la Estación de Investigación de CORPOICA/CIAT en Carimagua, en los Llanos Orientales de Colombia. El suelo se caracteriza por un alto grado de saturación de Al intercambiable, un pH bajo y un nivel muy bajo de nutrientes disponibles (Cuadro 3), características que son típicas de los Oxisoles. El enfoque básico consiste en comparar un rango de sistemas de producción que van desde el monocultivos de cereales, que tiene el potencial de degradar los recursos, hasta los sistemas agropastoriles de rotación de cultivos y pasturas, que hipotéticamente mejoran los recursos. La comparación se hace con dos niveles de insumos. La selección de los sistemas dependía de la forma de aplicación de la cal, ya sea como fertilizante —para proporcionar Ca y Mg a un cultivo o especie forrajera tolerante al Al— o como enmienda de la acidez del suelo —para permitir la producción de especies más sensibles al Al. En los sistemas en que la cal actúa como fertilizante, se cultiva el arroz de secano en monocultivo continuo o en rotación con abonos verdes, caupí o pasturas mixtas adaptadas, mientras que los sistemas en que la cal es un correctivo incluyen el maíz en monocultivo continuo o en rotación con abonos verdes, soya o pasturas mixtas de menor adaptación. Los tratamientos se describen en el Cuadro 1.

Este experimento utiliza un diseño de parcelas divididas en cuatro bloques al azar, en los cuales los niveles de cal se asignan a las parcelas principales y los sistemas a las subparcelas. Los tamaños de la parcela (0.36 ha y, para las pasturas, 0.72 ha) se basaron en el área total requerida para mantener, como mínimo, tres animales (aproximadamente, una tasa de 2 animales/ha) cuando éstos se roten en las repeticiones, una vez asegurada la división en una fecha posterior. Estas dimensiones se escogieron porque facilitan el manejo de la maquinaria convencional y con miras a una posible división de las parcelas en el futuro. Todos los sistemas se manejan para optimizar la producción y reducir al mínimo la degradación del suelo; o sea, se practica la conservación de los residuos de los cultivos, se mantienen los niveles de fertilidad del suelo, se controlan las malezas y otras plagas, etc. El experimento se ha implementado en dos etapas: las rotaciones a base de arroz, con bajo insumo de cal, se iniciaron en mayo de 1993, mientras que las rotaciones a base de maíz, con alto nivel de cal, se iniciaron en abril de 1994.

Se están realizando mediciones y observaciones consecutivas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que sean decisivas, al igual que del impacto que hacen los cambios de éstas en la productividad y la rentabilidad de los cultivos y del sistema, en el uso eficiente de los recursos y de los insumos, y en el ambiente. A continuación, se presentan algunas de las observaciones y mediciones que se están registrando en la actualidad:

*Producción del sistema y de los componentes.* Se determinan el rendimiento de grano y la producción de biomasa aérea en los cultivos y en los abonos verdes. Se evalúa la biomasa de la población, el forraje en oferta, y la composición botánica de las pasturas a intervalos de tres meses, mientras que la producción y la distribución de la biomasa radical se estiman anualmente. Se llevan también registros de las tasas de carga animal y de las ganancias de peso vivo (a intervalos de tres meses). Además, se mide la composición nutricional de los componentes del cultivo y de la pastura, además de la de los abonos verdes, para estimar la exportación y el reciclaje de nutrimentos mediante los residuos.

*Propiedades físicas de suelo.* Cada año se hace un seguimiento a los parámetros que probablemente reflejen la degradación física del suelo como resultado de las prácticas agrícolas. Estos parámetros incluyen la densidad volumétrica, la porosidad y la tasa de infiltración del agua, la conductibilidad hidráulica, y la estabilidad de los agregados.

*Propiedades químicas del suelo.* Se miden los parámetros que indican cambio en fertilidad del suelo, pérdida de materia orgánica del suelo y, por tanto, de estructura estructural del mismo, y aquellos que permiten comparar las tasas relativas de reciclaje de nutrimentos en los diferentes sistemas. Estos incluyen la acidez del suelo y los cationes intercambiables, además de las reservas de N, P y S en el suelo, según procedimientos de fraccionamiento ya publicados.

*Biología del suelo.* Se hace un seguimiento al desarrollo de poblaciones y a la actividad de las lombrices de tierra.

## **Resultados y-discusión**

### *Producción y establecimiento del cultivo y de la pastura*

(D. Friesen, H. Carmen, H. Delgado)

Debido a dificultades logísticas, en 1993 se implementaron los sistemas a base de arroz con bajo insumo de cal, mientras que en 1994 se iniciaron los sistemas a base de maíz con altos insumos de cal. El rendimiento promedio de grano del arroz en el primer año fue de cerca de  $3 \text{ t ha}^{-1}$ , y la siembra de éste con la pastura no lo afectó significativamente (Cuadro 2). Sin embargo, las especies forrajeras se encontraban bien establecidas en el momento de la cosecha, y las pasturas se sometieron a pastoreo aproximadamente 3.5 meses después de ésta, a comienzos de la estación seca (diciembre de 1993). Durante los tres meses siguientes, los animales (con una tasa de carga de  $3 \text{ UA ha}^{-1}$ ) ganaron, en promedio, 333 g de peso vivo por día, sin colocar una presión indebida en las pasturas que emergieron

durante la estación seca. Hubo dominancia de *S. capitata*. En consecuencia, la tasa de carga se incrementó hasta 4 UA ha<sup>-1</sup>, en junio de 1994, para tratar de reducir la cantidad de biomasa en pie y promover una composición más equilibrada de gramíneas y leguminosas.

En los sistemas de rotación con bajos insumos, el arroz fue seguido, en el segundo semestre de 1993, por una variedad de caupí erecto (ICA Cabecita negra) para producción de grano (tratamiento 2, Cuadro 1) y una variedad postrada de caupí (ICA Menegua) como abono verde (tratamiento 3). El abono verde se incorporó en el momento de la floración, a los 52 días después de la siembra. El rendimiento de grano del caupí fue de aproximadamente 1.1 t ha<sup>-1</sup>, mientras que la biomasa (residuos) incorporada al suelo fue de aproximadamente 1.6 t ha<sup>-1</sup>, tanto para el cultivo de grano como para el de abono verde (Cuadro 2). Tanto los residuos como el abono verde tuvieron un impacto marcado en los niveles de N mineral en el perfil del suelo durante la siguiente estación seca (ver la siguiente sección).

El cultivo previo con caupí, ya sea para producción de grano o como abono verde, tuvo un impacto significativo en la producción de arroz en los tratamientos de rotación en 1994 (Cuadro 2). El rendimiento de grano del arroz fue 1 t ha<sup>-1</sup> superior que el del arroz en monocultivo. Esto se debe, en parte, a la mejor economía del N en los tratamientos de rotación de la leguminosa antes mencionados. Además, las poblaciones de malezas fueron mucho menores en las rotaciones que en los tratamientos de arroz en monocultivo, en gran parte porque se hizo desyerba y se sembraron cultivos de cobertura en las primeras durante el segundo semestre de la época lluvioso anterior, mientras que en los últimos (arroz en monocultivo) se dejó el campo como barbecho sin desyerbar.

Los sistemas a base de maíz se establecieron con un material que era tolerante a suelos ácidos (Sukuaní 3), recientemente liberado por el CIMMYT. Su rendimiento de grano (Cuadro 2) fue bajo, de aproximadamente 2.5 t ha<sup>-1</sup>; esta cifra fue aproximadamente 1 t ha<sup>-1</sup> menor que el mejor rendimiento obtenido en experimentos satélite adyacentes este experimento. Este desempeño decepcionante se atribuye, probablemente, a la población deficiente y desigual obtenida a causa de las dificultades experimentadas con la maquinaria en el momento de la siembra. Además, aunque la experiencia obtenida en el establecimiento del arroz el año anterior enseñó que las malezas no eran un problema, las poblaciones de malezas proliferaron en las parcelas del maíz, especialmente en las etapas posteriores de crecimiento. Especulamos que esto se debe, en su mayor parte, a las operaciones de labranza que se aplicaron el año anterior en las cuales el terreno se aró completamente como preparación para una implementación completa del experimento prevista para 1993. Además, el espaciamiento amplio entre las hileras del maíz no permitió quizás que éste hiciera suficiente competencia a las malezas a principios de la estación.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos: Primer ciclo agropastoril (cinco años).

Tratamiento no.	Principales parcelas	Subparcelas	Descripción
1	Cal fertilizante	Monocultivo de arroz	Arroz en monocultivo; un cultivo por año en el primer semestre; barbecho sin desyerbar el segundo semestre con preparación temprana de la tierra a finales de la época lluviosa.
2		Rotación de arroz y caupí	Arroz (1er. semestre) y caupí (2do. semestre) en una rotación de 1 año; los residuos se incorporaron antes de sembrar en la siguiente estación.
3		Rotación de arroz y abono verde	Arroz (1er. semestre) y abono verde (2do. semestre) en una rotación de 1 año; las leguminosas se incorporaron cuando su biomasa en ple llegó a un nivel máximo a finales de la época lluviosa.
4		Sabana nativa (parcela sobrante)	Manejo tradicional mediante quema anual durante la época seca.
5		Rotación de arroz y sistema agropastoril	Mezcla de <i>Brachiaria humidicola</i> , <i>Centrosema acutifolium</i> , <i>Stylosanthes capitata</i> y <i>Arachis pintoi</i> , sembrada con arroz en el año 1; sometida a pastoreo para mantener el contenido de la leguminosa; rotación cada 4 ó 5 años según la composición de la pastura.
6	Cal correctiva	Monocultivo de maíz	Maíz en monocultivo; un cultivo por año en el primer semestre; barbecho sin desyerbar el segundo semestre con preparación temprana de la tierra a finales de la época lluviosa.
7		Rotación de maíz y soya	Maíz (1er. semestre) y soya (2do. semestre) en una rotación de 1 año; los residuos se incorporaron antes de sembrar en la siguiente estación.
8		Rotación de maíz y abono verde	Maíz (1er. semestre) y abono verde (2do. semestre) en una rotación de 1 año; las leguminosas se incorporaron a máximos niveles de biomasa en ple a finales de la época lluviosa.
9		Sabana nativa (parcela sobrante)	Manejo tradicional mediante quema anual durante la época seca.
9A		Rotación de maíz y soya (labranza cero)	Maíz (1er. semestre) y soya (2do. semestre) en una rotación de 1 año; labranza sólo para iniciar el cultivo en la sabana nativa; los residuos se dejan en la superficie del suelo (ninguna incorporación).
10		Rotación de maíz y sistema agropastoril	Monocultivo de maíz en el año 1; pastura de <i>Panicum maximum</i> / <i>Glycine wightii</i> / <i>Arachis pintoi</i> , sembrada con arroz en el año 2; sometida a pastoreo para mantener el contenido de la leguminosa; rotación cada 4 ó 5 años según la composición de la pastura.

**Cuadro 2.** Producción de grano y de materia seca en monocultivos y rotaciones en un ensayo de sistemas de cultivo a largo plazo ("culticore") en Carimagua.

Sistema de cultivo	En 1993 (kg/ha)				En 1994 (kg/ha)	
	Arroz		Caupí		Arroz	Maíz
	Grano	Materia seca	Grano	Materia seca		
Monocultivo					2,220	
Rotación de cereales y leguminosas de grano	2,850 <sup>a</sup>	12,600 <sup>a</sup>	1,130	1,720	3,330	2,330 <sup>a</sup>
Rotación de cereales y abonos verdes				1,540	3,530	
Rotación agropastoril	3,330	12,500				2,570

a. Tratamientos cosechados como una unidad por repetición.

Cuadro 3. Influencia de las aplicaciones de cal y de fertilizantes en las propiedades químicas del suelo en sistemas a base de arroz y de maíz.

Sistema	Profundidad (cm)	C orgánico (%)	N total (%)	P, Bray (ppm)	pH (H <sub>2</sub> O)	Cationes intercambiables (meq/100 g)						Saturación de Al (%)
						Al	H	Ca	Mg	K	CIC	
Sabana nativa	0-10	3.24	0.14	1.5	4.51	2.35	0.31	0.25	0.11	0.09	3.11	75.6
	10-20	2.55	0.10	1.8	4.56	2.20	0.29	0.14	0.06	0.04	2.73	80.5
	20-40			1.2	4.80	1.86	0.07	0.11	0.04	0.04	2.12	87.4
	40-60			1.0	4.85	1.32	0.07	0.11	0.04	0.04	1.57	84.1
	60-80			0.9	5.13	0.93	0.04	0.11	0.04	0.03	1.15	81.1
	80-100			1.0	5.22	0.46	0.03	0.12	0.03	0.03	0.68	68.5
Sistemas de arroz <sup>1</sup> (septiembre 1993)	0-10	3.31	0.15		4.30	2.31	0.12	0.55	0.28	0.12	3.39	68.0
	10-20	2.57	0.10		4.32	2.44	0.12	0.19	0.08	0.05	2.88	84.6
Sistemas de arroz <sup>2</sup> (marzo 1994)	0-10	3.08		6.7	4.18	2.00	0.24	0.56	0.37	0.19	3.36	59.6
	10-20	2.33		1.4	4.16	2.12	0.22	0.25	0.14	0.09	2.82	75.1
Sistemas de maíz <sup>3</sup> (marzo 1994)	0-10	3.13		2.0	4.44	1.54	0.19	1.06	0.62	0.11	3.52	43.9
	10-20	2.35		1.2	4.23	2.21	0.25	0.23	0.10	0.06	2.86	77.4

1. Después del cultivo de arroz del primer semestre (encalado en abril de 1993 con 500 kg/ha de cal dolomítica, y fertilizado).
2. Antes de la siembra del segundo año (con nueva aplicación de 200 kg/ha de cal dolomítica 3 semanas antes).
3. Antes de la siembra del primer año (encalado con 2000 kg/ha de cal dolomítica 3 semanas antes).

*Química y fertilidad del suelo.* Un Oxisol sin enmiendas en áreas de sabana nativa en el sitio experimental se caracteriza por una alta saturación de Al intercambiable, un pH bajo, y un bajo contenido de nutrimentos disponibles (Cuadro 3). Sin embargo, el Al intercambiable disminuye y el pH del suelo aumenta (ambos gradualmente) en el perfil situado de los 40 cm de profundidad hacia abajo. La aplicación de 500 kg ha<sup>-1</sup> de cal dolomítica, antes de establecer los sistemas a base de arroz en abril de 1993, no afectó el Al intercambiable ni el pH del suelo; estos factores se midieron cuatro meses después de la aplicación de la cal, después de la cosecha del arroz. Esa misma aplicación, en cambio, redujo la saturación de Al en cerca de 8% por efecto de cantidades mayores de Ca y Mg intercambiables derivados de la cal. Una aplicación adicional de 200 kg ha<sup>-1</sup>, en marzo de 1994 y antes de la siembra, redujo adicionalmente la saturación de Al intercambiable en 8% (medida tres semanas después). No hubo un efecto significativo de estas enmiendas en las propiedades del suelo a grandes profundidades. Las aplicaciones de fertilizantes fosforados (60 kg ha<sup>-1</sup> de P al arroz y 40 kg ha<sup>-1</sup> de P a caupí en 1993) aumentaron el P disponible de 1.5 a 6.0 ppm, medido con Bray-II, antes de la siembra de 1994.

La aplicación de 2 t ha<sup>-1</sup> de dolomita a los sistemas en que se cultiva maíz redujo la saturación de Al a aproximadamente 45% en tres semanas (Cuadro 3). Aunque el Al intercambiable disminuyó y el Ca y el Mg intercambiables aumentaron, el pH del suelo se modificó sólo marginalmente.

### **Niveles de N inorgánico en los sistemas agropastoriles y en los cultivos de rotación**

(D. Friesen, R. Thomas)

Como parte del esfuerzo para determinar el equilibrio y el reciclaje de nutrimentos en el experimento "culticore", se ha hecho un seguimiento a los niveles de N inorgánico del perfil del suelo en aquellos tratamientos que se seleccionaron durante el año para que sirvieran como modelo del cultivo y para evaluar el uso eficiente de los nutrimentos. Entre los tratamientos había caupí como cultivo de grano y caupí como abono verde que se sembraba el segundo semestre después del arroz. El abono verde se incorporó al suelo 52 días después de la siembra, a una tasa de 1.5 t ha<sup>-1</sup> de MS. Para el caupí en grano, cerca de 1.7 t ha<sup>-1</sup> de MS retornaron al suelo después de las fechas de cosecha de enero 5 y 6 de 1994.

En enero de 1994 se midieron los niveles de N del suelo en el monocultivo de arroz, en la asociación de arroz y caupí (abono verde) y en la sabana testigo. Los niveles fueron bajos para el tratamiento de sabana y levemente mayores para el suelo bajo arroz en monocultivo, que presentó un aumento marcado de N en

nitratos apenas a una profundidad de 80 a 100 cm (Figura 1). Los niveles de N en amonio, y especialmente de N en nitratos, fueron más altos en el tratamiento de arroz y caupí (abono verde) a todas las profundidades, con un total de cerca de 101 kg ha<sup>-1</sup> de N en nitratos (Figura 1). A principios de marzo de 1994, se observó una tendencia similar en los niveles de N en el suelo, con un marcado aumento de N en nitratos en el tratamiento de arroz y caupí (abono verde) hasta de 135 kg ha<sup>-1</sup> de N en nitratos (Figura 2).

A finales de marzo, los niveles de N del suelo en los tratamientos de sabana y de arroz y pastura permanecieron bajos, pero en todos los demás tratamientos los niveles de N en nitratos aumentaron, especialmente en el tratamiento de arroz y caupí (abono verde) donde se midieron hasta 177 kg ha<sup>-1</sup> de N en nitratos en el perfil del suelo hasta 1 m (Figura 3). En forma similar, cerca de 113 kg ha<sup>-1</sup> de N en nitratos se midieron en parcelas donde el caupí se había cultivado como grano y donde se habían incorporado los residuos de ese cultivo (Figura 3). El suelo que había sido arado en preparación para la siembra del maíz también presentó altos niveles de N en amonio, y especialmente de N en nitratos (hasta 70 kg ha<sup>-1</sup> de N en nitratos), en comparación con el suelo de sabana sin perturbar (Figura 3). Este resultado indica una mayor tasa de mineralización del N y de acumulación de nitratos después de la perturbación del suelo, que es adicional a los nitratos derivados del caupí como abono verde y a los residuos del caupí incorporados después de la cosecha del grano.

Datos de septiembre de 1994 después de un segundo cultivo sucesivo de arroz indican que los nitratos estaban también presentes en el tratamiento de arroz en monocultivo después del segundo cultivo de arroz, pero a profundidades de 60 a 100 cm (Figura 4). Se observó un patrón similar para los tratamientos de arroz y caupí y para los tratamientos en que el maíz se había sembrado como el primer cultivo en el sistema de altos insumos (Figura 4). A diferencia de los datos de marzo, en septiembre aparecieron cantidades significativas de nitratos muy abajo en el perfil, a una profundidad de 60 a 100 cm, en comparación con los 0 a 40 cm de profundidad, en el tratamiento de arroz en monocultivo. No se conoce la fuente de este N, pero bien podría ser el fertilizante aplicado al segundo cultivo de arroz o el resultado de una mineralización adicional de la materia orgánica del suelo después de los procedimientos de desyerba y de preparación de la tierra. Desafortunadamente, no se tomaron muestras del testigo representado por las sabanas sin perturbar, las cuales hubieran dado una indicación del efecto de la perturbación del suelo en la acumulación de N.

Los datos indican que hay acumulación y pérdida potencial de grandes cantidades de N en nitratos en los sistemas de cultivo. Este N puede recuperarse si la pastura se siembra simultáneamente con el cultivo, lo que indicaría que esa práctica hace un uso más eficiente del fertilizante. Para 1994-1995 se planea continuar con el

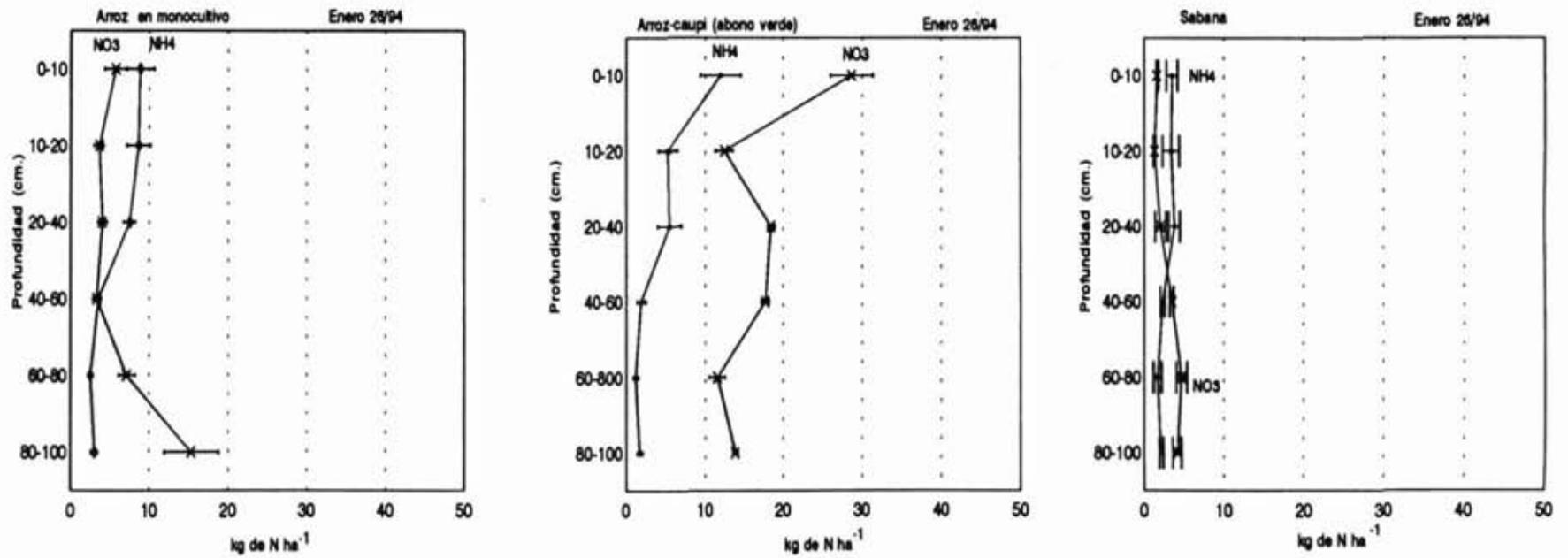


Figura 1. Niveles de N inorganico del suelo en el experimento "Culticore"

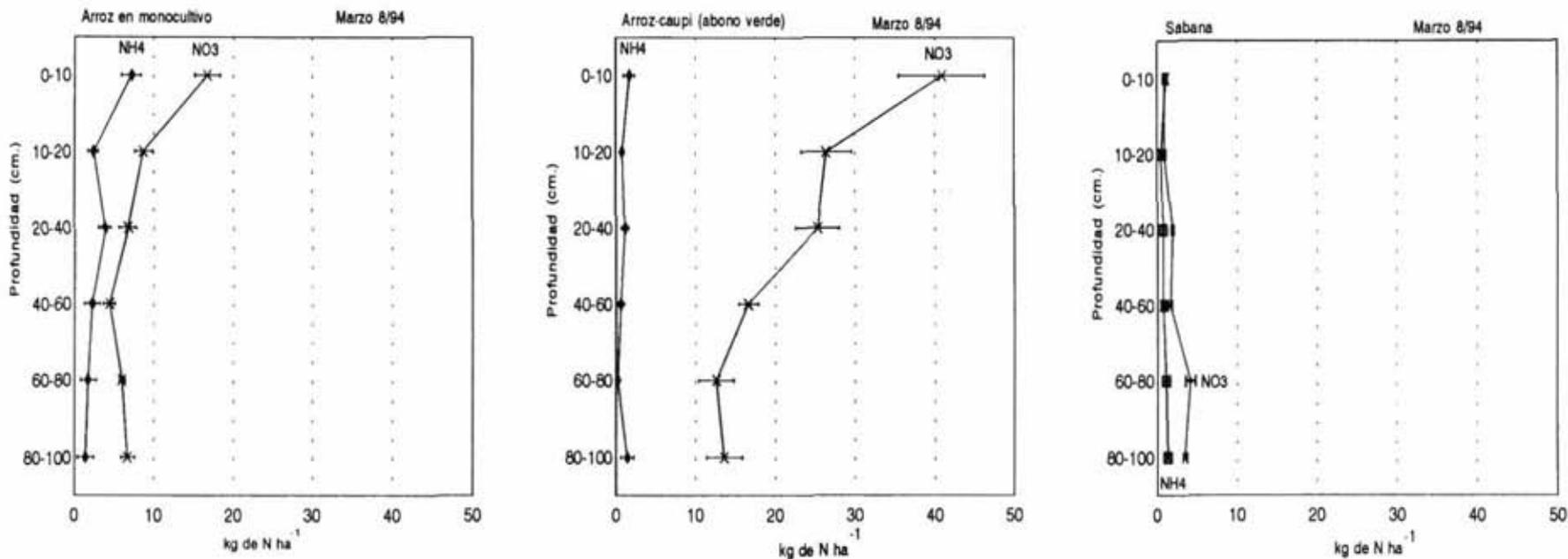


Figura 2. Niveles del N inorganico en el suelo del experimento "Culticore"

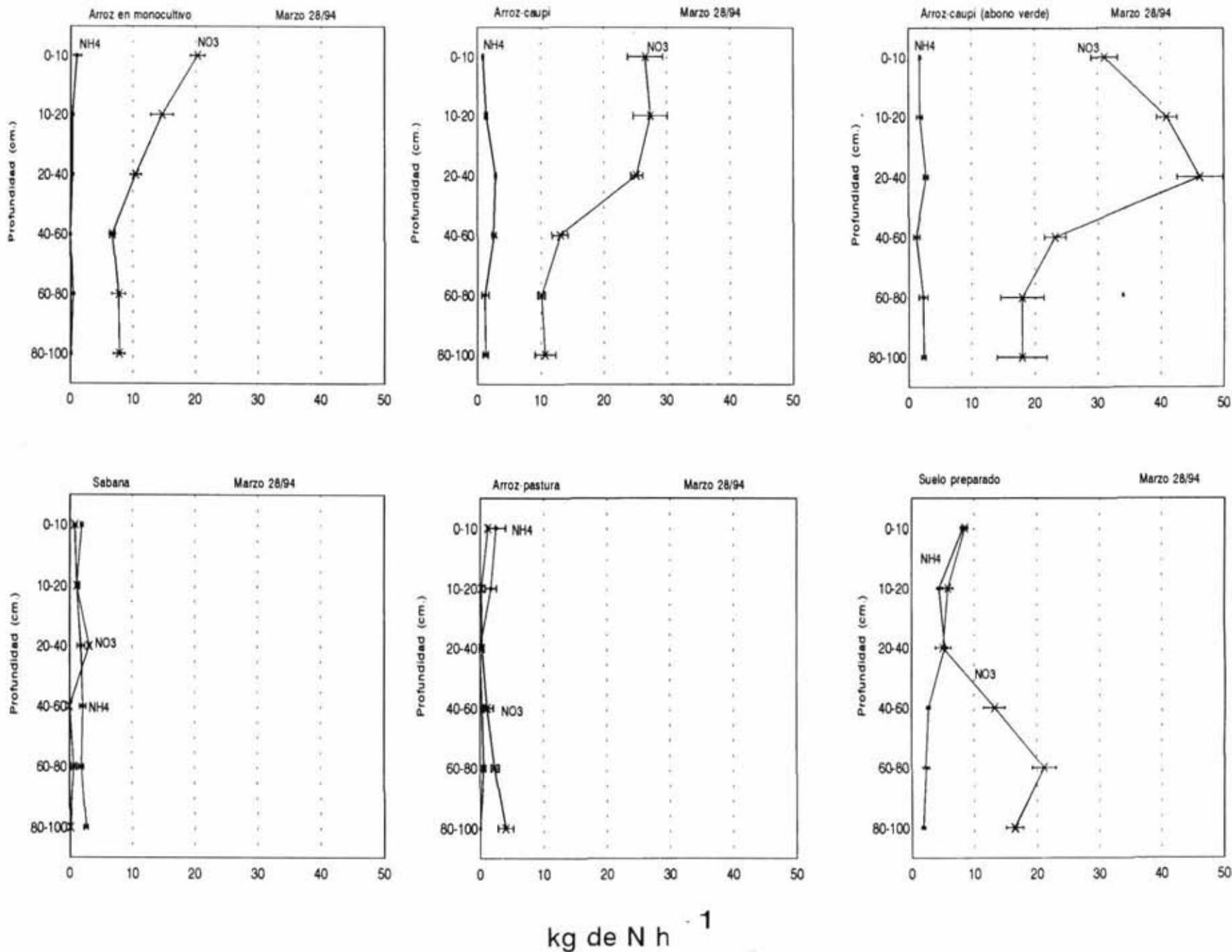


Figura 3. Niveles del N inorgánico del suelo en el experimento "Cultivos".

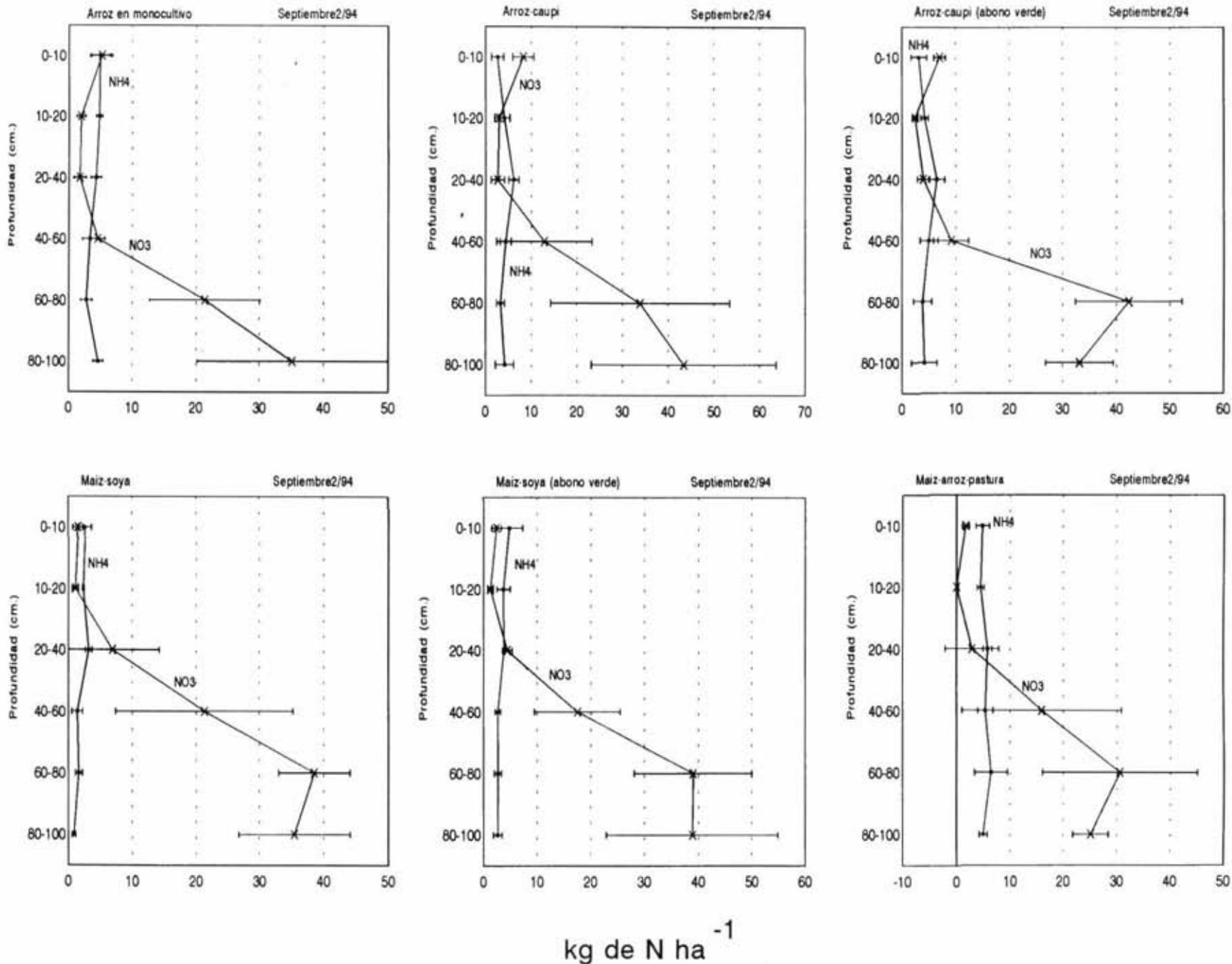


Figura 4. Nivel del N inorgánico en el suelo del experimento "Culticore".

seguimiento, pero a intervalos más cortos, para comprender mejor la economía del N en sistemas de cultivos y de rotación de cultivos y pasturas.

## **Descomposición de los residuos del cultivo**

(R. Thomas)

Se está midiendo la descomposición de los residuos del cultivo en un experimento de rotación de pastura y cultivo (maíz, arroz, soya y caupí) en Carimagua. Los últimos dos cultivos se están usando también como abonos verdes en algunos tratamientos. Ya hay información disponible sobre las tasas de descomposición del maíz (vida media 79 días), del arroz (vida media 71 días) y de la yuca (vida media 68 días), al igual que sobre los patrones de liberación de nutrimentos (Programa de Sabanas, Informe Bienal 1992-1993). Las tasas de descomposición del rastrojo de arroz, cuando se incorporó el material vegetal al suelo en bolsas de residuos a una profundidad de 5 a 10 cm, fueron más del doble que las de las bolsas dejadas en la superficie del suelo (Cuadro 4). El rastrojo de arroz que se deja en la superficie del suelo se descompone a una tasa ( $0.0053 \text{ d}^{-1}$ ) similar a la de las raíces de gramíneas de sabana nativas ( $0.0056 \text{ d}^{-1}$ ) o a una mezcla de raíces y hojarasca de la parte aérea ( $0.0059 \text{ d}^{-1}$ ). En estos experimentos, el rastrojo de arroz se colocó en bolsas de residuos de dos calibres de malla (1 y 4 mm); las tasas de descomposición, no obstante, fueron idénticas y no tuvo efecto alguno el calibre de la malla. Por tanto, los datos del Cuadro 4 se presentan como la media de los tratamientos de calibre de malla. El caupí que se incorporó como abono verde se descompuso a una tasa más rápida que el rastrojo de arroz incorporado (Cuadro 4). Aunque la relación lignina:N fue similar en caupí (5.2) y en el rastrojo de arroz (6.8), las concentraciones de otros nutrimentos, como N y P, fueron mucho mayores en el caupí (2.8% de N y 0.2% de P) en comparación con el arroz (0.92% de N y 0.08% de P). Los estudios sobre la descomposición de los tratamientos de abono verde (soya y caupí) continuaron en 1994, pero todavía no hay datos disponibles.

En la siguiente sección sobre el reciclaje de nutrimentos mediante la descomposición de la hojarasca y de los residuos de cultivos, estos hallazgos se discuten en mayor detalle.

Cuadro 4. Parámetros de descomposición de los residuos de cultivos.

Especies	Tratamiento	K (día <sup>-1</sup> )	Vida media (días)
Arroz (en monocultivo)	Superficial*	0.0054 ± 0.0016	104
Arroz (arroz y pasturas)	Superficial*	0.0051 ± 0.0017	108
Arroz (en monocultivo)	Incorporado*	0.0131 ± 0.0021	48
Caupí (abono verde)	Incorporado	0.0186 ± 0.0039	32

\* Promedio de las bolsas de residuos con malla de calibres 1 y 4 mm.

## Investigación estratégica sobre procesos clave

### Reciclaje de nutrimentos mediante la descomposición de la hojarasca y de los residuos del cultivo

(R. Thomas)

#### Introducción

El enfoque moderno del manejo de la fertilidad del suelo en el trópico depende más de los procesos biológicos y busca no sólo adaptar el germoplasma a condiciones adversas del suelo, sino mejorar la actividad biológica del suelo, optimizar el reciclaje de nutrimentos para minimizar el empleo de insumos externos, y maximizar, sin embargo, el uso eficiente de cualquier insumo externo que se aplique.

Parte de este esfuerzo se orientará hacia la habilidad para predecir la tasa de liberación de nutrimentos de la hojarasca vegetal y de los residuos de cultivo, utilizando modelos basados en un conocimiento acertado de los principales procesos, reservas y flujos de nutrimentos.

En pasturas tropicales sometidas a pastoreo moderado, el reciclaje de nutrimentos mediante la hojarasca vegetal es probablemente más importante que el reciclaje mediante los desechos animales. Los cultivos, generalmente, se fertilizan; por consiguiente, estos residuos son una fuente importante de nutrimentos en los suelos de baja fertilidad, ya que en éstos las reservas de nutrimentos son pequeñas o no están disponibles para ser absorbidas por la planta —o se dan ambas limitaciones en ellos. En consecuencia, se ha hecho un gran esfuerzo para caracterizar los procesos de descomposición en que intervienen especies forrajeras, tanto herbáceas como arbustivas, y hojarasca de los cultivos.

#### *Descomposición de especies forrajeras herbáceas y arbustivas*

Se utilizó la técnica de la bolsa de residuos (Thomas & Asakawa, 1993) para comparar la composición inicial y las tasas de descomposición de la hojarasca de leguminosas herbáceas y arbustivas y de una especie de gramínea. Se incluyó un tratamiento adicional relacionado con el tamaño de la hojarasca: consistió en recortar los residuos foliares de todas las especies a un tamaño similar al de la hojarasca de *Stylosanthes capitata*, más o menos 10 mm de largo. En el invernadero, las bolsas de residuos se colocaron 3 cm por debajo de la superficie del suelo en recipientes plásticos grandes (50 x 25 x 30 cm) que contenían suelo Oxisol (francoarcilloso de Introducciones II) de Carimagua.

El Cuadro 7 muestra las especies utilizadas y su composición inicial. Como la diferencia entre la hojarasca cortada y la intacta fue poca o ninguna, se combinaron los datos de los dos tratamientos (Cuadro 8). Las tasas de descomposición y las vidas medias indicaron una amplia variación entre las especies: *A. pintoii*, *S. capitata*, *C. floribunda* y *D. velutinum* presentaron la descomposición más rápida, y *F. macrophylla*, *D. ovalifolium* y *C. acutifolium* la más lenta (Cuadro 5). Cuando se consideraron los factores de composición en conjunto, las especies con las tasas de descomposición más rápidas presentaban, en general, bajas relaciones lignina:N y C:N, o cantidades bajas de taninos; por su parte, las especies con las tasas de descomposición más lentas presentaron altas relaciones lignina:N y C:N, o grandes cantidades de taninos. El contenido de lignina ( $r^2 = 0.87$ ) y las relaciones lignina:N ( $r^2 = 0.67$ ) y lignina:hemicelulosa ( $r^2 = 0.68$ ) dieron las mejores correlaciones lineales con  $k$  (en todas,  $p < 0.05$ ).

Se encontró que la reducción en el tamaño de la hojarasca tuvo poco o ningún efecto en las tasas de composición de cada especie individual, lo que indica que la descomposición es más una función de la composición inicial y no de la naturaleza física. La mayor parte de la variación en las tasas de descomposición podría explicarse mediante la combinación de los factores de composición, como son la relación C:N y los contenidos de lignina, hemicelulosa y taninos.

La hojarasca que se usó en este estudio se examinó también para estimar la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), en colaboración con el Dr. C. Lascano del Programa de Forrajes Tropicales. Se intentaba determinar si había una relación entre la digestibilidad del licor del rumen y la descomposición de la hojarasca. Esa relación podría utilizarse como un indicador común sencillo para ambos procesos, aunque uno sea anaeróbico (rumen) y el otro básicamente aeróbico (descomposición en el suelo). Aunque se halló una tendencia positiva entre las constantes de descomposición de la hojarasca y las estimaciones de DIVMS, la correlación no fue significativa ( $r^2 = 0.58$ ). Estos resultados iniciales sugieren que puede haber algún mérito en la exploración de esa relación con más detalle, y se ha establecido un proyecto de investigación colaborativa con el Programa de Forrajes Tropicales.

#### *Descomposición de la hojarasca en la zona cafetera de Colombia*

La descomposición de la hojarasca de las leguminosas forrajeras *A. pintoii* y *D. ovalifolium* y de la leguminosa arbórea *Leucaena leucocephala* se comparó con la hojarasca producida por el café (*Coffea arabica*) en dos sitios (Naranjal y Granja) de suelos similares pero en ambientes contrastantes, en las estaciones experimentales de CENICAFE, cerca de Manizales, Caldas. Las tasas de descomposición fueron levemente mayores en Granja que en Naranjal, probablemente porque el clima es

más fresco en este último sitio (Cuadro 6). Es difícil explicar las grandes diferencias que se presentaron en las constantes de descomposición de *L. leucocephala*, ya que el material inicial fue idéntico. *A. pintoii* se descompuso rápidamente en este ambiente. En colaboración con CENICAFE, continúan los estudios sobre el papel de esa leguminosa forrajera y de otras como proveedores de nitrógeno para el café.

#### *Efecto del calibre de la malla de la bolsa de residuos en la descomposición*

Las bolsas de residuos de diferente calibre de malla pueden excluir cierta fauna del suelo y, por tanto, afectar las tasas de descomposición. Para determinar la magnitud de ese efecto, se colocó la hojarasca de diferentes gramíneas y leguminosas forrajeras en el campo en Carimagua, en bolsas que tenían un calibre de malla de 1, 2 y 4 mm. Se hizo un seguimiento de la descomposición utilizando la metodología descrita anteriormente (Thomas & Asakawa, 1993). Se ajustó una sola función exponencial de deterioro a los datos para calcular las constantes de descomposición ( $k$ ) y las vidas medias de la hojarasca en número de días. Los resultados indicaron que el calibre de la malla de las bolsas tuvo poco efecto en los parámetros de descomposición para cualquiera de las especies estudiadas (Cuadro 7). Como se informó anteriormente, la leguminosa *Arachis pintoii* se descompuso a tasas más rápidas, mientras que *Desmodium ovalifolium* y la gramínea *Brachiaria dictyoneura* se descompusieron a tasas más lentas. Estos resultados indican que en los suelos ácidos de sabana del trópico, la fauna que no pudo introducirse a las bolsas que tenían un calibre de malla de 1 mm desempeña un papel relativamente menos importante en la descomposición de la hojarasca. Estos datos, junto con los antes presentados y los de informes previos (Programa de Sabanas, Informe Bional 1992-1993), indican que la composición química de la hojarasca de especies forrajeras tropicales y de los residuos del cultivo es un factor regulador más importante que los organismos que la descomponen o que la estructura física del material vegetal de las especies estudiadas hasta la fecha.

Se midieron en estos experimentos los niveles de N inorgánico del suelo en los sitios debajo de las bolsas de residuos, para determinar si los niveles de N inorgánico aumentaban a medida que la hojarasca se descomponía. Ahora bien, en ningún tratamiento se detectó un nivel elevado de nitratos o de amonio, lo que indica que la descomposición fue lenta o que la liberación del N inorgánico fue inmovilizada rápidamente por la biomasa microbiana o por las plantas —o por ambas (no se incluyen los datos).

#### *Conclusiones*

Los datos disponibles indican que la composición de la hojarasca y de los residuos de un cultivo desempeña un papel regulador clave en la descomposición vegetal y

Cuadro 5. Parámetros de descomposición y vidas medias de especies forrajeras arbustivas y herbáceas.

Especies	K (día <sup>-1</sup> )	Vida media (días)
<b>Leguminosas arbustivas</b>		
<i>F. macrophylla</i>	0.0025	196
<i>C. cajan</i>	0.0054	93
<i>C. floribunda</i>	0.0064	54
<i>D. velutinum</i>	0.0077	46
<b>Leguminosas herbáceas</b>		
<i>D. ovalifolium</i>	0.0029	135
<i>C. acutifolium</i>	0.0032	114
<i>P. phaseoloides</i>	0.0078	61
<i>A. pinto</i>	0.0066	38
<i>S. capitata</i>	0.0085	49
<b>Gramíneas</b>		
<i>B. dictyoneura</i>	0.0047	94

Cuadro 6. Constantes de descomposición para la hojarasca foliar en la zona cafetera.

Sitio	Especies	K (día <sup>-1</sup> )	Vida media (días)
Granja	<i>D. ovalifolium</i>	0.0056 ± 0019	112
	<i>A. pintoi</i>	0.0370 ± 0043	20
	<i>L. leucocephala</i>	0.0237 ± 0030	31
	<i>C. arabica</i>	0.0120 ± 0010	58
Naranjal	<i>D. ovalifolium</i>	0.0050 ± 0015	129
	<i>A. pintoi</i>	0.0176 ± 0023	37
	<i>L. leucocephala</i>	0.0057 ± 0008	120
	<i>C. arabica</i>	0.0088 ± 0008	76

Cuadro 7. Efecto del calibre de malla de la bolsa de residuos en los parámetros de descomposición.

Especies	Tamaño de malla de la bolsa de residuos (mm)	K	Vida media (días)
<i>Centrosema acutifolium</i>	4	0.0129 ± 0.0011	50
	2	0.0048 ± 0.0015	115
	1	0.0100 ± 0.0024	59
<i>Pueraria phaseoloides</i>	4	0.0083 ± 0.0017	72
	2	0.0056 ± 0.0012	106
	1	0.0077 ± 0.0015	81
<i>Arachis pintoi</i>	4	0.0131 ± 0.0024	46
	2	0.0078 ± 0.0011	79
	1	0.0142 ± 0.0026	44
<i>Desmodium ovalifolium</i>	4	0.0055 ± 0.0015	102
	2	0.0045 ± 0.0008	134
	1	0.0058 ± 0.0014	104
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	4	0.0063 ± 0.0016	96
	2	0.0062 ± 0.0007	102
	1	0.0061 ± 0.0012	103

Cuadro 8. Códigos de los tratamientos.

Tratamiento	Código
<i>B. decumbens</i>	Bd
<i>B. decumbens</i> + <i>Pueraria phaseoloides</i>	Bd/Pp
<i>B. humidicola</i> + 2 UA/ha	Bh+2
<i>B. humidicola</i> + <i>Arachis pintoi</i> + 2 UA/ha	Bh/Ap+2
<i>B. humidicola</i> + 4 UA/ha	Bh+4
<i>B. humidicola</i> + <i>Arachis pintoi</i> + 4 UA/ha	Bh/Ap+4
Sabana	Sab

en la liberación de nutrimentos en las sabanas del trópico, y que el factor regulador más importante es la relación lignina:N. La relación C:N y los contenidos de polifenoles y de taninos desempeñan un papel secundario. En general, el contenido de estos últimos es bajo en la hojarasca y en los residuos del cultivo, si comparamos éstos con abonos verdes cuyos taninos se consideran los principales factores reguladores. Por tanto, puede ser conveniente emplear el módulo de descomposición de la hojarasca en el modelo de ecosistemas CENTURY para predecir las tasas de descomposición y los patrones de liberación de nutrimentos de aquel material cuyo relación lignina:N presente un amplio rango. Trabajos anteriores verifican la utilidad de este modelo en esas predicciones (Programa de Sabanas, Informe Bienal 1992-1993), aunque se han presentado problemas cuando CENTURY se usa para hacer estimaciones a largo plazo del carbono del suelo y de otros nutrimentos en condiciones de sabana en el trópico húmedo.

### **Evaluación de algunas propiedades físicas de un Oxisol después de convertir la sabana nativa en una pastura a base de leguminosas o en una pastura de gramínea pura**

A.J. Gijssman y R.J. Thomas

#### **Introducción**

Hay poca información disponible sobre el desarrollo, a corto o a largo plazo, de las condiciones físicas del suelo en pasturas establecidas en sabanas que anteriormente eran nativas. En este campo de investigación, se ha dado mayor énfasis a las pasturas establecidas después de tumbar el bosque tropical, en cuyo caso se puede esperar un cambio considerable en las características físicas del suelo dada la drástica naturaleza de la conversión de la tierra y los métodos utilizados para el desmonte. En estudios previos se había demostrado que no hay diferencias en la distribución de los agregados del suelo entre las pasturas de gramíneas solas y las de gramíneas y leguminosas establecidas en sabanas que anteriormente habían sido nativas, pero que los agregados fueron algo más estables en presencia de una leguminosa. En este informe se dan datos sobre otras características físicas del suelo que se estudian en estas pasturas.

#### **Materiales y métodos**

Se tomaron muestras del suelo de dos pasturas experimentales adyacentes, una de gramíneas solas y otra de gramíneas y leguminosas, en un Oxisol francoarcilloso de Carimagua (Cuadro 8). Se incluyó también una sabana nativa como testigo. Las

parcelas tenían 1 ha cada una, pero en el experimento 2 se dividieron en dos partes iguales para hacer pastoreo alternativo; sólo una de las partes se utilizó para el muestreo. Se hicieron repeticiones en los experimentos 2 y 3, pero en el experimento 1 la parcela de repetición ya no estaba disponible. Sin embargo, debido a que las parcelas en este experimento no estaban divididas en dos, como en el otro experimento de pasturas, se creó una "pseudoréplica" al dividir las parcelas en dos mitades para el muestreo.

Se determinaron los siguientes parámetros físicos del suelo:

- Características de retención de agua
- Conductibilidad hidráulica sin saturación, según cálculos derivados de las características de retención de agua, utilizando un programa de computación que ajusta las curvas de retención de agua
- Densidad volumétrica aparente
- Porosidad total y distribución de los tamaños de los poros, según cálculos de la curva de retención de agua
- Resistencia al penetrómetro
- Tasa de infiltración de agua, en un sistema de infiltración de anillo doble

## Resultados

### *Densidad volumétrica aparente del suelo y resistencia al penetrómetro*

La densidad volumétrica aparente del suelo varió de 1.23 a 1.30 g cm<sup>-3</sup> (Cuadro 9), sin diferencias entre los tratamientos.

La resistencia al penetrómetro aumentó notablemente con la profundidad en todos los tratamientos, hasta una profundidad de cerca de 40 a 50 cm (Figura 5). Los datos muestran una mayor resistencia en la capa arable de la sabana en comparación con la de las pasturas; lo contrario ocurrió en el subsuelo (no fue posible el análisis estadístico de esa diferencia). La inclusión de una leguminosa en la pastura no afectó la resistencia al penetrómetro en el experimento de *B. decumbens* +/- *P. phaseoloides* pero, en el experimento de *B. humidicola* +/- *A. pintoii*, la resistencia al penetrómetro fue ligeramente mayor en los tratamientos de gramíneas y leguminosas que en los tratamientos de gramíneas solas ( $P < 0.001$ ). Cuando aumentó la tasa de carga, la resistencia al penetrómetro fue levemente mayor ( $P < 0.001$ ). Esas diferencias fueron independientes de la profundidad.

**Cuadro 9.** Varios parámetros físicos de dos capas de un Oxisol, en pasturas mejoradas o en sabanas nativas.

Tratamiento <sup>a</sup>	Densidad volumétrica (g cm <sup>-3</sup> )	Porosidad total (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Distribución de tamaño de los poros (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )			
			<0.1μm	0.1-5μm	5-30μm	>30μm
Capa de 0 a 5 cm						
Bd	1.30	.476	.232	.103	.059	.082
Bd/Pp	1.29	.466	.234	.109	.059	.063
Bh+2	1.27	.487	.220	.119	.068	.080
Bh/Ap+2	1.27	.485	.221	.112	.064	.088
Bh+4	1.28	.485	.192	.125	.075	.093
Bh/Ap+4	1.28	.473	.186	.122	.074	.090
Sab	1.30	.483	.177	.120	.074	.112
Capa de 6 a 11 cm						
Bd	1.30	.456	.186	.126	.075	.070
Bd/Pp	1.30	.458	.208	.113	.065	.072
Bh+2	1.24	.469	.194	.115	.069	.092
Bh/Ap+2	1.24	.475	.199	.107	.064	.104
Bh+4	1.24	.479	.164	.119	.076	.121
Bh/Ap+4	1.23	.474	.161	.118	.077	.118
Sab	1.29	.465	.174	.135	.081	.075

a. Ver el Cuadro 8 para una explicación de los códigos de los tratamientos.

### *Retención de agua*

El contenido de agua volumétrica a saturación fue casi el mismo para todos los tratamientos en ambas capas de suelo (Figura 6). Para la capa de suelo de 0 a 5 cm, la disminución en el contenido de agua con el incremento de  $pF$  se presentó más rápidamente en la sabana nativa que en los tratamientos de pasturas cuya tasa de carga era relativamente baja (i.e., el experimento de *B. decumbens* +/- *P. phaseoloides* y los tratamientos de baja tasa de carga del experimento *B. humidicola* +/- *A. pinto*). Los tratamientos con alta tasa de carga en el último experimento presentaron una curva de  $pF$  similar a la de la sabana nativa, que indicaba una disminución en el contenido de agua volumétrica ( $\Theta$ ) con el aumento de  $pF$  más rápida que en los tratamientos con baja tasa de carga (no significativo, aunque  $P < 0.10$ ). En la capa del suelo entre 6 y 11 cm, las curvas de  $pF$  de los tratamientos con tasas de carga altas y bajas del experimento 2 se diferenciaron claramente (significativa para  $pF \geq 2$ ). Las curvas de  $pF$  de los tratamientos de gramíneas solas y de gramíneas y leguminosas no difirieron, a excepción de las de la capa de 6 a 11 cm en el experimento 1. Esta última diferencia, sin embargo, se puede atribuir a una muestra que tenía un contenido de agua relativamente alto en el rango alto de  $pF$ , y no fue significativa.

El contenido de agua del suelo que está disponible para la planta se calculó como la diferencia entre el límite superior, con drenaje, del contenido de agua ("capacidad de campo", tomada aquí a una presión de -60 cm) y el contenido de agua a punto de marchitamiento (tomado generalmente a una presión de -15 bares). Esto representa un contenido de agua disponible para la planta entre 13.4% y 17.5% del volumen del suelo (no se muestran los datos), donde los valores más bajos están en los tratamientos cuya tasa de carga es relativamente baja (en ambos experimentos). No se presentaron diferencias entre los tratamientos en ninguna de las capas del suelo.

### *Porosidad total y distribución del tamaño de los poros*

El suelo saturado por agua contiene generalmente aire atrapado o disuelto (a menos que la saturación haya ocurrido en el vacío); por tanto, el contenido de agua a saturación  $\Theta_s$  no proporciona una medida exacta de la porosidad total. Esa diferencia, sin embargo, es sólo del orden del 5% al 10% y, por tanto, no se hace ninguna corrección. El Cuadro 9 indica que, para todos los tratamientos y todas las capas del suelo, la porosidad total varía de 0.46 a 0.49.

La distribución de los tamaños de los poros (Cuadro 9) refleja las diferencias observadas en las curvas de  $pF$ , distinguiendo los tratamientos de baja tasa de carga de los de alta tasa de carga; este último tiene un volumen relativamente

pequeño de espacio con poros pequeños y un gran volumen de espacio con poros grandes. Estas diferencias fueron significativas cuando los poros eran  $<0.1 \mu\text{m}$  y  $>30 \mu\text{m}$  en la capa del suelo de 0 a 5 cm en el experimento de *B. humidicola* +/- *A. pinto*. La leguminosa no afectó los resultados.

#### *Conductibilidad hidráulica calculada sin saturación*

La conductibilidad hidráulica calculada sin saturación ( $K$ ) de los suelos de pasturas (Figura 7) fue generalmente inferior a la del suelo de las sabanas nativas. Esta diferencia fue más notoria en los tratamientos de pasturas en que la tasa de carga era relativamente baja (i.e., el experimento de *B. decumbens* +/- *P. phaseoloides* y los tratamientos con baja tasa de carga del experimento de *B. humidicola* +/- *A. pinto*). Una excepción fue la capa de suelo de 6 a 11 cm en el tratamiento de *B. decumbens* +/- *P. phaseoloides*, y se debió, en su mayor parte, a una muestra aislada que tomó un valor  $K$  relativamente bajo cuando los valores de  $\Theta$  eran bajos.

No se encontraron efectos consistentes de la leguminosa o de la tasa de carga aunque, para la capa de 6 a 11 cm en el experimento de *B. humidicola* +/- *A. pinto*,  $K$  fue significativamente menor en los tratamientos con leguminosa que en aquellos sin leguminosa para valores de  $h$  menos negativos que -150 kPa.

#### *Infiltración de agua*

En la Figura 8 se indican la infiltración acumulativa de agua medida y las curvas ajustadas a los datos. El ajuste entre las curvas y los datos es estrecho; los valores de  $R^2$  de mediciones de infiltración individual variaron entre 0.988 y 1.000.

Se observó una diferencia en la tasa de infiltración de agua entre las pasturas de gramíneas solas y las de gramíneas y leguminosas. Estas últimas presentaron una infiltración de agua más rápida (fue significativa a  $P < 0.005$  para el experimento de *B. humidicola* +/- *A. pinto*), que se podría atribuir a una mayor tasa terminal de infiltración de agua ( $A$ ) y —a excepción del tratamiento de *B. humidicola* +/- *A. pinto*, en que había baja tasa de carga— también a una mayor capacidad de sorción ( $S$ ) en esas pasturas.

En el experimento de *B. humidicola* +/- *A. pinto* se observó una disminución leve (no significativa) en la tasa de infiltración de agua cuando era mayor la tasa de carga, que fue efecto de una disminución en la tasa terminal de infiltración. La capacidad de sorción fue allí variable.

La infiltración de agua en suelos de sabanas nativas fue más lenta que en las pasturas de gramíneas y leguminosas; en el experimento de *B. decumbens* +/- *P. phaseoloides* fue también más lenta que en la pastura de gramíneas solas. Sin embargo, fue igual o más rápida que la infiltración medida en las pasturas de gramíneas solas en el experimento de *B. humidicola* +/- *A. pintoii*.

## Discusión

La inclusión de una leguminosa en las pasturas no tuvo mucho efecto en la densidad volumétrica del suelo, en la porosidad total, en la distribución del tamaño de los poros, en las características de retención de agua o en la conductibilidad hidráulica calculada sin saturación; estas dos últimas características son un resultado de los parámetros de porosidad. Aunque el efecto de la leguminosa en la resistencia del suelo al penetrómetro fue significativo, no fue lo suficientemente grande como para ser de importancia práctica. Por otra parte, fue sorprendente el aumento en la tasa de infiltración de agua en las pasturas de gramíneas y leguminosas, en comparación con las pasturas de gramíneas solas. Los dos tratamientos de gramíneas solas, en el experimento *B. humidicola* +/- *A. pintoii*, presentaron también una tasa reducida de infiltración de agua en comparación con la sabana nativa. La ley de Poiseuille puede explicar la falta evidente de correspondencia entre los datos sobre la tasa de infiltración de agua y la porosidad; ésta relaciona la tasa de flujo a través de un medio poroso a la cuarta potencia del radio de los capilares. Por tanto, los pequeños cambios en el diámetro de los poros pueden tener un impacto profundo en la conductibilidad hidráulica de un suelo, mientras que escasamente afectan la porosidad total. Además, los poros pequeños pueden servir de pasaje a grandes volúmenes de agua mientras éstos sean continuos, pero no contribuyen mucho a la porosidad total. Las diferencias en dimensión de los métodos utilizados pueden ocultar cambios en la porosidad, puesto que pocas veces se muestrean los poros más grandes o las grietas del suelo en los pequeños cilindros de muestreo, los cuales tienen mayor probabilidad de ser incluidos en los cilindros de infiltración que son más grandes.

El efecto de la leguminosa en la condición física del suelo puede relacionarse con el notable aumento de la biomasa de lombrices de tierra en presencia de una leguminosa. Estas lombrices crean canales verticales en el suelo y estimulan, por tanto, la infiltración del agua. Otra explicación puede ser que muchas leguminosas —especialmente *A. pintoii*— tienen un sistema de raíces relativamente gruesas en comparación con las raíces de las gramíneas. Los canales que las raíces viejas de las leguminosas dejan en el suelo pueden contribuir a crear poros relativamente grandes en todo el perfil, proporcionando así conductos que desvíen el flujo de agua.

La liberación de agua por aumento de  $pF$  en los tratamientos con alta tasa de carga del experimento *B. humidicola* +/- *A. pintoi* fue más rápida que en los tratamientos con baja tasa de carga. Esto indica que, en el primero, el suelo presentaba una mayor fracción de poros relativamente grandes (Cuadro 9). La tasa de carga no afectó la porosidad total, y este resultado se puede relacionar con una mayor renovación de raíces debida a la defoliación más frecuente y completa, lo que originaría un número relativamente grande de canales creados por raíces viejas. A mayores tasas de carga, este efecto puede ser contrarrestado por los efectos de la compactación. Sin embargo, a pesar de este aumento en la fracción de poros grandes, la tasa de infiltración de agua disminuyó en los tratamientos en que la tasa de carga era alta, lo que refleja posiblemente las diferencias en dimensión, antes mencionadas, de los métodos usados.

## Conclusiones

Aunque es probable que la condición física de un suelo, después de que la sabana nativa se ha convertido en pastura, no cambia tan dramáticamente como cuando el bosque primario se convierte en pastura, los resultados que se presentan aquí tienen implicaciones para el manejo del suelo. A un valor dado de  $\Theta$ , los suelos de pasturas mejoradas presentaron, generalmente, una conductibilidad hidráulica calculada sin saturación inferior a los suelos de sabanas nativas, es decir, fueron más húmedos a un valor dado de  $K$ . Esto significa que con una cantidad determinada de lluvia y, por tanto, a un valor dado de  $K$  en condiciones de infiltración constante, el suelo de la pastura es más susceptible al daño por pisoteo animal o por labranza que el de la sabana nativa. Por otra parte, la adición de una leguminosa a una pastura mejora la condición física del suelo. La mayor tasa de infiltración de agua en pasturas de gramíneas y leguminosas puede ayudar a reducir el riesgo de pérdida de suelo causado por la erosión hídrica.

- Figura 5.** Resistencia de cono de un Oxisol en pasturas mejoradas o en sabanas nativas. (A) = *B. decumbens* +/- *P. phaseoloides*; (B) = *B. humidicola* +/- *A. pintoii*. Ver el Cuadro 8 para una explicación de los códigos de los tratamientos.
- Figura 6.** Curvas de retención de agua de dos capas de suelo de un Oxisol en pasturas mejoradas o en sabana nativa. Las líneas horizontales punteadas indican el nivel de agua disponible para las plantas (ver texto). (A), (C) = *B. decumbens* +/- *P. phaseoloides*, en las capas de 0 a 5 cm y de 6 a 11 cm, respectivamente. (B), (D) = *B. humidicola* +/- *A. pintoii*, en las capas de 0 a 5 cm y de 6 a 11 cm, respectivamente. Ver el Cuadro 8 para una explicación de los códigos de los tratamientos.
- Figura 7.** Conductibilidad hidráulica calculada sin saturación como una función del contenido volumétrico de agua ( $\theta$ ) de dos capas de un Oxisol en pasturas mejoradas o en sabana nativa. (A), (C) = *B. decumbens* +/- *P. phaseoloides*, en las capas de 0 a 5 cm y de 6 a 11 cm, respectivamente. (B), (D) = *B. humidicola* +/- *A. pintoii*, en las capas de 0 a 5 cm y de 6 a 11 cm, respectivamente. Ver el Cuadro 8 para una explicación de los códigos de los tratamientos.
- Figura 8.** Infiltración acumulativa de agua durante un período de 90 minutos en un Oxisol en pasturas mejoradas o en sabana nativa. (A) = *B. decumbens* +/- *P. phaseoloides*; (B) = *B. humidicola* +/- *A. pintoii*. Ver el Cuadro 8 para una explicación de los códigos de los tratamientos.  $V$  = capacidad de sorción ( $\text{cm min}^{-1/2}$ );  $A$  = tasa terminal de infiltración de agua ( $\text{cm min}^{-1}$ ).

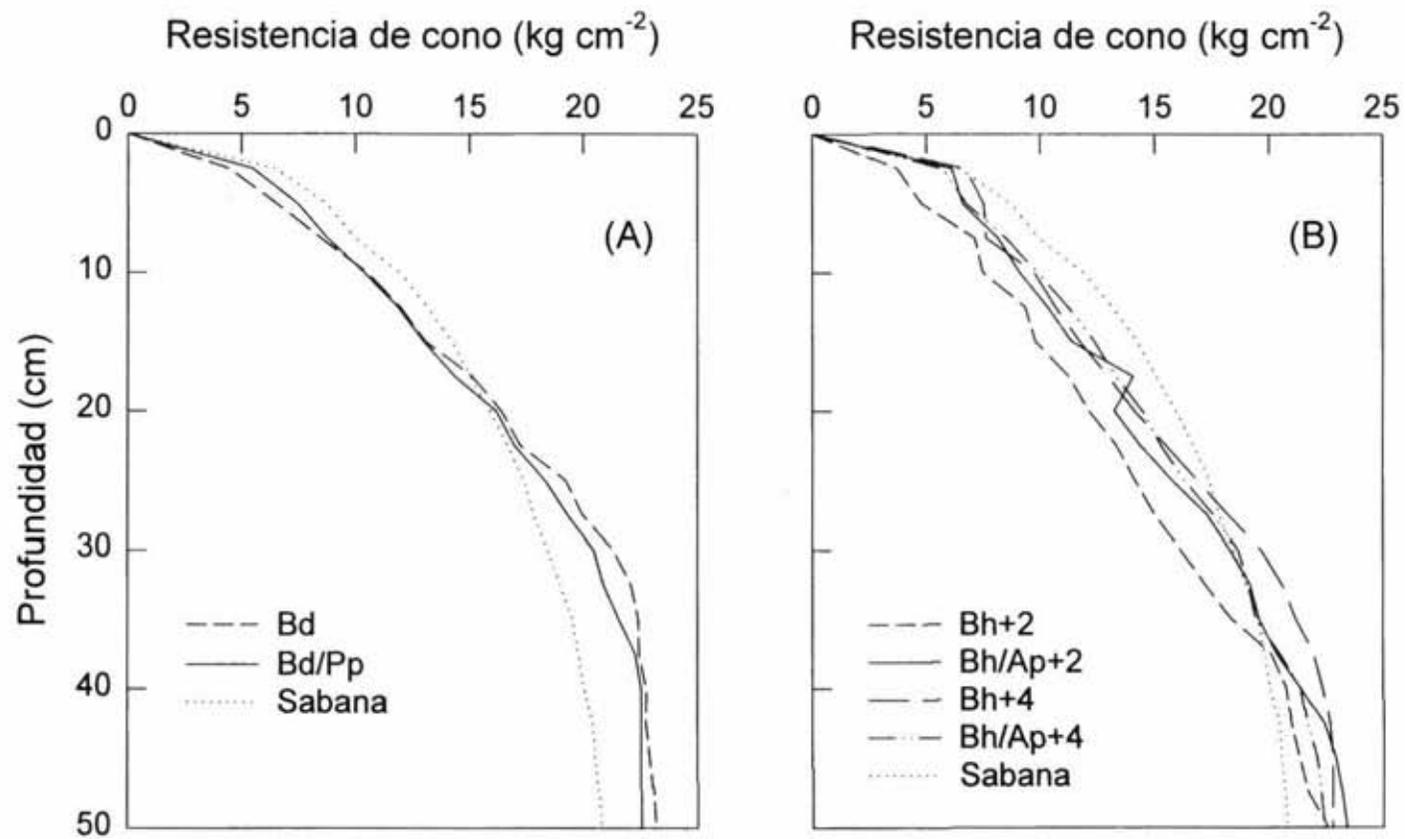


Figura 5.

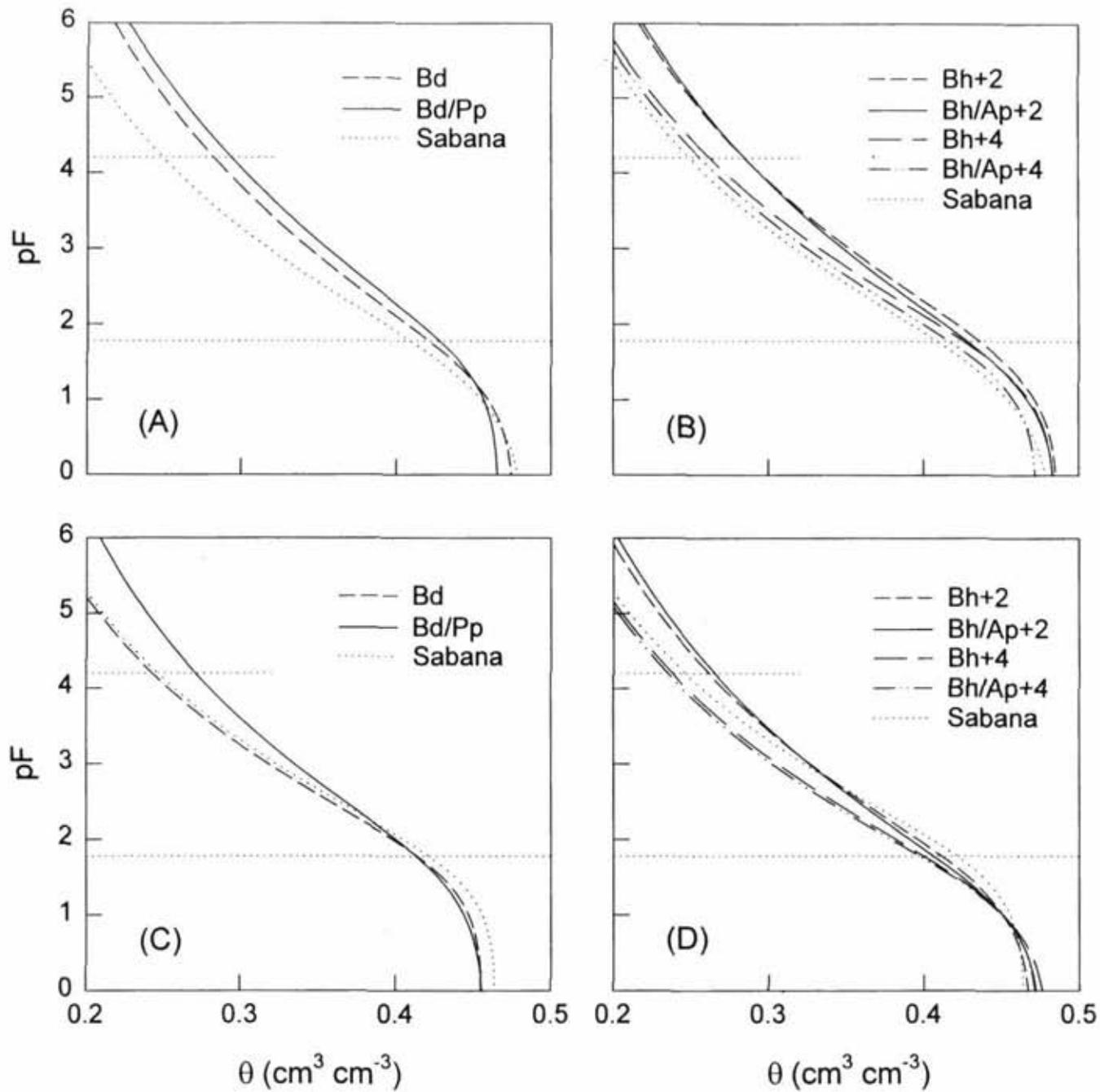


Figure 6.

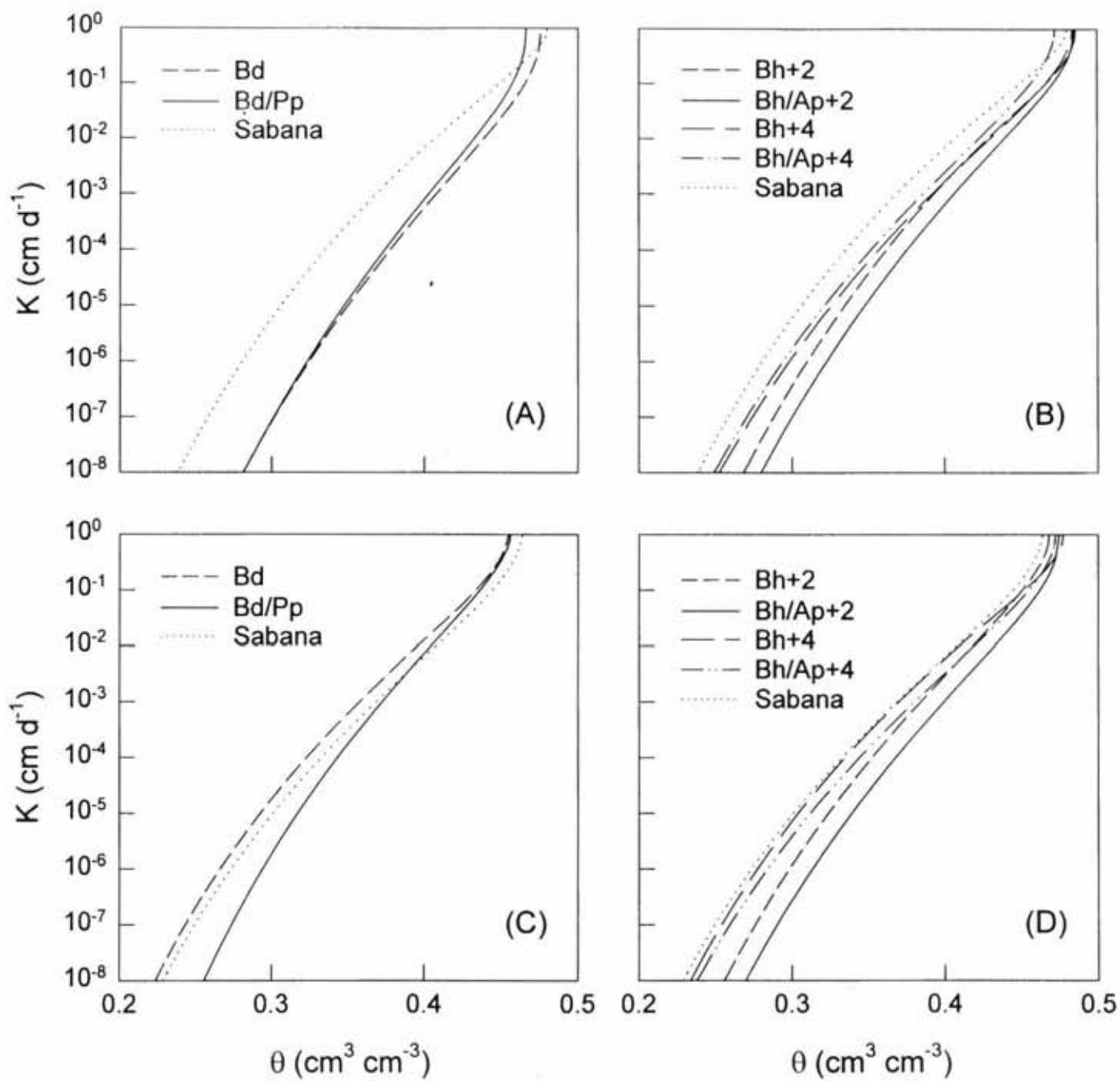


Figura 7.

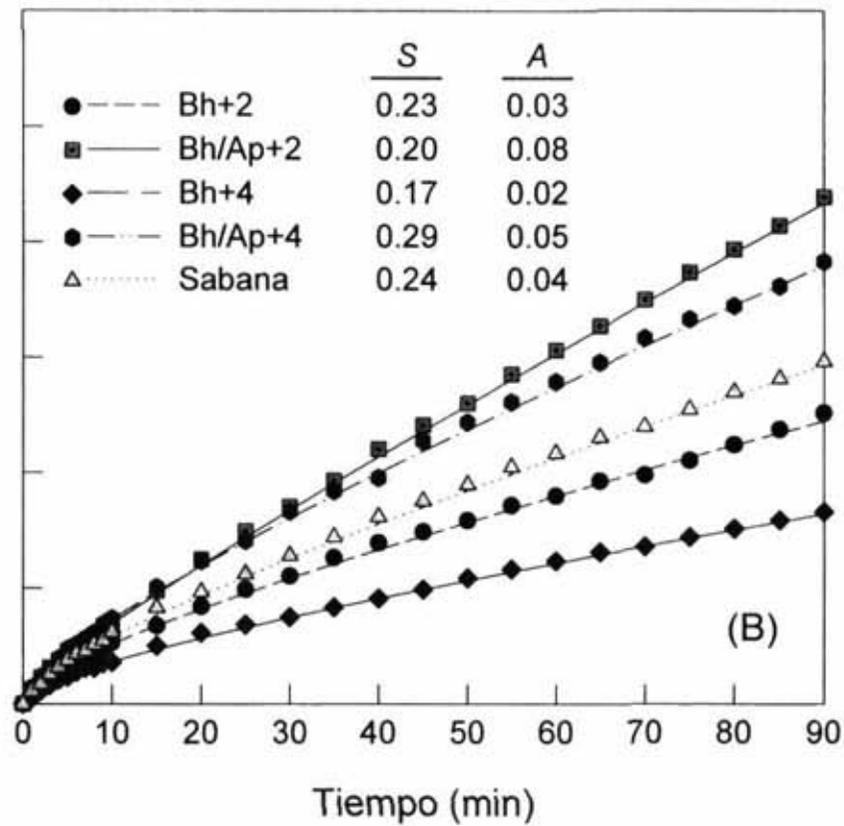
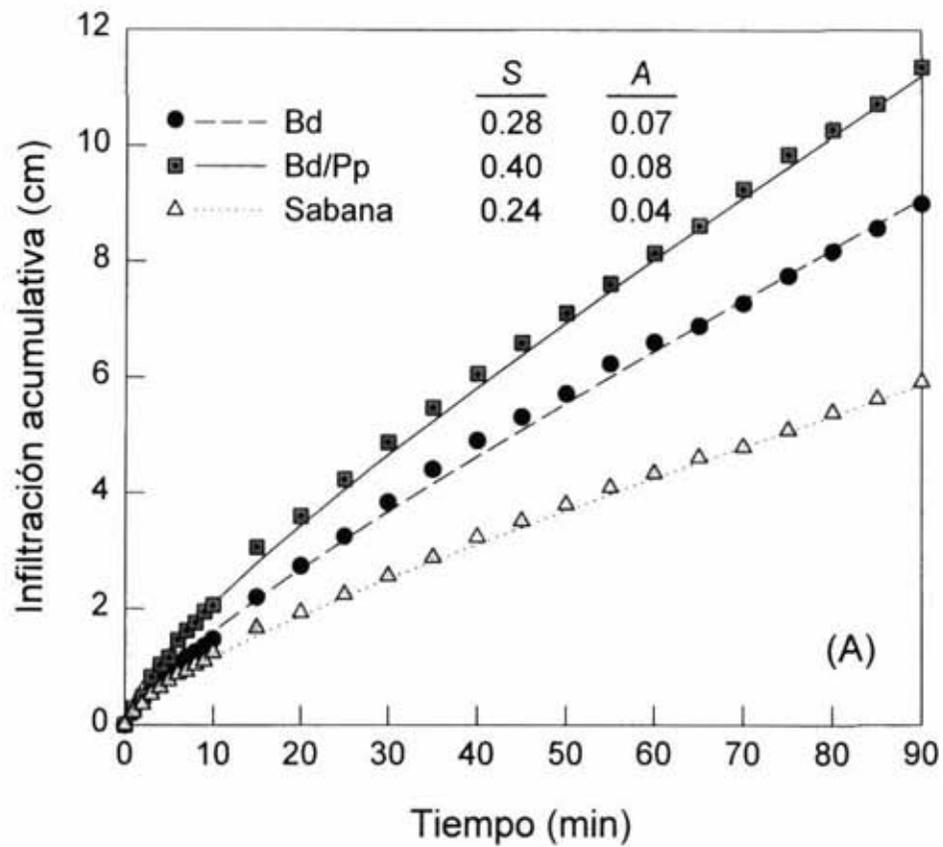


Figura 8.

## **Almacenamiento de carbono a grandes profundidades en el suelo por las pasturas introducidas en las sabanas de América del Sur**

(M. Fisher, R. Vera, I. Rao, J. Sanz, C. Lascano, R. Thomas, M. Ayarza)

Hay indicaciones de que la biosfera terrestre absorbe parte de las emisiones antropógenas de dióxido de carbono, las cuales han causado preocupación debido a sus posibles consecuencias. Aunque se cree que gran parte del aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico que se atribuye a la agricultura en las últimas décadas se debe principalmente a los cambios en el uso de la tierra en el trópico, aquí informamos que las pasturas a base de gramíneas de raíces profundas introducidas en las sabanas de América del Sur pueden acumular carbono orgánico a grandes profundidades en el suelo. El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) introdujo y seleccionó estas gramíneas, enfatizando en ellas la presencia de raíces profundas que extrajeran el calcio y otros nutrimentos, que explotaran mejor el agua del suelo, y que mantuvieran el forraje verde durante la estación seca que dura de a 5 meses. La cantidad de carbono incorporada en el suelo puede alcanzar los 507 millones de toneladas (Mt) de carbono por año, cifra que explicaría, en parte, lo que falta a la acumulación de carbono desechado a nivel mundial, que es de 0.4 a 4.3 mil millones de toneladas (Gt). El descubrimiento de que esa cantidad de carbono es incorporada al suelo en las sabanas tropicales representa una alternativa inmediata y efectiva para los esfuerzos con que se combate la amenaza del calentamiento global, con la ventaja adicional de que ésta ofrece elevar la producción agrícola en los suelos de baja fertilidad.

Las sabanas ocupan unos 250 millones de hectáreas (M ha) en América del Sur, principalmente en Brasil (200 M ha), Colombia (20 M ha) y Venezuela (12 M ha). Las sabanas se aprovechan para ganadería extensiva con especies forrajeras nativas, aunque en los últimos 30 años los cultivos de maíz y soya (actualmente, 12 M ha) y las pasturas introducidas (35 M ha) han adquirido importancia en Brasil. Los suelos de sabana son principalmente Oxisoles y Ultisoles, que se caracterizan por el pH bajo (4.0-4.8), la saturación de aluminio (hasta un 90%), y los niveles bajos de P y de Ca. La precipitación varía de 1500 a 3000 mm, con una distribución estacional unimodal.

Las gramíneas perennes *Andropogon gayanus* y *Brachiaria humidicola* son originarias de África. Las plantas de *A. gayanus* son altas y crecen en montecillos, mientras que *B. humidicola* forma praderas. Las leguminosas *Arachis pintoii* y *Stylosanthes capitata* son de América del Sur. *A. pintoii* es una especie perenne estolonífera de crecimiento vigoroso, y *S. capitata* es una especie bianual que se propaga libremente. Las asociaciones de gramíneas y leguminosas de estas especies forrajeras producen ganancias de peso vivo en el ganado de hasta 500 kg

ha<sup>-1</sup> por año, en comparación con 7 a 20 kg ha<sup>-1</sup> en las sabanas bien manejadas. Estas asociaciones producen forraje verde durante varios meses en la estación seca y rebrotan con vigor poco después de las primeras lluvias de la estación húmeda. Desde 1980 se han liberado estas cuatro especies como cultivares en varios países de América del Sur. Sólo en Brasil, hoy en día hay 7 M ha sembradas con *A. gayanus* (M.A. Ayarza, comunicación personal).

Aunque se considera que las raíces profundas desempeñan un papel importante en la adaptación a suelos de baja fertilidad, especialmente en *A. gayanus*, no se ha prestado mucha atención al papel de esas raíces en la dinámica del carbono del suelo. Se midió el carbono del suelo en una pastura de *A. gayanus* y en dos pasturas de *B. humidicola*, en dos sitios de los Llanos Orientales de Colombia, distantes entre sí unos 200 km (Cuadro 10). En cada caso se obtuvieron las mediciones correspondientes a la sabana nativa.

Las pasturas tenían historias diferentes (Cuadro 10) pero todas habían sido pasturas de gramíneas durante 3 a 9 años. La pastura de la finca Matazul no se fertilizó después del cultivo de arroz que se había usado como cultivo pionero para establecer la pastura; en Carimagua, en cambio, se aplicó fertilizante durante el establecimiento de la pastura y cada segundo año de ahí en adelante. Todas las pasturas se sometieron a pastoreo por ganado con las cargas normales de las pasturas mejoradas en la región.

Todas las pasturas de gramíneas hicieron una contribución significativa al C del suelo, en comparación con la sabana nativa, especialmente cuando se sembraron en asociación con una leguminosa (Cuadro 11). Los datos para pasturas que contenían otra gramínea de origen africano, *Brachiaria dictyoneura* cv. Llanero, en la finca Matazul, muestran una fijación de C menor, pero aún significativa, de cerca de 30 t ha<sup>-1</sup> en 3.5 años (no se presentan datos). Si los datos son representativos de las áreas sembradas con pasturas de *A. gayanus* y especies de *Brachiaria* en América del Sur, que se estiman conservadoramente en 35 M ha, entonces se están captando de 100 a 507 T<sub>a</sub> de C cada año.

La contribución de la leguminosa durante los seis años transcurridos desde su establecimiento en Carimagua se puede estimar por la diferencia entre la contribución de la gramínea sola y la de la asociación, o sea, 44.7 t ha<sup>-1</sup> de C. Por tanto, aunque las leguminosas contribuyen sólo con un 15% de la biomasa de las raíces, la asociación con *A. pintoii* aumentó la fijación de carbono en 7.8 t ha<sup>-1</sup> por año en comparación con las gramíneas puras.

En comparación con la sabana, las pasturas de gramíneas captan la mayor parte del C en la parte más profunda del perfil del suelo, bien abajo de la capa arable (que es normalmente de 10 a 15 cm). En consecuencia, este C debe ser menos

propenso a la oxidación —y, por ende, a la pérdida— durante cualquier fase del cultivo en los sistemas integrados de cultivos y pastoreo. En efecto, estos sistemas podrían acomodar rotaciones con cultivos anuales y todavía contribuirían a la captación de C. Jones *et al.* resaltaron el papel que desempeña la quema en la determinación del equilibrio en la vegetación de la sabana nativa, ya sea como receptor neto o como fuente de carbono en el trópico. Rara vez se queman las pasturas introducidas, excepto por accidente, a diferencia de las sabanas nativas que se queman con más frecuencia, generalmente cada año.

Hay pocos datos disponibles sobre el estado del C del suelo a una profundidad más allá de los 15 ó 20 cm en el trópico, aunque hay algunas cifras para la capa de los 40 cm. Long *et al.* y sus colaboradores realizaron estudios cuidadosos en praderas nativas del trópico para documentar la productividad primaria total, incluyendo las raíces de los 15 cm superiores del suelo. Se encontró que tanto la productividad de la parte aérea de las praderas tropicales como la de los 15 cm superiores del suelo era hasta cinco veces mayor que la registrada en estudios anteriores, principalmente porque se ignoraron las pérdidas debidas a la senescencia. Según nuestros datos, pudieron haber subestimado sustancialmente aun la producción de raíces. No presentaron datos del C del suelo.

Aunque el interés del CIAT en las gramíneas de raíces profundas se debió a razones ajenas a la captación del C, hemos demostrado que algunas gramíneas introducidas en las sabanas de América del Sur tropical acumulan C atmosférico a grandes profundidades en el suelo. El desarrollo de un sistema radical tan extenso debería implicar un costo fisiológico, aunque, extrañamente, no hay mucha evidencia de esto. El crecimiento de *A. gayanus* y de *B. humidicola* es tan vigoroso como el de otras gramíneas introducidas que se consideran promisorias, y mucho más vigoroso que el de las especies de sabana.

El CIAT considera que la captación del C atmosférico en los suelos de sabana de América del Sur tiene importancia mundial. Los pastos de raíces profundas se pueden explotar desde el punto de vista del agricultor individual y de la comunidad en general, para beneficio mutuo. En los procesos de selección y mejoramiento, ¿podría usarse la capacidad de las gramíneas tropicales de acumular el C atmosférico a grandes profundidades, especialmente cuando las gramíneas se cultivan en mezclas con leguminosas? ¿Qué implicaciones tiene este fenómeno para la generación de la tecnología con que se recuperan las pasturas degradadas en áreas en que se ha tumbado el bosque húmedo? Esta última sugerencia reviste un aspecto emocional, aunque estos suelos tienen una considerable capacidad de captar carbono si se manejan correctamente.

La combinación de una gramínea de raíces profundas con una leguminosa fijadora de nitrógeno puede aumentar el reciclaje de nutrimentos, mejorar sustancialmente la

producción animal y aumentar notablemente la actividad biológica del suelo. Estos efectos ocurren principalmente en la superficie del suelo mientras que el almacenamiento de C ocurre debajo de la capa arable. Por tanto, lejos de degradar el ambiente, las pasturas mejoradas pueden desempeñar el papel de restauradores de los sistemas agropecuarios tropicales —un papel que se reconoció en los tiempos prerromanos a esos sistemas de producción en el Mediterráneo— y cumplir una función vital en la estabilización del ciclo del C a nivel mundial; esto contribuiría a minimizar el efecto de invernadero del dióxido de carbono en la atmósfera.

Cuadro 10. Ubicación y características de dos sitios en las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia.

Sitio	Finca Matazul	Estación de investigación Carimagua
Localidad	Llanos Orientales, Puerto López, Colombia	Llanos Orientales, 200 km al nordeste de Puerto López, Colombia
Latitud/longitud	4°9' N, 72°39' O	4°37' N, 71°19' O
Altitud (m.s.n.m.)	160	175
Precipitación anual media (mm año <sup>-1</sup> )	2700	2240
Suelo	Oxisol	Oxisol
Textura	Francoarcillosa	Francoarcillosa
pH (1:1 agua)	4.4	4.1
P (0-20 cm) Bray II (ppm)	1.8	1.5
Detalles de la pastura	<p><b>1989.</b> Sabana sembrada con cultivo de arroz de secano y pastura mixta de <i>A. gyanus</i> cv. Carimagua 1 y <i>S. capitata</i> cv. Capica.</p> <p><b>1989-93.</b> Pastoreo rotacional con ganado (2 UA ha<sup>-1</sup>).</p>	<p><b>1984.</b> Pastura sembrada con <i>B. humidicola</i> cv. Humidicola en la sabana, con la leguminosa <i>Desmodium ovalifolium</i>, que no se estableció.</p> <p><b>1987.</b> Sembrada nuevamente con <i>B. humidicola</i> cv. Humidicola solo o con <i>A. pintoi</i> cv. Maní Forrajero.</p> <p><b>1988-93.</b> Pastoreo rotacional con ganado (3 UA ha<sup>-1</sup>).</p>
Fecha de la muestra de suelo	diciembre de 1992	abril de 1993

Cuadro 11. Rendimiento y ganancia neta de carbono de pasturas de gramíneas en comparación con la sabana nativa, en dos sitios de las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia.

Sitio	Finca Matazul <sup>a</sup>			Estación de Investigación Carimagua <sup>a,b</sup>				
	Sabana	<i>A. gayanus</i> / <i>S. capitata</i>		Sabana	<i>B. humidicola</i> solo		<i>B. humidicola</i> / <i>A. pintoi</i>	
Profundidad de capa (cm)	Carbono en capa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono en capa (t ha <sup>-1</sup> )	Diferencia vs. sabana (t ha <sup>-1</sup> ± ES)	Carbono en capa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono en capa (t ha <sup>-1</sup> )	Diferencia vs. sabana (t ha <sup>-1</sup> ± ES)	Carbono en capa (t ha <sup>-1</sup> )	Diferencia vs. sabana (t ha <sup>-1</sup> ± ES)
0-20	64.0	71.1	7.1 ± 2.0**	70.3	76.0	5.7 ± 4.3ns	88.1	17.8 ± 4.2**
20-40	42.7	51.9	9.3 ± 2.8**	52.4	57.6	5.3 ± 3.2ns	71.2	18.6 ± 6.0**
40-100	79.8	114.2	34.3 ± 9.3***	74.3	89.2	14.9 ± 6.2*	108.4	34.0 ± 10.0**
Total	186.5	237.2	50.7 ± 11.4***	197.1	222.8	25.7 ± 7.7**	267.5	70.4 ± 15.5***

a. Significancia: ns,  $P > 0.05$ ; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ ; ES = error estándar de la diferencia entre medias, donde  $n = 14$  para la Finca Matazul y  $n = 12$  para Carimagua.

b. En esta estación, los sitios más profundos tenían de 40 a 80 cm.

Métodos: Cada muestra comprendió ocho núcleos en Matazul y cuatro en Carimagua, tomados al azar con un barrena de suelo en las profundidades indicadas. En las pasturas de *A. gayanus* y *S. capitata* de la Finca Matazul, cada una de las tres parcelas de 1 ha se dividió en 4 partes y se tomaron muestras de cada parte en un experimento de bloques completos al azar que ocupaba 9 ha. Al mismo tiempo, se tomaron cuatro muestras de la sabana nativa inmediatamente adyacente al experimento. En Carimagua, las pasturas de gramíneas eran parcelas de 0.5 ha en un experimento de pastoreo en bloques completos al azar. Se tomaron 5 muestras de cada una de las dos repeticiones de las parcelas y 3 muestras de la sabana inmediatamente adyacente.

Las muestras se secaron y se molieron para que pasaran por un tamiz de 1 mm. No se eliminaron las raíces finas antes de moler. Las submuestras fueron digeridas en una mezcla de dicromato de potasio-ácido sulfúrico calentado (150 °C) durante 30 min en una estufita portátil con control de temperatura. Se determinó la concentración de carbono en el producto digerido por colorimetría según estándares calibrados compuestos de suelo libre de carbono al cual se habían adicionado cantidades exactas de glucosa. La densidad volumétrica del suelo, utilizada para convertir las cifras gravimétricas del C del suelo en datos volumétricos, se determinó por métodos estándares. Los datos de profundidad de cada sitio en cada pastura se trataron como muestras independientes, y se calcularon el error estándar de la media y el error estándar de la diferencia entre medias. Las diferencias entre medias se probaron para conocer su significancia estadística con la prueba de t de Student.



**Título: Actividad RU01**  
**ACERVOS DE GENES DE ARROZ DE SECANO MEJORADOS**

**1. DESARROLLO DE GERMOPLASMA DE ARROZ DE SECANO**

**Resumen**

Desde 1992 la sección ha venido empleando más recursos para el mejoramiento de población. En 1994 se completó el tercer ciclo de selección recurrente para precocidad, calidad de grano y resistencia a piricularia para tres poblaciones y se creó una nueva. El componente de desarrollo de líneas tiene un rol importante y está permitiendo la liberación varietal. Bolivia liberó dos variedades en 1994 (Sacia 3 -Tutuma y Sacia 4 - Jisusnu). Junto con la sección de Fisiología se iniciaron estudios genéticos para comprender el mecanismo y el control genético de las más importantes características para la asociación arroz-pasturas.

**Antecedentes y Objetivos**

Los suelos ácidos de sabana representan en América Tropical aproximadamente 300 millones de ha, perteneciendo en su mayor parte a oxisoles y ultisoles. Sus principales características químicas tienen que ver con su infertilidad, sumada al alto porcentaje de saturación de Al, el cual sobrepasa el 60%. Presentan deficiencias de elementos como Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Azufre (S) y Zinc (Zn). Estos suelos se encuentran en los Llanos Orientales de Colombia, Venezuela, norte del Brasil, sur de México y parte de Perú y del Bolivia. En Colombia, el programa de mejoramiento de arroz para suelos ácidos de sabana del CIAT, viene realizando actividades en la zona de los Llanos Orientales, (región de la Orinoquía bien drenada) conocida como Altillanura.

Dentro de la clasificación de los suelos de la Orinoquía, según su aptitud de uso y manejo, estos suelos han sido incluidos en la clase IV. Sus principales características son: topografía plana con pendientes entre 1-3%, de fácil mecanización, francos o francoarcillosos, francoarenosos y arenosos de buen drenaje y buena profundidad efectiva. En esta región la precipitación está bien distribuida, con media anual de aproximada de 3500 mm para el piedemonte de la Cordillera Oriental y 2000 mm para las zonas de Arauca y Puerto Carreño. Con aproximadamente 2 millones de hectáreas, muestra una de las más bajas densidades poblacional, que la convierten en una de las áreas más promisorias para una inmigración futura. A pesar de presentar limitaciones de infraestructura y disponibilidad de materiales mejorados para las condiciones de sus suelos, el desarrollo de una tecnología apropiada y el conocimiento del uso y manejo del suelo, permite ampliar la frontera agrícola en esta zona.

Con el propósito de desarrollar líneas de arroz adaptadas a estas condiciones, el programa de mejoramiento de arroz para suelos ácidos busca generar germoplasma con las siguientes características: a) tolerancia a suelos ácidos; b) resistencia al

virus de la Hoja Blanca-VHB; c) tolerancia a Sogata; d) resistencia a otras enfermedades, principalmente Piricularia, manchado de grano y escaldado; e) altura de planta intermedia; f) buena capacidad de macollamiento; g) raíces gruesas y profundas; h) buena calidad de grano; i) precocidad.

El programa de mejoramiento genético de arroz para el ecosistema de sabana inició sus actividades en el año de 1982, cuando el Dr. Cesar P. Martínez realizó las primeras evaluaciones de materiales de secano en La Libertad, de donde concluyó que era factible desarrollar materiales para ese ecosistema. Con base en esta información, se programaron los primeros 43 cruces con materiales de secano de América Latina y África. También fueron incluidos en estos cruces líneas de riego de Estados Unidos, América Latina y Asia. Lo mismo ocurrió con las combinaciones realizadas hasta hoy como progenitores en el programa.

El año de 1984 se considera como el marco inicial del programa. En La Libertad se hizo una extensiva evaluación de materiales de secano, alrededor de 1360, de IRRI, IRAT, IITA, Brasil, México, Surinam y otros. Para esta evaluación se utilizó un sistema de franjas con y sin cal (3.0 t/ha), el cual permitió discriminar líneas con potencial para futuros cruces. De esta prueba salieron 188 progenitores que participaron de los cruces realizados en 1985. De la misma evaluación se escogieron 13 líneas (9 TOX, 2 IRAT y 2 Asiáticas) que en el año de 1985 fueron sembradas en pruebas semi-comerciales en dos localidades (Pompeya y Pachaquiario) con una fertilización mínima (50-26-33 NPK/ha). Solamente el testigo IAC 165 y la línea TOX 1011-4-1 produjeron más de 3.0 t/ha en ambos sitios.

En 1985 se hicieron 183 cruces evaluados en  $F_2$  se seleccionaron 111 y se obtuvieron 2219 líneas. En la generación  $F_3$  fueron sembrados 62 cruces y seleccionados 37, de donde se escogieron 572 plantas. Dentro de este material se destacaron los cruces CT6510, CT6514 y CT6635, los cuales combinaron en sus progenies características de adaptación a suelos ácidos y resistencia a VHB.

En el año de 1986 se evaluaron las poblaciones segregantes  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$  y  $F_5$  en los dos semestres, además de un vivero para suelos ácidos introducidos del IRRI. De este grupo de materiales se destacaron los cruces CT7079 y CT7100 en  $F_3$ ; CT6196, CT6777 y CT6241 en  $F_4$ ; y CT6727, CT6640, CT6584 en  $F_5$ ; todos combinaron características de resistencia a Piricularia y Hoja Blanca, buena calidad de grano y tolerancia a suelos ácidos. En este año se evaluaron las primera líneas generadas por cultivo de anteras (alrededor de 600 R2), las cuales mostraron el potencial de la técnica y permitieron la selección de plantas con contenido genético de los materiales de sabana y características útiles para los ecosistemas de riego y secano favorecido, como el caso del cruce CT6258 (Camponi//COL x M312A/IAC 165).

En 1986 también se seleccionaron las primeras líneas de secano enanas de los

cruces CT6278, CT6515, CT6777 y otros; las cuales con sus 50-60 cm de altura y ciclo de 85-110 días permitieron su utilización en otros ecosistemas y en cruces entre materiales de diferentes ecosistemas.

De 1987 a 1990 el programa siguió buscando en sus poblaciones segregantes los mismos objetivos; la utilización del cultivo de anteras se volvió rutina, pasando por esta técnica poblaciones en la generación  $F_1$  hasta  $F_4$ . También se siguió con la introducción de materiales del IRRI y Africa a través de los Viveros AURPSS 87 y 88, AIRON 87 y 88, AURON 88 y otros, como también de otros países de América Latina como México, Brasil y Surinam, con el propósito de identificar nuevos progenitores.

Se efectuaron un total de 1634 cruces en el período 1983 - 1988, sin embargo, solamente 58 (3.5%) produjeron líneas  $F_7$ . Los cruces hechos después del año 1988 aún no han alcanzado la generación  $F_7$ .

En el año de 1985, como se mencionó anteriormente, todas las líneas fueron introducidas, y el rendimiento de la mejor línea en relación al testigo, fue un 10% superior. En 1986 se evaluaron 14 líneas provenientes de cruces hechos por el programa, dando como resultado un rendimiento del 34% superior al testigo IAC 165, indicando el potencial de los materiales generados. En los años de 1989 hasta 1991 se evaluaron en pruebas de rendimiento 25, 15 y 59 líneas, respectivamente; el promedio del 10% de las mejores líneas mostró resultados hasta 57% superiores al testigo, y en ningún sitio la superioridad fue menor del 13%.

Con las pruebas avanzadas realizadas en 1989 y 1990 se confirmó el potencial de las líneas generadas por el programa. En 1989 se encontraron diferencias entre 6 y 18% en relación al testigo IAC 165; en los mismos sitios las diferencias fueron aún mayores, como se sembró por segunda vez. También en este último año se ensayaron dos líneas en parcelas de 1.0 ha con resultados aún más expresivos.

La combinación de toda la información generada en estos años mostró que las líneas CT7244-9-2-1-52-1 y CT6947-7-1-1-1-7-M aportaron siempre los mejores y más estables rendimientos en todas las pruebas. En el presente año ICA y FEDEARROZ participaron en las evaluaciones de estas líneas en pruebas semi-comerciales, de donde sacaron rendimientos mayores que 3.0 t/ha en áreas entre 5 y 20 ha. La confirmación de los datos experimentales en estas pruebas llevó al ICA a lanzar comercialmente para la Altiplanura Colombiana la línea CT7244-9-2-1-52-1 con el nombre de "Oryzica sabana 6". Para el próximo año está en los planes del ICA lanzar la línea CT6947-7-1-1-1-7-M como otra alternativa para los agricultores de esta región.

Además de las pruebas realizadas por el programa en los Llanos Orientales de Colombia, todo material avanzado se comparte con la Red Internacional para la

Evaluación Genética del Arroz-INGER, y se incluye en el Vivero de Observación para Suelos Ácidos-VIOAL. En el período de 1987-1991, participaron de este vivero un total de 176 líneas con 63 cruces como responsables de dichas líneas, siendo un 3.8% de cruces seleccionados en relación al total de cruces realizados. En estas combinaciones se utilizaron 104 progenitores de los cuales solamente 56 no se repitieron en los diferentes cruces.

Las razones de este bajo aprovechamiento de cruces por el programa se debió a que los cruces iniciales se utilizaron para construir una base genética amplia, donde las pudieran hallarse características de interés. Los cruces iniciales fueron de tipo exploratorio, buscando capacidad de combinación de los materiales, pensando en que las líneas generadas serían utilizadas como progenitores para una segunda etapa de cruces. También se puede atribuir el bajo aprovechamiento a la cantidad de características a combinar en una misma línea.

## **1. Desarrollo de Líneas**

La metodología de mejoramiento que se utiliza es la siguiente. Cada año se introduce germoplasma de África, Asia y de los Sistemas Nacionales de Investigación de América Latina. Estas líneas se siembran en los suelos ácidos de sabana, los mejores se seleccionan y se organizan en un vivero llamado "Progenitores Potenciales". Durante 1994, el Germoplasma introducido (693 líneas) se sembró en tres localidades, una de ellas utilizada por un estudiante de la "Universidad de los Llanos" para su tesis de grado. Este grupo de materiales se evaluó para la acidez del suelo en un ensayo especial (ensayo de franja ácida y no ácida). En esta etapa las líneas están completamente caracterizadas. Se seleccionó un total de 211 líneas para continuar bajo evaluación en 1995 antes de utilizarlas como progenitores en el programa de cruzamiento. El Cuadro 2 indica de dónde provienen las líneas seleccionadas y el porcentaje de selección obtenido con cada grupo de material introducido.

Recientemente todos los "Progenitores Potenciales" se evaluaron para reacción a los linajes de piricularia identificados en Colombia para identificar diversidad genética a través de la técnica PCR y para la tolerancia a aluminio bajo condiciones controladas. Toda esta información se combina para decidir cuáles progenitores utilizar y cuáles cruces realizar (normalmente cruces triples). La mayoría de estos datos se encuentran en la etapa final de análisis y no se incluirán en este reporte.

Se están evaluando las generaciones segregantes  $F_2$  y  $F_4$  bajo condiciones de suelos ácidos de sabana. La selección se realiza considerando la planta como unidad base (método pedigrí). Las generaciones  $F_3$  y  $F_5$  son avanzadas en un sitio fuera de estación sembrando las líneas bajo condiciones de riego y la selección se efectúa sólo para rasgos altamente heredables. Este sitio también se utiliza para multiplicación de semilla. El Cuadro 3 muestra el número de cruzamientos

evaluados desde 1983. Desde 1987 el número de cruzamientos ha disminuido porque se ha hecho más énfasis en el mejoramiento de población.

Las líneas avanzadas se distribuyen a los NARS a través de INGER-América Latina. Para evaluar el potencial de rendimiento de las líneas producidas, el programa colabora con CORPOICA efectuando algunos de los ensayos preliminares de rendimiento con diferentes sistemas de cultivo (arroz en monocultivo, asociación arroz-pastos y rotación con soya). En 1994 esta sección llevó a cabo 4 ensayos: arroz en monocultivo en La Libertad y en la Altillanura (sabana nativa y después de soya) y asociación arroz - pastos en la Altillanura. El material más relevante fue la línea No. 30 (CT11891-2-2-7, IRAT 146/CT6196-33-11-1-3-M//CT10035-9-3-M-6) que se clasificó en el primer lugar en todas las pruebas, excepto después de soya, cuando ocupó el segundo lugar. Además de haber sido un material de alto rendimiento, es 10 días más precoz que Oryzica Sabana 6, tiene buena calidad de grano y resistencia a Piricularia y otras enfermedades. Esta línea, junto con otras 5 se entregará a CORPOICA para más evaluaciones. Esta estrategia ha permitido a los NARS liberar variedades en Colombia (Oryzica Sabana 6, 1991 y Oryzica Turipana 7, 1992), Bolivia (Sacia-1, 1993, y Sacia 3 y 4, en 1994), y Brasil (Progreso, 1994).

Se realizaron algunos estudios con el fin de entender mejor el mecanismo del control genético de los rasgos más importantes para el mejoramiento de arroz. Se utilizó una tesis MSc para repetir con material mejorado el estudio de la herencia para acidez del suelo. El material que se analizó fueron las generaciones  $F_1$ ,  $F_2$ , BC1 y BC2 de los cruces simples de Oryzica Llanos 5 (Susceptible)/Oryzica Sabana 6 (Tolerante) y Oryzica Llanos 5 (S) x Monolaya (T). Los resultados indicaron que la tolerancia es dominante, el rasgo es altamente heredado y la tolerancia presente en Oryzica Sabana 6 la controla 1 o 2 genes y por Monolaya por 3 o 4 genes. Junto con la sección de Fisiología se están realizando otros estudios para comprender el mecanismo de control genético de los rasgos que juegan un rol importante en la asociación arroz-pastos.

## **2. Mejoramiento de la Población**

Últimamente se incorporó a la estrategia de mejoramiento el mejoramiento poblacional a través de selección recurrente. El objetivo es mejorar poblaciones para rasgos específicos (resistencia a Piricularia, tolerancia a la acidez del suelo y precocidad). El flujo de la Figura 1 muestra cómo se unen los dos componentes.

El mejoramiento de la población se ha utilizado como una fuente de padres potenciales con rasgos específicos para llenar las demandas de los programas de mejoramiento de los NARS. La alternativa utilizada para alcanzar este meta es el uso de la selección recurrente, que es un proceso cíclico en el cual cada ciclo está hecho en 3 fases: a) evaluadas; b) selección de genotipos con rasgos favorables y

c) intercruces de genotipos seleccionados. Este proceso promueve la recombinación cromosomal, intercambios de segmento útiles y concentrará gradualmente la frecuencia de alelos deseables.

En 1984 en Brasil se inició un Programa de Selección Recurrente en Arroz utilizando genes recesivos de esterilidad masculina de IR36, dentro de un proyecto colaborativo entre CNPAF/EMBRAPA y CIRAD-CA. Como resultado se han obtenido acervos genéticos y poblaciones para diferentes ecosistemas de arroz, algunos de ellos han sido el punto de partida para la Selección Recurrente en diferentes países de América Latina (Brasil, Argentina y Colombia) y Africa (Costa de Marfil y Madagascar).

En 1992 el CIAT introdujo a Colombia acervos de genes y poblaciones de Brasil (CNPAF) y de Guyana Francesa (CIRAD-CA). Estos materiales se han observado y caracterizado bajo condiciones de ecosistemas colombianos para conocer su comportamiento y posible uso en un programa de selección recurrente.

En 1992 el Programa de Arroz del CIAT introdujo 3 fuentes de germoplasma para secano tropical. Los objetivos principales del estudio fueron: a) conocer el comportamiento del germoplasma introducido en los suelos ácidos de sabana colombiana; b) identificar genotipos fértiles adaptados para introducir al programa tradicional de mejoramiento; y c) crear nuevas poblaciones introduciendo a ese programa líneas localmente adaptadas.

En condiciones de suelos ácidos de sabana se ha observado (en la Estación Experimental La Libertada, Colombia) un germoplasma tropical japónica (CNA-IRAT 5/0/3), una población tropical japónica de secano (CNA-IRAT A/0/1) y dos poblaciones índica/japónica (CNA-IRAT P/1/0F e IRAT Lulu /0/1).

Para identificar más fácilmente plantas masculinas fértiles o estériles, cada población estuvo representada por parcelas de 2000 plantas sembradas individualmente. Se han utilizado 1000 en cada una de las dos fechas de siembra espaciadas 10 días para permitir un buen intercruce natural entre genotipos precoces y tardíos y mantener la variabilidad genética de la población original. Para evitar contaminación por polen cada germoplasma o población se encerró con surcos de maíz.

Cada material se caracterizó muestreando cerca de 400 plantas por tolerancia a suelos ácidos y vigor inicial 45 días después de la siembra (dds), tiempo de floración (50%), altura de planta al momento de la cosecha, número de plantas masculinas estériles y fértiles en la floración, macollamiento a los 45 dds y tolerancia a la piricularia del cuello.

Todo el germoplasma tuvo un alto número de plantas tolerantes a la acidez del suelo (Cuadro 4), pero la población IRAT Lulu mostró una pobre adaptación y el

menor número de plantas libres de síntomas. Un comportamiento opuesto mostró CNA-IRAT 5 y A. Ello puede explicarse observando la constitución genética del germoplasma, el primero es indica/japónica y los otros dos están compuestos por líneas 100% de secano tropicales japónica.

La población CNA-IRAT P presentó el número más alto de plantas con calificaciones entre 1 y 3, que indican plantas vigorosas. Este resultado confirma la observación hecha en el mejoramiento tradicional donde las líneas derivadas de cruces indica /japónica muestran, en la mayoría de los casos, un vigor inicial significativamente más alto en condiciones de secano.

La diferencia en el vigor inicial observada entre las dos poblaciones indica/japónica puede explicarse por el hecho de que IRAT Lulu tiene en sus antecedentes genéticos sólo el 25% de las poblaciones más vigorosas CNA-IRAT P y líneas de arroz aromáticas, conocidas por no tener buen vigor inicial.

La fecha de floración se calificó sobre la base de plantas individuales en cada población. Las poblaciones CNA-IRAT P e IRAT Lulu son las más tardías con 42.6% y 67.5% de plantas con tiempo de floración de más de 95 días. La precocidad de las poblaciones CNA-IRAT A se debe a que ésta se derivó del germoplasma CNA-IRAT 5 introduciendo en ella 50% de la nueva variabilidad procedente de 7 líneas japónica precoces de secano. La distribución de la altura de las plantas es diferente principalmente si se considera germoplasma japónica e indica/japónica. CNA-IRAT P e IRAT Lulu presentan un número mayor de plantas bajas que el germoplasma japónica CNA-IRAT 5 y A. Este resultado puede atribuirse a la introducción de material indica irrigado semienano en el germoplasma japónica de secano CNA-IRAT 5.

Las poblaciones indica/japónica CNA-IRAT P e IRAT Lulu presentan una alta habilidad de macollamiento. Cerca del 80% de la variabilidad se concentra por encima de 17 macollas por planta. La máxima variabilidad para el germoplasma japónica se encuentra entre 6 y 16 macollas por planta. Las diferencias observadas entre los dos tipos de germoplasma puede atribuirse a la introgresión de líneas indica modernas de alto macollamiento en el germoplasma japónica CNA-IRAT 5.

El acervo genético de secano y la población CNA-IRAT 5 y A han presentado 6.8% y 3.7% de plantas susceptibles a la piricularia del cuello, respectivamente. Las poblaciones indica/japónica CNA-IRAT P e IRAT Lulu fueron más susceptibles con especial mención a esta última con 52.1% de plantas con piricularia en el cuello.

Utilizando este germoplasma se inició en 1992 un programa de selección recurrente. El criterio de selección fue: precocidad, resistencia a enfermedades (básicamente piricularia) y calidad de grano. Cada ciclo requiere un período de siembra, porque la evaluación, selección y recombinación (utilizando gene masculinos estériles) se

hacen en la misma época. Por lo tanto se completaron tres ciclos de selección recurrente para CNA-IRAT 5, A y P y se alcanzó un progreso visual significativo (éste será medido 1995). A pesar de que los resultados son aparentemente significativos estas poblaciones no tienen todos los rasgos al nivel que requiere en la región, por lo tanto fue necesario desarrollar una nueva población.

### **3. Desarrollo de una Nueva Población**

De todo el germoplasma introducido evaluado el más útil para los suelos ácidos de sabana fue el CNA-IRAT A. Esta población se escogió como el antecesor masculino estéril para crear una población mejor adaptada.

El proceso se inició seleccionando 8 líneas identificadas en esta sección. A través de cruces manuales se combinó con diferentes plantas masculinas estériles de la CNA-IRAT A. Cada  $F_1$  resultante se cultivó separadamente y se observó en la Estación Experimental de CIAT (Palmira) bajo condiciones de riego para asegurar una buena producción de semillas  $F_2$ ; se descartó una combinación. Se realizó una selección de genotipo en cada  $F_1$  y las semillas  $F_2$  de las plantas  $F_1$  seleccionadas se cosecharon y mezclaron en iguales proporciones. La nueva población se conoce como PCT-4\0\0\0. Su constitución genética se presenta en el Cuadro 5. El primer ciclo de recombinación ya está en camino. El comportamiento de la nueva población después de un ciclo de recombinación se caracterizará y comparará con la población original CNA-IRAT A en condiciones de suelos ácidos de sabana en el temporada de cultivo en 1995.

#### **Impacto Esperado en 1994**

Obviamente la siembra de alrededor de 5000 ha de arroz y arroz/pasturas en la sabanas de la Altillanura Colombiana son consecuencia de las actividades realizadas en este proyecto. Otra área de impacto está relacionada con la capacitación de personal, donde se pudo entrenar y intercambiar experiencias con investigadores de diferentes partes del país, y de naciones vecinas como Venezuela y Brasil.

Las expectativas para 1995 y 1996 son el lanzamiento de posiblemente dos nuevas variedades para ese ecosistema, las cuales aportarían dos características fundamentales para el despliegue del sistema: calidad de grano (CT6196-33-11-1-3, y precocidad (CT11891-2-2-7).

#### **Plan de Trabajo para 1995**

En el Anexo 1 se presentan las actividades y las localidades donde se trabajará en 1995.

**Cuadro 1.** Información climática obtenida en las dos localidades principales de mejoramiento.

Localidades de Mejoramiento	Lluviosidad <sup>1</sup> (mm)	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)
		Max	Min	
La Libertad	2700-3000	30.6	21.0	80
Altillanura	2000-2200	32.8	21.3	80

1. Bien distribuidos entre abril y octubre.

**Cuadro 2.** Fuentes de germoplasma introducido para las evaluaciones de suelo ácido de 1994.

Origen	Número de entradas	Número de selección	Porcentaje de selección
IURON	77	18	23.4
AURON	90	11	12.2
AURPSS	143	28	19.6
WARDA	204	129	63.2
Indonesia	147	15	10.2
India	20	6	30.0
Guyana Francesa	11	4	36.4
<b>TOTAL</b>	<b>692</b>	<b>211</b>	<b>30.5</b>

**Cuadro 3.** Número de cruces evaluados de 1983 a 1993.

Año	Cruce (#)	Cruces evaluados		
		# F <sub>2</sub>	# F <sub>4</sub>	# F <sub>6</sub>
1983	43	-	-	-
1984	335	-	-	-
1985	697	183	-	-
1986	158	325	79	-
1987	213	129	30	48
1988	188	118	31	21
1989	123	75	35	15
1990	103	48	45	8
1991	89	111	25	37
1992	17	57	62	18
1993	32	0	32	32
Total	1998	1046	339	179

**Cuadro 4.** Caracterización del germoplasma de seco y de las poblaciones sembradas en suelos ácidos en la Estación Experimental La Libertad durante 1994. La información se presenta en porcentaje de plantas en cada clase.

	Germoplasma 5	A	Población P	LULU
Reacción a suelo ácido				
1 - 3	85.1	85.6	82.3	66.3
5 - 7	14.9	14.4	17.7	33.7
Vigor inicial				
1 - 3	33.6	28.2	50.7	38.4
5	49.9	65.1	32.6	47.9
7 - 9	16.5	6.7	16.6	13.7
Días a floración				
< 74	30.7	38.6	8.7	1.8
75 - 84	14.2	41.5	13.8	5.7
85 - 94	38.6	8.6	34.9	42.6
> 94	16.3	11.3	42.6	67.5
Altura de planta				
< 64	28.0	20.7	40.9	50.3
65 - 74	26.1	33.7	23.2	16.7
75 - 84	23.9	29.8	25.6	17.2
> 84	21.8	15.2	10.2	15.8
Número de macollas				
< 8	25.9	24.9	6.0	5.3
9 - 16	52.7	49.5	11.7	0.9
17 - 28	20.0	24.9	51.9	42.7
> 29	1.3	0.8	30.3	52.6
Reacción a NBI				
1 - 5	93.2	96.3	89.2	47.9
6 - 9	6.8	3.7	10.8	52.1

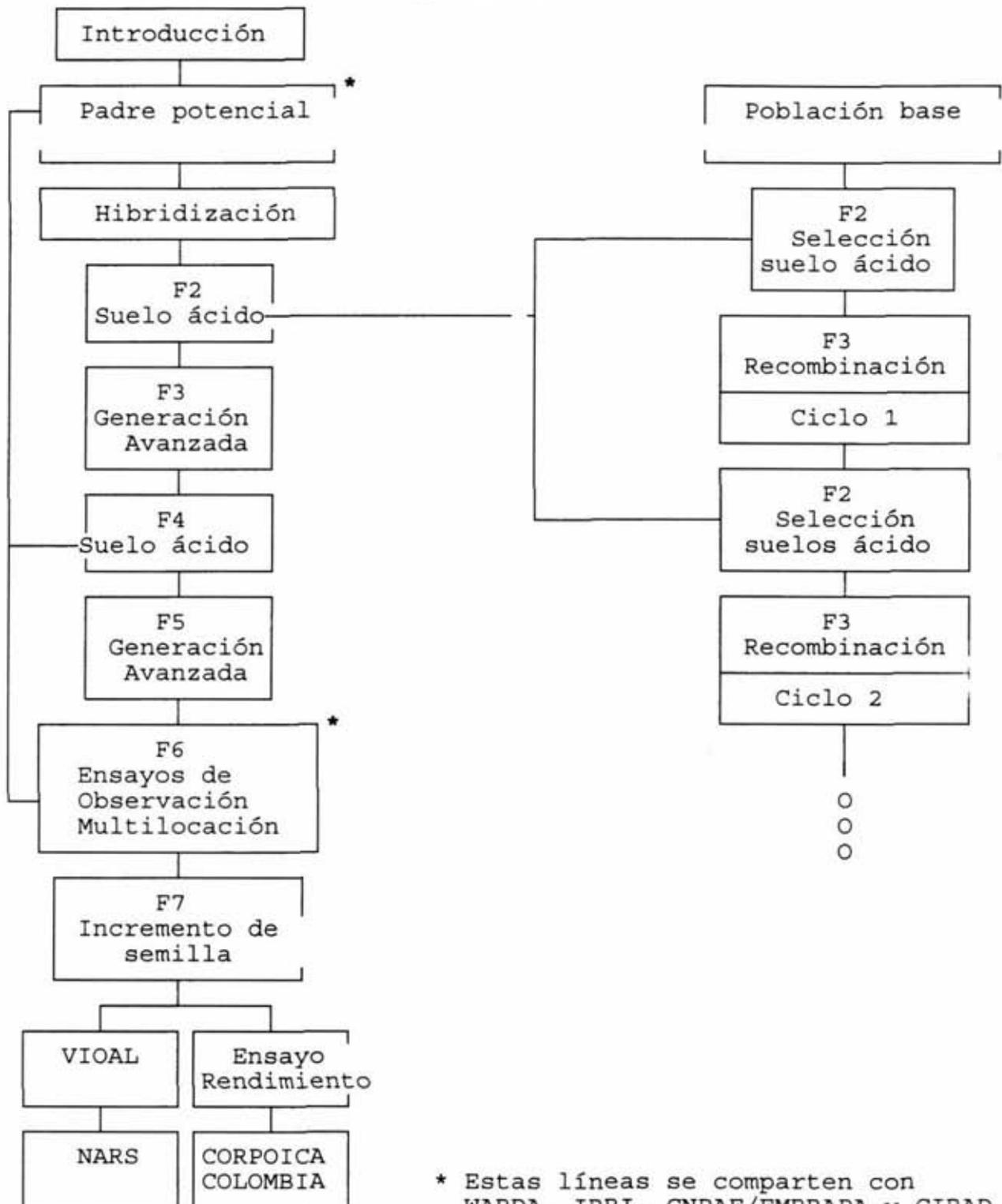
**Cuadro 5.** Constitución genética de la población PCT-4<sup>1</sup>.

Fuente de germoplasma	Origen	Porcentaje
CT6196-33-11-1-3-M	Colombia-CIAT	8.33
CT11231-2-2-1-4-M	Colombia-CIAT	4.17
CT11231-2-2-3-1-M	Colombia-CIAT	4.17
CT11231-2-2-2-1-2-M	Colombia-CIAT	8.33
CT11608-8-6-M-2-M	Colombia-CIAT	8.33
IR53167-3-M	Filipinas-IRRI	8.33
A8-394-M	Brasil-IAPAR	8.33
CNA-IRAT A	Brasil-CNPAF/EMBRAPA-CIRAD-CA	50.0

1. PCT-4 es una población japónica para los ecosistemas húmedos de sabana de América Latina.

**Figura 1.** Diagrama de flujo de las actividades de mejoramiento de arroz para los suelos ácidos de sabana.

**Desarrollo de Línea Mejoramiento de Población**



\* Estas líneas se comparten con WARDA, IRRI, CNPAF/EMBRAPA y CIRAD



**Título:       Actividad RU01**  
**ACERVOS DE GENES DE ARROZ DE SECANO MEJORADOS**

**2. EFICIENCIA DE SILICONA EN GENOTIPOS DE ARROZ**

**Resumen**

La deficiencia de silicona se identificó como un importante limitante de rendimiento y de estabilidad de rendimiento no reconocido previamente para el arroz de sabana en los últimos años. La investigación reportada en 1994 se enfocó en la búsqueda de variación genética en eficiencia de Si que podría ser útil para elevar el nivel de este elemento bajo condiciones deficientes de suelo. Se encontró variación significativa del contenido de Si, del orden del 100%, en un porcentaje de tejido en varios órganos de las plantas entre 60 genotipos examinados. Esto parece corroborar la posibilidad del mejoramiento para niveles más altos de Si. Se están adelantando trabajos que confirmarían esto.

**Antecedentes**

La silicona (Si) es un macro-nutriente básico del arroz que incrementa su rendimiento, vigor, resistencia al volcamiento y resistencia a enfermedades, particularmente a la piricularia y decoloración del grano. Evidencia reciente indica que los suelos típicos de secano pueden presentar drásticas deficiencias de Si, factor de nutrición antes no reconocido, que puede afectar tanto el rendimiento como su estabilidad (enfermedad) en un área arroceras grande de América Latina. Los resultados publicados en —de M. Yamauchi y M. Winslow en IITA— constituyeron el primer documento sobre deficiencia en Silicona como pérdida de rendimiento y limitante inductor de enfermedad para el arroz de secano cultivado en los suelos ácidos en Africa Occidental. Se encontró que la irrigación mejoraba notoriamente la deficiencia de Si a través del suministro de Si en agua subterránea. Un estudio subsiguiente de Winslow (1992) encontró grandes diferencias de genotipo en el contenido de Si del germoplasma de arroz de Africa Occidental y que estaban correlacionadas allí con resistencia a varias enfermedades.

Los suelos ácidos también predominan en las áreas donde se cultiva arroz de secano en América Latina y la investigación relacionada busca validar tales hallazgos aquí. Estudios colaborativos entre CIAT (F. Correa) y la Universidad de Florida (L. Datnoff y G. Snyder) durante 1992-94 identificaron la deficiencia de Si como causa de la susceptibilidad a piricularia y pérdida de rendimiento en la estación Santa Rosa de CIAT. En 1993, ensayos colaborativos entre el Programa de Arroz y el de Sabanas en suelos de sabana más representativos en La Florida y Matanzul en los Llanos de Colombia, indicaron que la deficiencia de Si podría ser ciertamente un fenómeno muy común en las sabanas (detalles en reportes de Savannas/Tropical Lowland). La reducción del rendimiento fue del 40% con un 10% más de pérdida por una baja recuperación de granos enteros en el molino. Si estos resultados son representativos,

la deficiencia de Si en las sabana podría estar causando a América Latina un estimado de 5-7 millones de toneladas de arroz cáscara anualmente.

## **Objetivos**

Esta actividad buscó identificar diferencias de genotipo en la habilidad de tomar silicona del suelo (Si) bajo condiciones de secano. Los resultados de los ensayos de campo de 1993 se describen aquí porque el análisis de Si no pudo completarse hasta 1994. Los ensayos de campo de 1994 se reportarán en 1995.

## **Actividades Principales**

En 1993 se escogieron sesenta genotipos del proyecto de mejoramiento de arroz de secano del CIAT para estudiar el contenido de silicona en diferente ambientes. Se seleccionaron bajo la asesoría del Dr. Guimaraes para representar el rango de diversidad utilizado en el proyecto de mejoramiento de secano del CIAT. Se incluyeron los dos ecotipos índica y japónica. Se sembraron en dos parcelas con surcos de tres replicaciones en tres localidades, Palmira, Santa Rosa y Matazul, en 1993. Se esperó que Matazul fuera el sitio de estrés o de Si bajo, y se consideró el más representativo de la grande sabana neotropical cultivada bajo condiciones de secano bien drenado. Se incluyó Santa Rosa basados en hallazgos anteriores de respuesta a Si; se esperaba que se comportara como un sitio intermedio de Si, puesto que la situación de agua del suelo alternaba de saturada y secano, y es bien sabido que el agua subterránea suministra Si. Palmira se escogió sobre la base de que debería ser un fuente rica en Si debido a la buena capa de agua de inundación utilizada para el cultivo de arroz cascara y el suelo tipo clay joven 2:1 que normalmente tienen alto contenido de Si.

Desafortunadamente, el ensayo de Matazul tuvo que abandonarse puesto que el ganado se lo comió. Igualmente, una de las tres replicaciones en Santa Rosa también se perdió, debido a un establecimiento muy desigual. En conjunto, 58 variedades crecieron suficientemente para muestrear en Palmira y 56 en Santa Rosa.

## **Progreso alcanzado en 1994**

Los resultados muestran diferencias estadísticamente entre genotipos y órganos de las plantas (Cuadro 1). Se observó dos o más veces variación entre genotipos, dependiendo del órgano de la planta. Esta variación genética implica potencial para elevar genéticamente el contenido de Si, germoplasma con bajo Si pero deseable.

También fueron grandes las diferencias entre sitios (Cuadro 1). La cascarilla promedio 7.6% en Palmira o 62% más que el valor de Santa Rosa de 4.7%. Incluso Santa Rosa, sin embargo, es sustancialmente más alta que la de otros sitios en ensayos

relacionados (ver colaboración Arroz-Sabanas, descrita antes), esto es, 3.1% en Matazul y 2,3% en La Florida. Estas diversas diferencias en la capacidad de suministro de Si probablemente tienen importantes implicaciones en el desempeño de la planta y en la reacción a enfermedades en diferentes localidades. Muchos investigadores en arroz con frecuencia encuentran grandes diferencias en cuanto a enfermedades entre distintos ambientes de cultivo, pero con frecuencia los atribuyen a factores climáticos o epidemiológicos. Los resultados actuales indican que el rol de la variación del Si en el suelo merece atención más cuidadosa en tales casos.

Además, tal variación tan grande de contenido del nutriente en el tejido entre sitios no se reporta comúnmente para otros macro-nutrientes como N y P porque ellos también son tan vitales para el crecimiento de la planta que el crecimiento se restringe cuando se limitan estos, en un mecanismo autocorrectivo que mantiene los contenidos de nutrientes internos en niveles esenciales para realizar funciones bioquímicas básicas. La toma de Si puede ser única en cuanto a que fuera 'facultativa', *i. e.* el cultivo del arroz se afectaría menos por su variación que por la de N o P.

Otras diferencias interesantes también son aparentes entre tejidos (Cuadro 1). La cascara y las hojas de la bandera madura poseen el contenido de Si más alto, mientras que el cuello posee una tercera parte de esa cantidad (cuellos probados sólo en Palmira). Podría ser que el bajo contenido de Si en el cuello sea una de las razones por las cuales este órgano sea uno de los más afectados por la piricularia?

En ambos sitios la cascarilla mostró el más bajo coeficiente de variación (Cuadro 1). Esto podría ser porque ésta procede de las semillas que se mezclan bastante en el saco donde se cosechan (lo cual no ocurre en las hojas y los cuellos), resultando naturalmente en muestras altamente representativas. Es también uno de los órganos más sensibles de cosechar y almacenar, con frecuencia colectados automáticamente y almacenados para ensayos de rendimiento de grano. Es también poco voluminoso y sencillo de preparar para análisis de Si y tiene un alto contenido de Si. Aun más, se correlaciona bien con genotipos con contenido de Si y otros órganos (Cuadro 2), particularmente en Santa Rosa. Por lo tanto, las medidas de Si en la cascarilla parecen proporcionar una manera razonable, si se aproxima la predicción de cómo el genotipo va a clasificarse por contenido de Si en otros órganos. Dado lo anterior, y la necesidad de reducir el muestreo para máxima eficiencia en un programa de mejoramiento, la cascarilla podría ser el órgano más eficiente para muestrear un número grande de genotipos, como un indicador de contenido relativo de Si.

Mientras que el contenido de Si de diferentes órganos de la planta se correlacionó adecuadamente entre genotipos, no ocurrió lo mismo entre sitios (Cuadro 3). En otras palabras, las variedades se clasificaron en forma diferentes entre sitios para los tres órganos observados. Este  $g \times e$  hace que el mejoramiento sea más complicado, puesto que el desempeño en un sitio puede no ser un buen indicador de desempeño en otro. Como Palmira en un sitio irrigado de tierras bajas, podría ocurrir no obstante,

que un número de arroz de secano resulte de comportamiento pobre allí por falta de adaptación a cultivo inundado, lo cual podría haber afectado su asimilación de Si. Para clarificar esto hubiera resultado útil una comparación entre Santa Rosa y Matazul si no se hubiera destruido este último.

Un logro importante de esta actividad en 1994 fue la instalación exitosa y la prueba de un procedimiento de análisis de Si en CIAT por el Dr. Okada, basado en el método de la Universidad de Florida. Ahora se pueden efectuar los análisis de tejido de las plantas, suelo y agua.

Winslow (1986) encontró un contenido de Si de 50 a 100% más alto en arroz de secano japónica comparado con índicas de germoplasma mejorado africano de IITA. Se buscó verificación de esta diferencia entre ecotipos con el presente estudio. La prueba de phenol de Oka se utilizó para caracterizar el tipo índica vs japónica para cada genotipo. Resultó ser una prueba sencilla, efectiva y repetible; los resultados coinciden con la información previa conocida sobre las fuentes y ecotipos de 60 genotipos. Esta prueba podría ser muy útil en un número de otras aplicaciones en el esfuerzo del CIAT para el mejoramiento en arroz.

Sin embargo, el ecotipo no resultó tan estrechamente asociada con el contenido de Si en este estudio (Cuadro 4). Las japónicas tuvieron un promedio ligeramente más alto de niveles de Si, pero la correlación entre ecotipo y niveles de Si fue no significativo en ambos sitios. Este resultado sugiere que los genotipos pueden encontrarse en cada ecotipo lo cual podría ser valiosos para las fuentes de mejoramiento de altos contenido de Si.

Basados en el contenido de Si del órgano, se seleccionaron diez genotipos para estudios más profundos durante un ciclo de análisis de siembra-poscosecha 1994-95 (Cuadro 4). Se buscó un amplio rango de valores para la cascarilla y el cuello en particular al efectuar las selecciones, mientras se intento incluir varias de las más importantes variedades y progenitores utilizados en el programa de mejoramiento e incluyendo ambos tipos índica y japónica.

De estos 10 genotipos se sembraron ensayos de parcela más grandes en 1994 en Matazul y Palmira, ambos para confirmar los hallazgos de 1993 y para extender éstos a análisis de toma de Si por unidad en área (en contraposición a solo porcentaje de materia seca). Esto debe clarificar si estos genotipos con más salto porcentaje de Si es realmente más eficiente en extraer Si del suelo o mejor más sencillo producir menor biomasa (algunas veces llamada como "efecto dilución") cualquiera de los dos podría servir de explicación un contenido elevado de Si sobre una base de porcentaje. Se requieren análisis numerosos de Si para aquellos ensayos de 1994 por lo que los resultados no estarán disponibles sino hasta 1995.

**Cuadro 1.** Promedios y variabilidad de contenido de Si de diferentes órganos de las plantas y significancia estadística de diferencias genotípicas. Cultivado en 1993 en dos sitios en Palmira y Santa Rosa.

			AOV Estadística	
Contenido de Si				
Sitio y órganos	Promedio	Rango	Valor F para las diferencias genotípicas	Coefficiente de Variación
				%
<b>Palmira (3 rep x 58 g'type)</b>				
Cascarilla, madura	7.6	5.2-9.2	16.8***	6.1
Hoja, madura	7.8	5.5-10.7	5.7***	11.6
Hoja, floración	5.4	3.8-7.3	2.1***	16.1
Cuello, maduro	2.7	1.7-3.7	6.0***	11.1
<b>Santa Rosa (2 rep. x 56 genotipo)</b>				
	4.7	2.7-6.6	5.4***	16.4
Cascarilla, madura	4.1	1.8-6.6	5.4***	20.5
Hoja, madura	3.3	1.2-4.6	5.0***	18.6
Hoja, floración				

\*\*\* Significante  $p < 0.001$

**Cuadro 2.** Correlaciones de contenidos de Si (% de materia seca) entre órganos, entre genotipos. Los coeficientes son entre sitios, para dos sitios.

Sitio y órgano	Órgano (en el mismo sitio)			m.e.
	Cascarilla, madura	Hoja, madura	Hoja, floración	
<b>Palmira (58 genotipos)</b>				
	-	0.29*	0.15	0.28*
Cascarilla, madura		-	0.52**	0.31*
Hoja, madura			-	0.26*
Hoja, floración				-
Cuello, maduro				
<b>Santa Rosa (56 genotipos)</b>				
	-	0.70***	0.61***	-
Cascarilla, madura		-	0.83***	-
Hoja, madura			-	-
Hoja, floración				-
Cuello, maduro				

1. Datos del cuello disponibles sólo para Palmira.

\*, \*\*, \*\*\* Correlaciones significantes  $p < 0.05$ ,  $0.01$ , y  $0.001$ , respectivamente.

**Cuadro 3.** Correlaciones entre sitios y contenidos de Si (% de materia seca) de 56 genotipos, para tres órganos de la planta. Ninguno es significativamente mayor a cero.

<b>Santa Rosa</b>			
Sitio y órgano	Cascarilla	Hoja, madura	Hoja, floración
<b>Palmira</b>			
Cascarilla	0.13		
Hoja, madura		-0.04	
Hoja, floración			0.09

**Cuadro 4.** Correlación entre ecotipos (índica o japónica) de genotipos probados y contenido de Si en la cascarilla madura.

Sitio y ecotipo	Número de genotipos	Cascarilla Contenido de Si (promedio)	Coeficiente de correlación ecotipo x Valor Si*
		% de materia seca	
<b>Palmira</b>			
japónicas	39	7.7	0.250
índicas	19	7.4	
<b>Santa Rosa</b>			
japónicas	38	4.7	0.063
índicas	18	4.6	

\* Las correlaciones no fueron estadísticamente significantes.

**Cuadro 5.** Contenidos de Si de genotipos seleccionados de 58 ensayados en 1993, escogidos para medir el rango de valores para pruebas más detalladas en 1994. Promedios de los dos sitios.\*

Genotipo	Ecotipo de arroz <sup>1</sup>	Organo			
		Cascarilla, madura	Hoja, madura	Hoja, floración	Cuello <sup>2</sup> , maduro
Contenido de Si, % de materia seca					
Tox 1785-19-18	J	7.0	6.1	3.7	3.4
Ngovie	J	7.0	5.7	4.0	3.1
Colombia 1	J	6.9	5.3	4.2	2.4
Tox1859-102-6M-3	I	6.4	6.4	4.6	3.2
Oryzica Turipana	J	6.1	6.0	3.6	2.5
7	J	5.9	5.4	3.8	2.9
IAC 165	I	5.5	5.1	4.5	2.5
Oryzica Llanos 5	I	5.4	5.7	4.1	1.8
Nam Segui	I	5.3	4.6	3.4	1.7
Makalioka	J	5.0	5.8	3.6	2.5
Oryzica Sabana	J	4.9	5.9	3.9	2.4
IRAT 13					

1. I= indica; J= japónica.

2. Datos del cuello disponibles sólo para Palmira.

## Anexo 1

Relación de los ensayos planeados para el año 1995A y las localidades donde deberán ser sembrados.

Ensayo	Localidad <sup>1</sup>					
	EELL	SNM	SNA	SDS	EEC	CIAT
Introducciones	X	-	-	-	-	-
Franjas Acidas	X	-	-	-	-	-
Prog. Potencial	X	X	-	-	-	X
Progenitores F <sub>2</sub>	X	-	-	-	-	-
Generación F <sub>2</sub>	X	-	-	-	-	-
F <sub>2</sub> CNA-IRAT (Recombinada)	X	-	-	-	-	-
F <sub>2</sub> PCT 4\0\0\0	X	-	-	-	-	-
F <sub>3</sub> CNA-IRAT (Líneas)	X	X	-	X	X	-
Progenitores F <sub>4</sub>	X	X	-	X	X	-
Generación F <sub>4</sub>	X	X	-	X	X	-
F <sub>4</sub> CNA-IRAT (Líneas)	X	X	-	X	X	-
Generación F <sub>5</sub> ICA	X	X	-	X	X	-
F <sub>5</sub> CNA-IRAT (Líneas)	X	X	-	X	X	-
Generación F <sub>7</sub> Venezuela	X	X	-	X	X	-
Progenitores F <sub>8</sub>	X	X	-	X	X	-
Generación F <sub>8</sub>	X	X	-	X	X	-
E. Prel. Rendimiento	X	X	X	X	X	-

1. Estación Experimental La Libertad (EELL), Sabana Nativa Monocultivo (SNM), Sabana Nativa Asociación Arroz/Pasturas (SNA), Sabana Nativa después de Soya (SNS), Estación Experimental Carimagua (EEC) y Estación Experimental CIAT-Palmira (CIAT).



**Título: Proyecto RP01  
RESISTENCIA DURABLE A PIRICULARIA**

**Resumen**

La piricularia es la enfermedad más importante en el cultivo del arroz. Uno de los principales esfuerzos del Programa de Arroz en los últimos cinco años ha sido el mejoramiento para resistencia durable del arroz a la piricularia. La caracterización de la estructura genética y de la diversidad en virulencia del patógeno de la piricularia está permitiendo a los científicos del CIAT desarrollar una nueva estrategia de mejoramiento para este tipo de resistencia. Esta estrategia se basa en la relación que se encontró entre las familias genéticas y factores de virulencia del hongo que permite identificar combinaciones de genes de resistencia para los cuales no existen las correspondientes combinaciones de genes de virulencia en aislamientos individuales del hongo. La falta de estas combinaciones en el patógeno parece estar asociada con la presencia de linajes o familias genéticas. La resistencia derivada de esta estrategia ha demostrado ser más durable que en el pasado.

**Antecedentes**

El arroz es uno de los alimentos más importantes mundialmente, que consumen diariamente casi 2 billones de personas que viven principalmente en países en vía de desarrollo. La piricularia, es una de las enfermedades más importantes que afecta la producción de arroz en el mundo y su agente causal, el hongo *Pyricularia grisea* es uno de los patógenos más variables. Pérdidas en el cultivo cuestan aproximadamente US\$ 200 millones al año. Cuando una variedad de arroz no tiene resistencia al patógeno, los agricultores usan gran cantidades de fungicidas para controlar la enfermedad. Estas aplicaciones cuestan aproximadamente US\$170 millones al año a los países América Latina, o 35% del total de los gastos en pesticidas. Además de estos costos, la mayoría de estos pesticidas son peligrosos para el aplicador y contaminan el medio ambiente.

Existen variedades de arroz con resistencia genética al patógeno, pero en general tienen poca duración ya que el hongo rompe rápidamente dicha resistencia. La necesidad de estar produciendo continuamente nuevas variedades de arroz con nuevas fuentes de resistencia al hongo incrementa enormemente los costos del mejoramiento del arroz en todos los programas de arroz del mundo. CIAT, en conjunto con el ICA y FEDEARROZ, mejoraron recientemente la variedad de arroz Oryzica Llanos 5 la cual ha permanecido resistente a piricularia bajo condiciones comerciales por más de cinco años sin que se rompa tal resistencia. Esta resistencia permanece estable porque se combinaron y seleccionaron varias fuentes de resistencia a través de un programa de mejoramiento largo y complejo. Estudios sobre la caracterización de la diversidad en virulencia del hongo y de la estructura genética del mismo están permitiendo elucidar los mecanismos que han permitido desarrollar una resistencia estable a piricularia como ocurre en la variedad Oryzica

Llanos 5. Esta resistencia está basada en el uso de genes de resistencia específicos a diferentes linajes o familias genéticas del patógeno que excluyen la compatibilidad encontrada entre dichos genes y los genes de virulencia del hongo.

## **Objetivos**

El principal objetivo de estos estudios es desarrollar estrategias de mejoramiento que permitan una redirección de los esquemas tradicionales de mejoramiento para la producción de variedades de arroz con resistencia estable a piricularia. Durante el año de 1994 se caracterizó la estructura genética del hongo en familias genéticas para la altillanura colombiana usando marcadores moleculares y se relacionó con la diversidad en virulencia estudiada para la misma población. Estos estudios continuarán durante el año de 1995 para la identificación de fuentes potenciales de resistencia que puedan ser incorporados en un programa de mejoramiento de resistencia estable para los suelos ácidos de las sabanas en la altillanura colombiana.

## **Impacto esperado**

La estrategia integrada de mejoramiento que se ha venido desarrollando en CIAT, una de cuyas pruebas es la durabilidad encontrada en la variedad Oryzica Llanos 5, permitirán una rápida identificación de fuentes de resistencia durables al patógeno y el mejoramiento de variedades de arroz con una resistencia estable para diferentes ecosistemas y sistemas de producción. Una resistencia estable reduciría el uso de fungicidas y disminuiría los costos de mejoramiento, lo cual se convertiría en mejores ingresos para los agricultores y se protegería el medio ambiente. Se ha calculado que los beneficios en un período de 15 años alcanzarían hasta US\$1.6 billones del incremento en producción, reducción en importaciones, y disminución en el uso de fungicidas.

## **Actividades principales**

Las principales actividades desarrolladas durante 1994 fueron: a) la caracterización de la estructura genética del hongo causante de la piricularia en la altillanura colombiana, b) caracterización de la diversidad en virulencia de la misma población del hongo, c) estudios para probar la hipótesis de exclusión de linajes como estrategia para el desarrollo de resistencia estable y duradera a piricularia.

### **- Análisis del Patosistema de la Piricularia y Resistencia a la Enfermedad**

***Estructura Genética de la diversidad virulenta en el patógeno de piricularia de arroz.*** El objetivo principal de esta actividad es caracterizar la estructura genética del patógeno de la piricularia, particularmente en documentar la relación hipotética entre linaje identificados a través del análisis de marcadores moleculares MGR-

DNA, y la virulencia del hongo identificada en inoculaciones del hongo en invernadero sobre diferentes genotipos de arroz. Esta es una actividad vigente en la cual aislamientos de piricularia se recuperan durante la etapa de crecimiento de la Estación Experimental de Santa Rosa, de La Libertad (ICA) en los Llanos, de los sitios de prueba de la Altillanura y de otras áreas arroceras de Colombia. Los genotipos de arroz muestreados son: a) progenitores de líneas de mejoramiento del Programa de Arroz; b) líneas segregantes de mejoramiento; c) fuentes potenciales de resistencia; d) variedades comerciales de arroz; y e) diferenciales estándar internacionales de arroz.

En 1994 más de 100 aislamientos de piricularia colectados en la altillanura colombiana se analizaron por su espectro de virulencia y linaje genético utilizando marcadores moleculares. Estos estudios determinaron que en esta área *P. grisea* es altamente variable. Se encontraron aislamientos que exhibieron una alta frecuencia de compatibilidad que atacó 29 de los 48 cultivares de arroz en prueba. Sólo 11 de los aislamientos infectaron la mitad o más de los 48 cultivares de arroz. Por otra parte, 66 aislamientos infectaron 15 o menos de los mismos cultivares, indicando que la mayoría de los aislamientos en la Altillanura aún tienen un espectro estrecho de virulencia. Seis aislamientos infectaron sólo uno o ninguno de los cultivares.

Nueve cultivares fueron susceptibles a más del 50% de los aislamientos mientras que 18 fueron resistentes a más del 90% de ellos. No hubo ningún cultivar susceptible a todos los aislamientos y la frecuencia de virulencia sobre los cultivares K8, Oryzica Llanos 4 y Oryzica Llanos 5 fue cero.

Los resultados encontrados sugieren que parte de la población de piricularia que se encontró en la Altillanura no proviene de otra áreas arroceras de Colombia y es más probable que provengan de una población nativa. Esto ha sido respaldado por la ausencia de virulencia de la mayoría de los aislamientos de piricularia de la altillanura sobre las variedades comerciales de arroz más comunes cultivadas en Colombia y por los estudios utilizando marcadores moleculares de DNA. Más del 40% de los aislados probados no exhibieron factores de virulencia en la mayoría de las variedades de arroz más comunes, Línea 2, Oryzica 1 y Cica 8. Esta población nativa por consiguiente ha sobrevivido probablemente en los pastos o malezas presentes en dicho ecosistema.

Debido al gran número de razas que se encontraron en la altillanura recomendamos que la dinámica de la población del hongo se estudie sobre la base de la frecuencia de factores de virulencia sobre genes relevantes de resistencias y/o sobre genotipos importantes de arroz y no solo sobre la composición de razas del patógeno. Esto requiere un monitoreo constante y estudios de virulencia de aislamientos de piricularia recolectados en fuentes diferentes de arroz en el área. Con base en la diversidad de la virulencia encontrada en el patógeno de piricularia

de la altillanura colombiana, podemos considerar el sitio como un sitio potencial de alta incidencia, ideal para el mejoramiento para resistencia durable a piricularia para los suelos ácidos de sabana. Esta sugerencia está reforzada por los resultados obtenidos en la caracterización de la estructura genética del hongo en este sitio utilizando marcadores moleculares DNA. La selección de genes resistente para un programa de mejoramiento debe basarse en aquellos genes para los cuales la frecuencia de combinación de factores de virulencia en la población total del patógeno de piricularia es baja o tiende a cero.

Ningún gen de resistencia presente en el grupo de cultivares utilizados fue efectivo por sí solo contra toda la población del patógeno, sin embargo, padres potenciales pueden seleccionarse para cruces genéticos que rendirían progenies resistentes combinando genes de resistencia capaces de excluir todos los grupos de virulencia determinados en este estudio. Por ejemplo, el cruce genético entre los cultivares de arroz CT 6196-33-10-4-15 e IR 42, en teoría debe rendir líneas segregantes que combinen genes de resistencia que excluyen todos los grupos de virulencia del patógeno. Estos dos progenitores, a pesar de estar infectados por 6 y 5 grupos de virulencia, respectivamente, no están infectados por un mismo grupo de virulencia o un mismo aislamiento. Esto indica que en la población de piricularia estudiada, no hay aislamientos individuales que combinen factores de virulencia compatibles con los dos progenitores potenciales. De la misma manera, es posible seleccionar otros progenitores que podrían rendir resultados similares.

El Cuadro 1 muestra el espectro de la virulencia de cada linaje genético determinado en la población del patógeno para la altillanura. Nueve de estos linajes se encontraron por primera vez en Colombia y se denominaron Altillanura (ALL). Los linajes genéticos predominantes en la altillanura son SRL-6 y ALL-7, con frecuencia de 50 y 32%, respectivamente. Estos dos linajes exhibieron un espectro de virulencia más amplio comparado con otros linajes (Cuadro 1). La alta frecuencia del linaje de Santa Rosa (SRL-6), que se encuentra más frecuentemente en todo Colombia, puede explicarse por el flujo de las esporas de las áreas cultivadas con arroz de riego y de secano favorecido adyacentes a la altillanura. La alta frecuencia del linaje ALL-7 nativo de la Altillanura (no se encontró en otras áreas arroceras de Colombia), se debe probablemente al efecto de los genes resistentes y/o al germoplasma que se está desarrollando para este ecosistema. Mientras que el germoplasma de arroz de las áreas arroceras tradicionales de Colombia ha sido típicamente índica, en la altillanura predomina el japónica. Es importante determinar si presión de selección sobre este linaje genético se está imponiendo sobre la población del patógeno en este ecosistema.

En general, los resultados obtenidos para la altillanura colombiana en este estudio no sugiere una asociación directa entre el espectro de virulencia y la estructura genética del patógeno como se encontró para aislamientos de piricularia de otras áreas arroceras de Colombia coleccionada en las variedades comerciales

desarrolladas en los últimos 20 años. Ello probablemente se debe al hecho de que en la altillanura no ha habido una presión de selección sobre la población del patógeno para ciertos genes de virulencia, puesto que en esta área en el pasado no se han liberado cultivares comerciales o genes específicos de resistencia. Esto sugiere que el patógeno de la piricularia en la altillanura tiene un potencial amplio y desconocido de factores de virulencia y el cambio en la población dependerá de los genes de resistencia que se liberen para este ecosistema en el futuro. Es muy importante observar continuamente cualquier cambio en la frecuencia de los factores de virulencia, así como la aparición de nuevos genes de virulencia para desarrollar resistencia durable a piricularia en la Altillanura.

Mientras que el linaje ALL-7 exhibió un espectro de virulencia amplio, la mayoría de los otros linajes encontrados y probablemente nativos de la Altillanura exhibieron un espectro de virulencia estrecho. Muy pocos cultivares probados exhibieron una interacción específica con un factor de virulencia encontrado en un linaje genético. Se determinó una interacción específica entre factores de virulencia tan solo en los linajes genéticos ALL-7, SRL-4 y SRL-2 con los cultivares de arroz Moroberekan, Colombia 1 y Cica 9, respectivamente. No obstante que la mayoría de los linajes comparten varios factores virulentos, la mayor parte de los cultivares son susceptibles a menos del 50% de los linajes.

Tal como lo hemos venido indicando en los últimos años, cualquier aislamiento de un linaje genético podría expresar cualquier combinación de factores de virulencia expresados por diferentes aislamientos en el espectro de virulencia de ese linaje genético. Siendo este el caso, el cruce genético sugerido arriba entre el cultivar CT 6196 e IR42 podría rendir una progenie resistente sin estabilidad para resistencia a piricularia puesto que los factores de virulencia correspondientes para cada progenitor, no obstante presentes en diferentes grupos de virulencia (cuadro no incluido), se encontraron entre aislamientos del mismo linaje genético SRL-6 (Cuadro 1). Se caracterizaron más aislamientos de este linaje genético así como más aislamientos recuperados de ambos padres para determinar si existen aislamientos individuales que combinen ya los factores de virulencia correspondientes para ambos padres.

Sin embargo, pueden seleccionarse otros padres para cruces genéticos o como fuente de genes de resistencia que podrían rendir líneas de mejoramiento que excluyen todos los linajes genéticos del patógeno de la piricularia que se encontró en la Altillanura. Por ejemplo, el cruce entre los padres IRAT 13 y Tetep debe rendir líneas de arroz que combinen genes de resistencia a todos los linajes genéticos descritos en el Cuadro 1. Estos genes pueden incorporarse de líneas de arroz con características agronómicas deseadas. Se están seleccionando otros padres potenciales para resistencia a piricularia para los suelos ácidos de sabana en condiciones de invernadero con aislamientos representativos de las diferentes familias genéticas encontradas en la Altillanura.

Cuadro 1. Espectro de la virulencia de 13 linajes genéticos del patógeno de piricularia de la altillanura en 48 cultivares de arroz.

Cultivar	ALL 7	ALL 8	ALL 9	ALL 10	ALL 12	ALL 15	ALL 16	ALL 18	ALL 19	BRL 2	BRL 4	BRL 5	BRL 6	TOTAL
Aichi-Asahi (PI-a)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	10
Usen (PI-a)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	9
Fanny	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	10
Caloro (PI-k)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	13
Talchung T.C.W.C.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	9
Metica 1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7
Raminad Str3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	9
IR8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7
Cica 4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7
Zenith (PI-z, PI-a)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	8
K-59 (PI-t)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	9
Oryzica 1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7
PI n. 4 (PI-ta)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7
K1 (PI-ta)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	11
BL1 (PI-b)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	6
IR22	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	6
Kataktara	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7
Shin2 (PI-k)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	6
Dular (PI-k)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	0
Cica 7	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7
Cica 6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7
Sha-tiao-tsao (PI-k)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	9
Bluebonnet 50 (PI-a)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	4
Kusabue (PI-k)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	6
Kanto 51 (PI-k)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	6
Oryzica 3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	3
Fujisaka 5 (PI-i, PI-k)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7
Peta	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	3
Oryzica Sabana 6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	4
CI 6196-33-10-4-15	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	2
IR42	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	4
NP 125	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	3
Fukunishiki (PI-z)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	3
Tsuyuake (PI-k, PI-m)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	6
Linea 2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	4
Chokoto (PI-k, PI-a)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	4
IRAT 13	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1
Tetep (PI-k)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	4
Ceyvony	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	2
Oryzica 2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	2
Cica 9	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1
Cica 8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	3
Linea 6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	0
Colombia 1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1
Moroberekan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1
K8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	0
Oryzica Llanos 5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	0
Oryzica Llanos 4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	0
<b>Cultivares atacados por linaje</b>	<b>32</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>21</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>40</b>	
<b>Isolates No./lineage</b>	<b>33</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>52</b>	<b>104</b>



Cultivar susceptible a todos los aislamientos del linaje.

Cultivar susceptible a algunos aislamientos de un linaje.

Estos estudios continúan indicando que la altillanura colombiana, que es una nueva área para cultivar arroz y donde existe una población nativa de piricularia, es un ecosistema ideal para estudiar y comprender mecanismos que determinan los factores evolutivos en la interacción entre arroz y el patógeno de la piricularia, lo cual facilitaría los esfuerzos en el desarrollo de una resistencia estable a la enfermedad.

**Prueba de la Hipótesis de Exclusión de linaje.** La hipótesis de la exclusión de linaje propone que en el arroz pueden encontrarse los genes de resistencia que impiden que un linaje completo del patógeno de la piricularia sea virulento. Nuestros resultados han sugerido que la combinación de estos genes debe proporcionar una resistencia más durable que los genes resistentes a razas individuales. La hipótesis se basa en la evidencia acumulada hasta la fecha de que hay un alto grado de especialización entre los linajes de piricularia y los cultivares de arroz que pueden atacar.

Para probar esta hipótesis necesitamos identificar y confirmar la actividad de los genes de resistencia contra linajes particulares y demostrar que ellos pueden ser piramidados en los cruces, con una acumulación concomitante de resistencia. Se probará esto 'dividiendo' los genes de resistencia en la variedad altamente resistente Oryzica Llanos 5 y comparándolos con los genes encontrados en los ancestros. Oryzica Llanos 5 muestra una notoria durabilidad de la resistencia en diferentes ambientes y a través del tiempo.

Los resultados obtenidos sugieren que la resistencia en Oryzica Llanos 5 no provino únicamente de uno de sus ancestros, puesto que todos son susceptibles a por lo menos algunos aislamientos al cual el cultivar es resistente (Cuadro 2) y puesto que las líneas ancestros también mostraron reacción susceptible en los campos de Santa Rosa donde Oryzica Llanos 5 permaneció resistente. Ninguno de los linajes del patógeno exhibió compatibilidad con todas las líneas parentales. El linaje más virulento fue SRL-6 que infectó tres de las cinco líneas parentales, mientras que los cultivares Cica 9 y Colombia 1 exhibieron susceptibilidad específica a algunos linajes (Cuadro 2).

El Cuadro 3 muestra el espectro de resistencia de las líneas parentales de Oryzica Llanos 5 a los linajes que muestran compatibilidad por lo menos con un padre y la complementariedad en resistencia con respecto a los linajes compatibles con cada padre. La resistencia en Oryzica Llanos es probablemente multigénica puesto que todos sus ancestros son susceptibles a diferentes aislamientos de Santa Rosa. Este tipo de complementariedad en la resistencia exhibida a los diferentes linajes genéticos se ha propuesto como una forma posible de obtener resistencia durable a piricularia. Sin embargo, es en extremo importante que para cada linaje genético del patógeno se caracterice el espectro de virulencia de una gran muestra de aislamientos de piricularia colectados de diferentes fuentes par determinar qué

combinaciones de factores de virulencia están ausentes o tienden a cero y si dichas combinaciones están asociadas con aislamientos que pertenecen a linajes genéticos diferentes del patógeno.

**Cuadro 2.** Susceptibilidad de líneas parentales en el pedigrí de *Oryzica Llanos 5* a aislamientos colombianos de *Pyricularia grisea* de 13 linajes genéticos<sup>1</sup>.

Líneas parentales <sup>2</sup>	Susceptibilidad MGR del linaje <sup>3</sup>	Aislamientos probados en invernadero (No.)	Evaluación en invernadero <sup>4</sup>		
			Reacción	Máxima severidad de la enfermedad (%)	Máxima reacción en el campo <sup>5</sup>
CICA 9	SRL-1	10	S	45	8
	SRL-2	10	S	64	
IR 36	SRL-5	10	R/S	16	9
	SRL-6	10	R/S	45	
CICA 7	SRL-3	6	R/S	6	8
	SRL-4	6	R/S	12	
	SRL-6	10	S	45	
5685	SRL-5	10	R/S	20	5
	SRL-6	10	R/S	82	
Colombia 1	SRL-4	6	R/S	10	7

1. Linaje definido tal como describe Levy *et al.*, 1993, y Correa *et al.*, 1994.
2. Las cinco líneas parentales más cercanas en el pedigrí de *Oryzica Llanos 5*. *Oryzica Llanos 5* exhibió una reacción inmune a todos los aislamientos probados en el invernadero.
3. Compatibilidad del linaje con la línea parental. Los linajes que no se muestran en el Cuadro exhibieron una reacción incompatible.
4. Reacción: R = todos los aislamientos incompatibles con el parental cuestión. R/S = algunos aislamientos compatibles y otros incompatibles con el parental en cuestión; S = todos compatibles.
5. De acuerdo con el Sistema de Evaluación Estándar de Arroz (SES) donde 1=ausencia de enfermedad y 9= máxima enfermedad.

**Cuadro 3.** Espectro de resistencia de las líneas parentales de Oryzica Llanos 5 a linajes que muestran compatibilidad con por lo menos un padre.

Padre	Linaje <sup>1</sup>					
	SRL-1 <sup>2</sup>	SRL-2	SRL-3	SRL-4	SRL-5	SRL-6
IR 36	R <sup>3</sup>	R	S	S	R	S
CICA 7	R	R	S	S	R	S
CICA 9	S	S	R	R	R	R
5685	R	R	R	R	S	S
Colombia 1	R	R	R	S	R	R

1. Linajes descritos de acuerdo con Levy *et al.*, 1993).

2. R= todos los aislamientos probados mostraron reacción incompatible; S= reacción compatible.



**Título: Proyecto RP02**  
**CARACTERÍSTICAS DEL ARROZ PARA INCREMENTAR EL CONTROL DE**  
**MALEZAS**

1. GERMOPLASMA DE ARROZ MÁS COMPETITIVO CON MALEZAS

**Antecedentes y Objetivos**

Las malezas son la plaga número uno en América Latina y el Caribe (LAC). Se estiman pérdidas crónicas del 21% para las Américas con los actuales métodos de control (Oerke, 1992). El laboreo, manejo del agua y herbicidas son las principales herramientas de control de malezas a nivel de finca, las cuales son significativamente costosas: se estima que anualmente se gastan US\$ 218 millones en herbicidas en LAC, que representa un 45% del gasto total en pesticidas. A diferencia de los fungicidas e insecticidas, el consumo de herbicidas sigue incrementándose con el tiempo. El costo de equipos de labranza también es alto, así como los costos de adecuación de tierras. Esto aunado a los problemas de relieve y disponibilidad de agua hacen que el manejo de malezas mediante una lámina de agua no sea siempre posible. De esta forma el productor de arroz irrigado y de secano se ven forzados a recurrir a los herbicidas, que además de ser costosos, representan muchas veces una erogación de divisas para el país, y su mal uso resulta en deterioro ambiental.

Si bien la labranza y los herbicidas continuarán utilizándose por ahora, es importante que desarrollemos tecnologías alternativas que sean económicas y ambientalmente compatibles. Hemos pues iniciados actividades de investigación para producir plantas de arroz con características que les permitan competir mejor con las malezas en los diversos ecosistemas. Existe variabilidad en la capacidad competitiva de los diferentes cultivares de arroz, y lo importante es preservar el potencial productivo, a la vez que se incrementa la competitividad.

**Actividades Principales**

Se condujo un experimento con diez variedades (Inti, Eloni, IRGA 409, CICA4, CICA 8, CICA 9, Oryzica 1, Oryzica 3, Ceysvoni e IR 8) en condiciones de riego con siembra directa de semilla pregerminada sobre terreno fangueado. También se incluyeron en este experimento dos materiales competitivos provenientes de IRRI, los cuales no se adaptaron infestación de malezas bajo siembra directa y sufrieron fuerte acame, por lo que no fueron cosechadas. Las variedades crecieron en monocultivo y además en competencia con una muy elevada densidad de *Echinochloa colona*. Durante el ciclo de crecimiento del arroz, se hicieron evaluaciones periódicas en el arroz y en la maleza de: biomasa, área foliar, altura, número de macollas, y transmisión de luz a través del follaje del arroz.

## Progreso Alcanzado

El arroz y la maleza emergieron juntos. CICA 8, Eloni y CICA 9 fueron los materiales que más inhibieron el desarrollo de *E. colona* IRGA 409 fue la variedad menos competitiva. A los 60 días después de la emergencia del arroz (dde) los efectos de la competencia eran claramente medibles. La competencia de *E. colona* en promedio para todas las variedades redujo la producción de arroz en un 42%, y el rango fue 25% y 62% para CICA 8 e IRGA 409 respectivamente. La reducción de la biomasa de la maleza por competencia del arroz estuvo negativamente correlacionada con el índice de área foliar (IAF) y con el número de macollas del arroz ( $R^2=-0.83$  y  $-0.76$  respectivamente), medidos a los 60dde. La intercepción de la luz que podría llegar hasta el suelo a través del follaje del arroz fue fuertemente inhibitoria del crecimiento de la maleza, y el IAF junto con el número de macollas fueron los parámetros más relacionados con baja penetrabilidad de la luz solar. Es decir que la medición de la luz que llega hasta el suelo a través del follaje puede ser una forma rápida de seleccionar germoplasma por competitividad. Esta selección debe hacerse con el arroz creciendo en competencia con la maleza, pues mediciones (de intercepción de luz o de parámetros de crecimiento) efectuadas en monocultivo tienen poca relación con la competitividad del arroz.



**Título: Proyecto RP02**  
**CARACTERÍSTICAS DEL ARROZ PARA INCREMENTAR EL CONTROL DE**  
**MALEZAS**

## 2. GENOTIPOS PARA SIEMBRA EN AGUA

### **Antecedentes**

América Latina se encuentra en plena transición dinámica en los sistemas de siembra de arroz irrigado. Basados en el trabajo de IRRI, intentamos respaldar esta transición a través del mejoramiento genético.

La siembra directa sobre suelos fangueados es cada vez más común por su mayor eficiente y economía con respecto al trasplante y por ofrecer mejor control de malezas que la siembra en suelo seco. La lámina de agua es un agente de control de malezas altamente efectivo y benigno para el medio ambiente.

Un cuello de botella importante en esta transición es la falta de tolerancia del arroz a condiciones saturadas, anaeróbicas, durante la emergencia de las plántulas. Las plántulas necesitan oxígeno para respirar y crecer. Sin embargo, las temperaturas tropicales reducen la capacidad del agua para conservar oxígeno y estimulan el crecimiento microbiano que a su vez consume oxígeno en la zona de crecimiento de las plántulas, resultando en un pobre establecimiento del arroz. Por esta razón los agricultores deben drenar el agua de sus lotes para permitir el establecimiento de las plántulas de arroz. Sin embargo, esto incrementa los costos de mano de obra y bombeo, se desperdicia de agua y se pierden nutrientes y suelo que son arrastrados por el agua drenada. Más aun, la nivelación imperfecta resulta en numerosos charcos donde el establecimiento del arroz es pobre, así como en áreas sin inundar donde prosperan las malezas.

Yamauchi (1993) en IRRI abordó este problema seleccionando 660 accesiones de germoplasma, incluyendo 256 líneas del Centro Internacional de Germoplasma del IRRI (IRGC), y 404 líneas avanzadas pero diversas de INGER y encontró grandes diferencias en la habilidad de emerger a través de una lámina de agua. Si esto se confirma, este germoplasma y la técnica de selección podría ser valiosa para los esfuerzos de mejoramiento de arroz de riego en América Latina y el Caribe.

### **Objetivos**

Esta actividad busca identificar genotipos con habilidad para emerger a través de una lámina de agua o con tolerancia a condiciones de siembra anaeróbica mediante: a) la adquisición de germoplasma tolerante identificado por el IRRI (Dr. Yamauchi), b) la adaptación de una técnica de selección desarrollada en IRRI, y c) la selección del germoplasma incluyendo líneas de CIAT.

## **Actividades y Progreso**

Se solicitaron y recibieron 124 líneas de arroz del IRRI. Estas se sembraron para incrementar la semilla y se observaron grandes diferencias en vigor después de la emergencia, si bien ésto no fue un experimento para recoger datos sino para multiplicar semilla. En este germoplasma existe una enorme diversidad en sus características morfológicas y agronómicas. A través del tiempo se reunieron además, otras líneas de interés que se cultivaron para incrementarlas durante el período del 13 al 25 de julio. A finales de 1994 se contaba con 1-7 kilogramos de semilla fresca de alta calidad de cada línea para utilizarse en experimentos.

Actualmente se cuenta con 132 de líneas para usarse en experimentos. Se continúa con los esfuerzos para adquirir más líneas promisorias. A principios de 1995 se empezó a desarrollar una técnica de selección (Dr. A. Fischer).

## **Conclusiones**

El problema de las malezas en arroz es difícil dadas las condiciones de la infraestructura arroceras donde el manejo de una lamina de agua permanente para suprimir malezas no siempre es posible, y bajo las condiciones tropicales las malezas frecuentemente emergen en sucesivas camadas lo que obliga a los agricultores a efectuar repetidas aplicaciones de herbicidas. La adopción de germoplasma suele ser mejor que la de practicas agronómicas, especialmente si cierto nivel de riesgo esta implícito.

## **Impacto Esperado**

El desarrollo de germoplasma con capacidad de emerger bajo una lamina de agua (que suprime la emergencia de malezas) y con elevada competitividad podría reducir el uso de herbicidas en un 80% o más dependiendo del manejo del agua, lo que equivaldría a un ahorro de unos 174 millones de dólares USA en América Latina, y en Colombia se economizarían unos 55 dólares USA/ha.

## **Referencias**

European Crop Protection Association. 1992. Cereals and Plant Protection. Summary of the cereal chapters, by Dr. E-C. Oerke of the University of Hannover, Germany, from the book 'Protecting the World's Harvest-food needs, crop losses and plant protection'.

Yamauchi, M.; A. M. Aguilar; D. A. Vaughan and D. V. Seshu. 1993. Rice *Oryza sativa* L.) germplasm suitable for direct sowing under flooded soil surface. *Euphytica* 67:177-184.



**Título: Proyecto RP04**  
**UMBRALES DE DAÑO ECONÓMICO CON INFESTACIONES MULTIESPECÍFICAS DE**  
**MALEZAS: FUNCIONES DE PREDICCIÓN DE PÉRDIDAS POR COMPETENCIA.**

**Resumen**

Este proyecto tiene el propósito de desarrollar componentes y metodologías para el MIP, apoyando a los programas nacionales en la formulación de Proyectos MIP en arroz, y en la búsqueda de financiamiento. Las malezas del arroz en América Latina cuestan de 218 millones de US dólares al año, y el consumo de herbicidas va en aumento. Al arroz de siembra directa se le asperjan mezclas de herbicidas entre 3 y 4 veces por estación, y en el trópico se puede cultivar arroz dos veces al año. Las aplicaciones tardías de herbicidas frecuentemente no son económicas. Mediante el presente estudio se desarrolló una metodología que permite derivar umbrales de daño Económico para infestaciones mixtas de malezas (compuestas por mezclas de varias especies a diversas densidades) para arroz de siembra directa, incluyendo opciones para incrementar la capacidad de generalizar resultados. Tales estrategias son la clave para desatranca al manejo integrado de malezas en arroz y podrían reducir la aplicación de herbicidas hasta en un 30%. La función de pérdida de rendimiento utilizada fue una hipérbola rectangular, un modelo simple y biológicamente realista para predecir pérdidas de rendimiento debidas a la infestación de malezas. Este modelo puede ajustarse para a los problemas relevantes de la localidad como diferencias en las estaciones de crecimiento, y en el intervalo entre cultivo y emergencia de malezas. Las predicciones de pérdidas de rendimiento pueden efectuarse por la simple estimación visual de cubierta de malezas. El modelo derivado se incorporó a un prototipo simple de apoyo, programado en Lotus<sup>®</sup>, para la toma de decisiones económicas sobre el control de malezas. La metodología derivada se ha presentado en diferentes reuniones en América Latina y la Federación Colombiana de Arroceros (FEDEARROZ) donde se considera un área prioritaria de trabajo.

**Antecedentes**

Las actividades de este proyecto se centran en el desarrollo de componentes y metodologías para MIP, sirviendo como puente entre instituciones avanzadas e investigadores de los países en desarrollo. Debemos también aclarar aquí que el término *plaga* se refiere a cualquier organismo dañino para la producción y/o calidad del arroz (CIAT, 1994).

Mediante la introducción de conceptos de umbrales de daño o económicos, y junto con mayor *conocimiento* sobre los enemigos naturales, la aplicación del MIP logra grandes reducciones en uso abusivo de pesticidas para el control de diversas plagas. Pero este no ha sido el caso de las malezas, una plaga del arroz que en América Latina cuesta 218 millones de dólares al año, lo que equivale al 45% del gasto total en pesticidas químicos para el arroz en la región. En contraste con los insecticidas, el consumo de los herbicidas va en aumento. Esto se agrava por el conocimiento escaso sobre medidas de seguridad y técnicas para el correcto uso de los herbicidas. Por lo tanto, se requieren reglas de decisión, tales como los umbrales económicos utilizados

con los insecticidas, que permitan a los agricultores decidir cuando es necesario controlar malezas y cuál medida de control es económicamente justificable.

Los agricultores de arroz suelen aplicar mezclas de herbicidas hasta 3 o 4 veces durante el ciclo de crecimiento del arroz. Esto resulta generalmente de un pobre control de agua y/o de una pobre nivelación del terreno, lo que no permite a los agricultores suprimir el crecimiento de las malezas con una inundación permanente. Tales aplicaciones tardías de herbicidas con frecuencia no se justifican económicamente, y el uso de umbrales económicos podría tener un gran impacto en disminuir el uso abusivo de herbicidas (Fischer y Ramírez, 1993).

A diferencia de la mayoría de los insectos, las infestaciones de malezas usualmente consisten de una mezcla de especies, lo cual ha sido un problema para desarrollar modelos adecuados que relacionen niveles de infestación con las correspondientes pérdidas de rendimiento de arroz. Desafortunadamente muchos de los reportes sobre umbrales de daño por malezas en arroz se basan en infestaciones por una sola especie (Smith, 1988). Lo que necesitamos una función simple pero biológicamente sólida para predecir pérdidas de rendimiento a partir de la cuantificación de un nivel de infestación dados. Además de definir la función de pérdida hemos de hallar también la forma más precisa de cuantificar las poblaciones de invasoras. Previamente hemos reportado (Fischer y Ramírez, 1993) una metodología con la que se cuantificó una infestación mixta de malezas como la suma de los individuos presentes por unidad de área (densidad), en donde la densidad de cada especie era ponderada por su *competitividad relativa* determinada experimentalmente. Un punto débil de este enfoque es que los efectos de la competencia entre especies de maleza no es considerado, tales efectos modificarán la competitividad de cada especie con el arroz. Otro problema que se da frecuentemente con las regresiones que buscan relacionar densidad de malezas con pérdidas de rendimiento del cultivo, (Smith, 1988) es el uso de una ecuaciones biológicamente irreales que no consideran mecanismos biológicos básicos (Cousens *et al.*, 1987). Los modelos de simulación pueden ser útiles (Kropff y van Laar, 1993) pero requieren cierto nivel de capacitación y sus 'parametrización', validación, y uso aún involucran cierto grado de dificultad. El acceso a la simulación es bastante restringido para la mayoría de los asesores agrícolas de la región. Cousens *et al.* (1987) propuso la hiperbólica rectangular como modelo de predicción:

$$YL = \frac{i \times D}{(1 + \frac{i \times D}{a})}$$

donde 'YL' es la pérdida de rendimiento/ha como porcentaje del rendimiento de arroz libre de malezas; 'i' es la pérdida de rendimiento causada por la competencia de cada maleza individual cuando el numero de invasoras por unidad de superficie ('D') tiende a cero, y 'a' es la pérdida de rendimiento asintótica cuando 'D' se vuelve grande. Los coeficientes 'a' e 'i' se estiman por regresión no lineal. La predicción con este modelo

puede aun mejorarse utilizando un parámetro más estrechamente relacionado con la competencia que el simple número de plantas por unidad de área. Este último contabiliza como si fueran iguales a plantas de diferente tamaño y competitividad. Pero sería deseable cuantificar la densidad de una infestación de malezas, mediante un parámetro que permitiera agrupar racionalmente plantas no solamente de diferente tamaño, sino también pertenecientes a diferentes especies como variable independiente en el modelo de predicción. Esto evitaría hacer numerosos experimentos para determinar la *competitividad relativa* de cada especie como se menciona arriba. Kropff y van Laar (1993) sugirieron que el Área Foliar Relativa de las malezas (área foliar de las malezas/(área foliar de malezas+cultivo)) permite cuantificar infestaciones de especies mixtas de malezas, evaluándolas inmediatamente después de la emergencia del cultivo. Este es un parámetro estrechamente ligado a la competencia que también permitiría agrupar infestaciones que emerjan en tiempos diferentes con respecto al cultivo (Kropff y van Laar, 1993).

## **Objetivo**

El objetivo de este estudio fue desarrollar, para arroz bajo riego intermitente, un método para derivar umbrales económicos con infestaciones multiespecíficas de malezas, como herramienta reducir el uso abusivo de herbicidas, particularmente el que resulta de controlar malezas de emergencia tardía. Se tuvo en cuenta que las malezas en sistemas de riego con mojes, o de riego corrido emergen en más de una tanda durante el ciclo del arroz.

## **Actividades Principales**

Se realizaron dos experimentos de campo (primero y segundo semestre) con arroz "Oryzica 1" bajo riego intermitente (manteniendo el suelo cerca de su capacidad del campo). Los tratamientos se organizaron en un diseño de parcelas divididas al azar con cuatro repeticiones. El arroz se sembró a 75, 140, 200, 250 y 300 kg de semilla ha (parcelas principales). En el primer semestre se permitió a las malezas emerger en dos fechas con respecto al cultivo, mientras que en el segundo experimento se permitió sólo una emergencia tardía de malezas (Cuadro 1). La emergencia de malezas fue espontánea, a partir del reservorio de semillas del suelo. Se ubicaron áreas con infestación uniforme (sub parcelas), donde a los 20 y 55 días de emergidas las malezas, se determinó: el su número de tallos en 0.25 m<sup>2</sup> (STM), área foliar (LA), materia seca (DM), y parámetros relativos como: el número relativo de tallos de malezas (No. tallos de las malezas/No. tallos de las malezas y los del cultivo) (RST), área foliar relativa de malezas (RLA), materia seca relativa de malezas (RDM), y su Cobertura visual (área cubierta por las malezas/área cubierta por las malezas y el cultivo). Las malezas que prevalecieron fueron: *Leptochloa filiformis*, *Echinochloa colona*, *E. crus-galli*, y *Eleusine indica*, menos relevantes fueron *Eclipta alba* y *Ludwigia* sp. Los datos se sometieron a análisis de regresión no lineal.

Cuadro 1. Épocas de emergencia del arroz y las malezas para la primera y segunda época de siembra en Palmira.

Emergencia del arroz			Emergencia de malezas			
	fecha	gdd <sup>1</sup>		fecha	dde <sup>2</sup>	gdd
Primera época	May 2	170	Precoz	May 20	18	431
			Tarde	May 30	28	565
Segunda época	Oct. 16	126		Nov. 16	31	557

1. Grados de crecimiento diarios con base 10C acumulados desde la siembra.

2. Días después de emergido el arroz.

## Progreso Alcanzado

**Emergencia temprana y tardía de malezas** . El modelo hiperbólico rectangular describió los datos de manera realista (Figura 1), los parámetros de regresión para ambos experimentos aparecen en el Cuadro 2. La dispersión de los puntos alrededor de las líneas de regresión resulta básicamente de las diferentes densidades de siembra de arroz utilizadas. Mientras que los valores 'i' reflejaron la competitividad diferente de las malezas que emergen temprano con respecto a las que lo hacen tardíamente, 'a' no fue un indicador de tales efectos (Cuadro 2 y Figura 1). En algunos casos, fue necesario imponer restricciones al modelo de regresión para obtener buenos ajustes, y esto algunas veces resultó en valores irreales de 'a' (Cuadro 2). Por lo tanto con estos resultados, 'a' podría usarse como un indicador de competencia (Cousens *et al.*, 1987) solamente para comparar especies de malezas, o alternativas de manejo, dentro de una misma fecha de emergencia de las malezas.

El período de tiempo entre la emergencia del arroz y las malezas tiene un dramático efecto en las pérdidas de rendimiento que causan las malezas. En el primer semestre, la densidad más alta de las malezas que emergieron tardíamente solo redujo los rendimientos en un 20% (Figura 1), confirmando observaciones previas (Fischer y Ramírez, 1993). El conteo de tallos (STM o RST) proporcionó la más pobre discriminación entre competencia precoz y tardía (Cuadro 2), ilustrando la conveniencia de describir infestaciones de malezas con parámetros *más estrechamente asociados* con las interacciones competitivas entre el arroz y las malezas, en particular cuando las malezas difieren considerablemente en tamaño entre sí. Si el arroz se fertiliza e irriga adecuadamente, la competencia con malezas hasta el "cierre" del follaje del arroz debería ser principalmente por luz. Por lo tanto, el área foliar combinada de una cierta mezcla de malezas (o su RLA) debería proporcionar una descripción adecuada de la presión de competencia que tal mezcla de malezas representa, y probablemente una adecuada variable independiente para el modelo hiperbólico de pérdida de rendimiento. Esto lo confirman nuestros datos (Cuadro 2 y Figura 1), donde los parámetros relativos como RLA y RDM tienden a incrementar los coeficientes de determinación. Otra ventaja de los parámetros relativos es que también consideran el efecto de la densidad del cultivo. En base a lo anterior, un estimador relativo de la densidad de malezas que combine a la vez el área foliar con la producción de materia seca, sería incluso superior al RLA o el RDM, ya que la competencia que regula la distribución de materia seca entre especies parecería estar en función de la intercepción de luz (Kropff y van Laar, 1993). La evaluación visual de la Cobertura relativa de malezas, en la práctica integra la cobertura foliar con una estimación de crecimiento y resultó en un buen ajuste para la predicción de pérdidas de rendimiento arroz por competencia precoz de malezas. Este es un parámetro de fácil uso en el campo por asesores agrícolas entrenados.

La modificación del valor de 'i' en el modelo hiperbólico propuesto, permitió hacer ajustes para considerar las modificaciones en la competitividad de las mezclas de malezas resultantes de sus diferentes momentos de emergencia respecto al cultivo

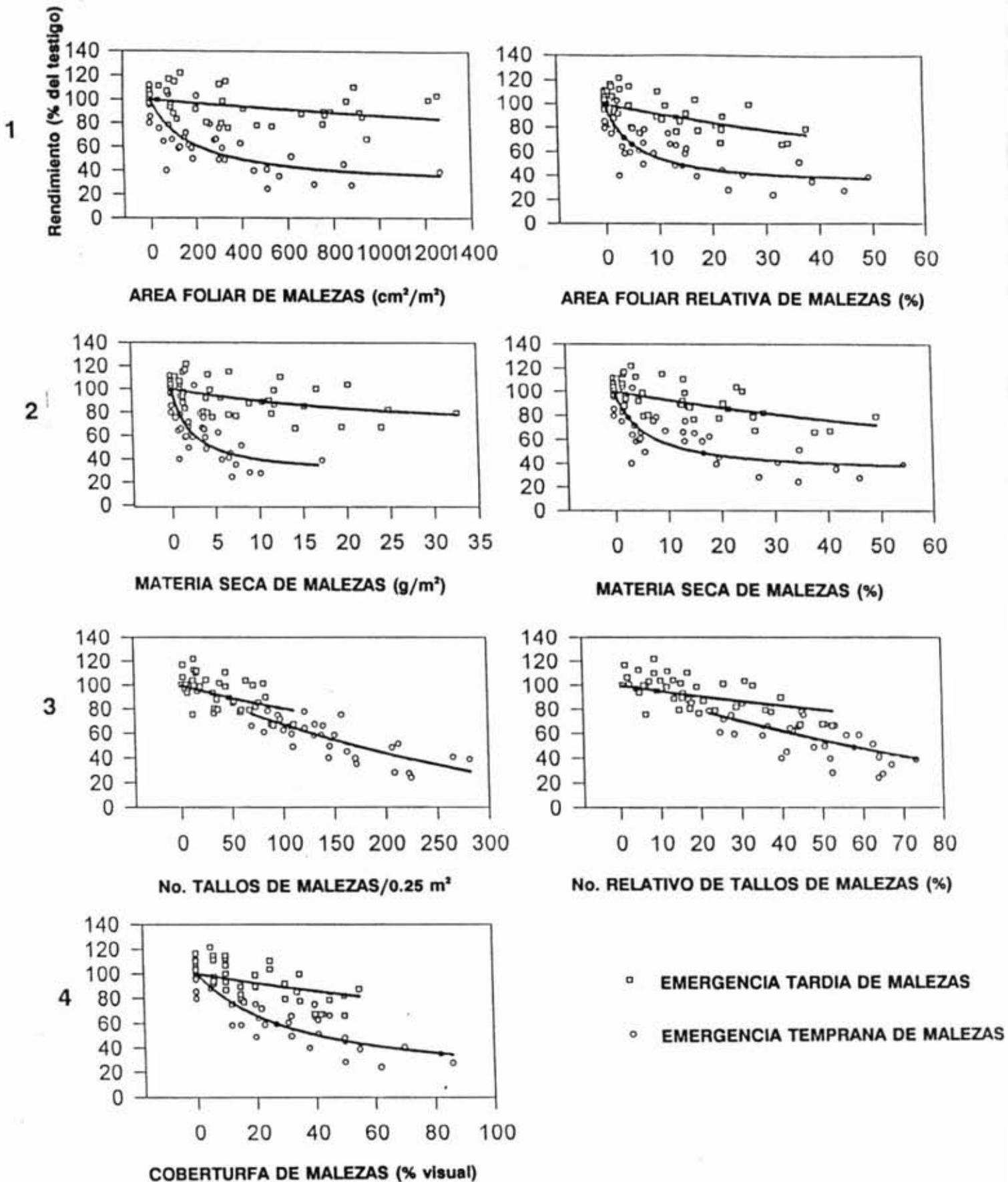


FIGURA 1. Efecto de dos épocas de emergencia de malezas sobre los rendimientos de arroz durante el primer semestre y con diferentes parámetros de densidad de malezas. Los coeficientes de las regresiones aparecen en la Tabla 2.

Cuadro 2. Parámetros del modelo hiperbólico que describe el rendimiento en función de la densidad de malezas (expresada como área foliar, materia seca, y estimación visual de cobertura), para dos épocas de siembra y diferentes periodos de emergencia entre el cultivo y las malezas.

Siembra y emergencia de malezas		Parámetros	Tallos	Area foliar	Mat. seca	No. relativo de tallos	Area foliar relativa	Mat. seca relativa	Cobertura
			(No./0.25m <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> /0.25m <sup>2</sup> )	(g/0.25m <sup>2</sup> )	----- (%) -----			
Primera Temp. (431) <sup>1</sup>	a	200	73.7	74.2	200	69.2	68.6	92.2	
	i	.39	0.41	32.6	1.18	13.1	12.1	2.65	
	r <sup>2</sup>	0.81	0.69	0.67	0.74	0.77	0.74	0.86	
	a	100	97.3	45	100	100	100	96.3	
	i	0.24	0.016	1.37	0.52	0.93	0.79	0.42	
	r <sup>2</sup>	0.32	0.26	0.24	0.35	0.34	0.34	0.32	
Segunda Tarde (557)	a	100	66.5	64.2	100	100.8	83.8	91.4	
	i	0.61	0.039	4.05	1.08	1.47	2.02	1.22	
	r <sup>2</sup>	0.29	0.35	0.34	0.34	0.45	0.43	0.43	

<sup>1</sup> Grados de crecimiento diarios acumulados  $(T_{max} - T_{min})/2 - 10$  desde la emergencia.

<sup>2</sup> Para Rendim. perdido (%) =  $ix/(1 + ix/a)$ , x es densidad de malezas (como área fol., materia seca, etc.).

a es la asíntota, e i es la pérdida de rendimiento causada por cada maleza individual cuando la densidad tiende a cero.

(Figura 2). La relación entre diferentes períodos de emergencia de malezas respecto al cultivo y los valores correspondientes de 'i' pueden derivarse experimentalmente, de tal forma que se puedan introducir ajustes al modelo según sea necesario.

**Evaluación tardía de densidades de infestación** Se evaluaron nuevamente las infestaciones de malezas de emergencia precoz y tardía, respectivamente a los 40 y 20 días después de emerger. Se buscaba identificar descriptores de la densidad de malezas que pudieran contabilizar, mediante un solo parámetro, diferencias en el tiempo relativo de emergencia. Los datos de esta segunda evaluación de malezas mostraron una dispersión mayor que en la primera, resultando en menores valores de  $r^2$  en el Cuadro 3 que en el Cuadro 2. Cuando se agruparon los datos de las infestaciones tempranas y tardías, los valores  $r^2$  fueron ligeramente más bajos que cuando se usaron únicamente datos de competencia precoz. Los parámetros relativos (RLA, RST y RDM) no resultaron en mejores ajustes, como lo sugiere Kropff y van Laar (1993), que los parámetros absolutos (Cuadro 2).

**Primer semestre vs. segundo.** El segundo semestre usualmente es una época más favorable para el crecimiento vegetal, básicamente principalmente dado los mayores niveles de irradiación solar. Bajo tales condiciones favorables, la competencia de las malezas fue más severa que en el primer semestre, como lo muestran los mayores valores de 'i' (Cuadro 2, emergencia tardía). El incremento o cambio en el valor de 'i' fue menor cuando las infestaciones multiespecíficas de malezas se cuantificaron en términos de RLA (Cuadro 2). Es decir, que el área foliar se afectó menos que otros parámetros de crecimiento con el cambio de estación de crecimiento. Por lo tanto pérdidas de rendimiento predichas en base a RLA tenderían a ser más estables con los cambios ambientales, y además este parámetro sería el más apropiado para un modelo que combinara datos de ambos semestres. Un modelo para simular competencia (Kropff y van Laar, 1993) podría ser útil para establecer una relación funcional entre 'i' y un parámetro climatológico dado (tal como la irradiación solar). Con tal relación, y con la historia climática, el modelo hiperbólico puede ajustarse en 'i' para predecir pérdidas de rendimiento de arroz por infestaciones mixtas de malezas en diferentes épocas de crecimiento.

**Umbrales económicos.** El Cuadro 4 presenta los datos de un sencillo modelo de decisión basado en una simple ecuación de regresión entre niveles de infestación por mezclas de malezas y las correspondientes pérdidas de rendimiento de arroz. Este prototipo se programó en LOTUS utilizando macros, lo cual lo hace utilizable y modificable por cualquiera, y permite tomar decisiones económicas sobre el uso de herbicidas. Sin embargo, pueden incorporarse al modelo parámetros económicos y de eficiencia para otras alternativas, no herbicidas, de manejo de forma de diversificar las opciones.

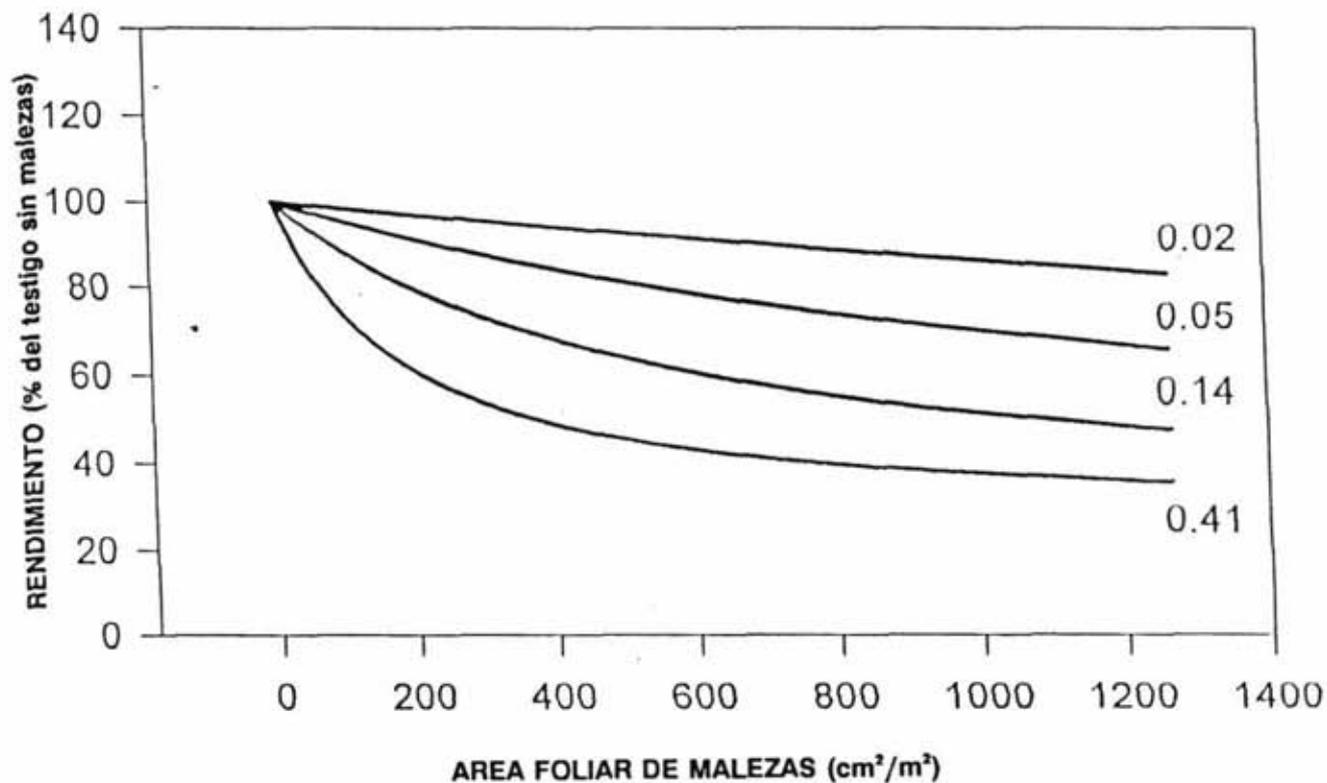
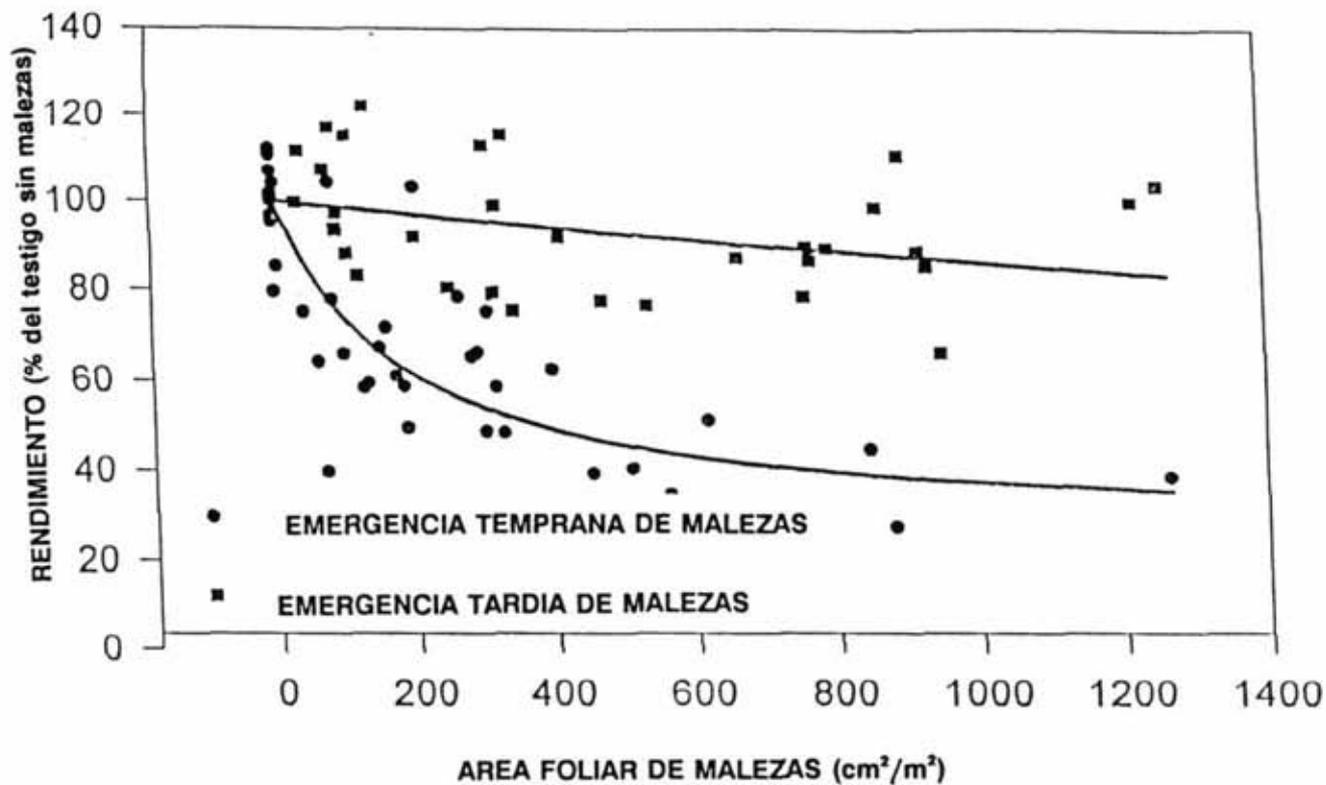


FIGURA 2. Ajustes del coeficiente I del modelo hiperbólico para corregir por diferentes períodos de emergencia entre las malezas y el arroz. Los valores de I aparecen junto a las curvas de la gráfica inferior.

Cuadro 3. Parámetros del modelo hiperbólico que relaciona densidad de malezas con pérdida de rendimiento cuando la densidad de malezas (como área foliar, materia seca, etc) se evaluó 55 días posteriores a la emergencia del arroz, cuando las malezas emergieron en dos épocas con respecto al cultivo. Las ecuaciones se ajustaron con valores provenientes de cada época de emergencia y con los datos de dos épocas combinados.

Siembra y emergencia	Parámetro <sup>1</sup>	Tallos (No./0.25m <sup>2</sup> )	Area foliar (cm <sup>2</sup> /0.25m <sup>2</sup> )	Materia seca (g/0.25m <sup>2</sup> )	No. tallos relativo -----	Area Foliar Relativa --(%)----	Mat. seca relativa
Primera	a	187	111	97	100	78.7	86.8
	i	0.50	0.06	4.3	1.48	4.2	3.27
	r <sup>2</sup>	0.54	0.56	0.55	0.50	0.58	0.52
Tarde	a	100	100	100	100	100	100
	i	0.28	0.16	1.07	0.59	0.94	0.79
	r <sup>2</sup>	0.31	0.24	0.20	0.37	0.37	0.33
Ambas	a	100	100	100	100	100	111
	i	0.52	0.04	2.73	1.14	2.15	1.76
	r <sup>2</sup>	0.54	0.45	0.42	0.51	0.48	0.44

<sup>1</sup> Grados de crecimiento diarios acumulados  $(T_{max} - T_{min})/2 - 10$  desde la emergencia.

<sup>2</sup> Para Rendim. perdido (%) =  $ix/(1 + ix/a)$ , x es densidad de malezas (como área fol., materia seca, etc.).

a es la asíntota, e i es la pérdida de rendimiento causada por cada maleza individual cuando la densidad tiende a cero.

Cuadro 4. Prototipo de Modelo de Umbrales Económicos para Control de Malezas en Arroz.

Modelo:  $LN(Rend) = 6.48 - 0.007xX$   
 Var.: dens. malezas (g materia seca/0.25m<sup>2</sup>)  
 Dens. arroz: 100 kg semilla/ha  
 Max. rend. estim. (sin malezas): 6520 kg/ha

Salida 1				Salida 2	
Densidad malezas (g/0.25m <sup>2</sup> )	Rendim. esperado (kg/ha)	Rendim. perdido (%)	Pérdida predicha (US\$/ha)	Matriz de decisión para uso de herbicida	
0	6520	0.00	0	a) Malezas emergen 15 dde	
1	6474	0.71	8	Max. Rend. Esperado (kg/ha):	6520
2	6429	1.40	16	Densidad de malezas (g/0.25m <sup>2</sup> ):	4
3	6384	2.09	24	Pérdida de rend. predicha (%):	2.76
4	6340	2.76	32	Margen Bruto	
5	6295	3.45	40	(mezcla de herbicidas estándar):	-17
6	6225	4.52	47	Decisión:	NO APLICAR
7	6208	4.79	55		

Las salidas 3 y 4 son similares a la 2 pero se refieren a controles pos-emergentes con infestaciones tardías y muy tardías. El prototipo fue desarrollado por el Dr. Alvaro Ramírez de la Sección de Economía del Programa de Arroz de CIAT.

## **Conclusiones**

Se utilizó un modelo simple y biológicamente realista para describir la relación hiperbólica entre densidad de infestaciones multiespecíficas de malezas y las pérdidas de rendimiento en arroz resultantes. Este modelo se ha utilizado con éxito con un amplio rango de datos (Cousens *et al.*, 1987), y dependiendo del tipo de variable independiente y de los ajustes, pueden manejarse ciertas restricciones de extrapolabilidad como determinadas diferencias en la estación de crecimiento y en el intervalo de emergencia entre el cultivo y la maleza. Asesores agrícolas con cierta experiencia pueden predecir pérdidas de rendimiento a partir de una simple estimación visual de la cobertura de malezas, como alternativa al conteo de malezas usualmente laborioso e inexacto.

## **Impacto Esperado**

Esta es una alternativa biológicamente plausible (Cousens *et al.*, 1987) que puede ser útil en la predicción de pérdidas de rendimiento para la implementación de umbrales económicos por infestaciones mixtas de malezas. Tales umbrales podrían ser la clave para permitir el despegue del manejo integrado de malezas en arroz, con un potencial para reducir en un 30% las aplicaciones de herbicidas en arroz irrigado en Colombia (Fischer y Ramírez, 1993).

Estos conceptos han sido presentados en varias reuniones científicas en América Latina, y en Colombia la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ) ha considerado el desarrollo de umbrales económicos como un área prioritaria de trabajo en su serie de Foros sobre Control de Malezas conducidos en las diversas zonas arroceras colombianas. Actualmente el Programa de Arroz de CIAT colaborará con dicha institución en la validación y ajuste de los umbrales económicos, con vistas a integrarlos en 'sistemas expertos' para la toma de decisión sobre manejo integrado de malezas a nivel de finca.

## **Referencias**

Cousens, R., P. Brain, J.T. Donovan, and P. Ashley O'Sullivan. 1987. The use of biologically realistic equations to describe the effects of weed density and relative time on crop yield. *Weed Sci.* 35:720-725.

Fischer, A.J. and A. Ramírez. 1993. Mixed-weed infestations: prediction of crop losses for economic weed management in rice. *International Journal of Pest Management.* 39:354-357.

Kropff, M.J. and H.H. van Laar (eds.). 1993. *Modelling Crop-Weed Interactions.* IRRI,

CAB International. BPC Wheatons Ltd., Exeter, Great Britain.

Smith, Jr., R.J. 1988. Weed thresholds in southern US rice, *Oryza sativa*. *Weed Technology* 2:232-241.



**Título: Proyecto RL01  
GERMOPLASMA MEJORADO DE ARROZ DE RIEGO**

**Resumen**

La caracterización de los factores estrechamente asociados con altos rendimientos, incluyendo buen vigor inicial y macollamiento moderado, va a ampliar las oportunidades para incrementar el potencial de rendimiento en nuestro germoplasma regional el cual está adaptado a las diversas condiciones de siembra directa que se encuentran en toda América Latina. Un proyecto de selección recurrente para aumentar el potencial de rendimiento del arroz de riego iniciado en 1993 proporcionó los elementos básicos para crear cuatro nuevas poblaciones mejoradas que se distribuirán a los NARS en 1995. Existen diferencias entre estas poblaciones, fundamentalmente en términos de su constitución genética y en sus fuente de citoplasma. Las actividades de mejoramiento en colaboración con ICA/CORPOICA/FEDEARROZ en Colombia llevaron a la liberación de *Oryza* Yacú 9 como una variedad para condiciones de riego para algunas áreas en Colombia. Se identificaron líneas mejoradas que combinan resistencia a piricularia, *Tagosodes oryzae*, RHBV con alto potencial de rendimiento y buena calidad de grano. Se estudió la herencia de la resistencia a *Tagosodes* en Makalioka y Mudgo; los resultados sugieren que la resistencia podría estar controlada por un gene dominante modificado por un gene menor que afecta la expresión de la resistencia dependiendo del genotipo de la planta y tiempo de exposición al insecto. El cultivo de anteras se sigue utilizando como una herramienta adicional de mejoramiento para la ampliación de la base genética, desarrollar germoplasma tolerante a bajas temperaturas y producir haploides dobles apropiados para el mapeo de genes de RFLP y PCR. El laboratorio de cultivos de anteras de arroz procesó 321 materiales para varios proyectos del programa de mejoramiento y generó cerca de 19.000 plantas verdes. Se realizó un curso taller sobre cultivo de anteras en CIAT para compartir los conocimientos y experiencias en el uso de cultivo de anteras (CA) en el mejoramiento, y para estimular una colaboración más estrecha entre los cultivadores de tejidos y los mejoradores. El análisis de la genética de la respuesta del CA fue completa. Los resultados corroboran la herencia simple de la respuesta del CA; se propone que la respuesta del CA podría heredarse como un rasgo dominante incompleto. Análisis de co-segregación indicaron que es posible recuperar plantas que combinan la alta respuesta del CA (cerca al 70% de inducción del callo y 90% de regeneración de planta verde) con las características de tipo de grano de las indica. Los resultados también sugirieron que los genes que controlan la inducción del callo, regeneración de plantas y longitud de grano segregan independientemente. Un estudio realizado para evaluar la contribución de la fuente de citoplasma en relación con la respuesta de CA mostró que la combinación indica/indica respondió significativamente menos que la combinación japónica/indica para la inducción por callo, número total de plantas/anteras, y número de plantas verdes/anteras. Los resultados de los diferentes experimentos confirmaron que el CA se encuentra bajo control genético, y que el citoplasma del progenitor femenino es muy importante; además, la alta respuesta del CA puede transferirse a tipos no sensibles. Por lo tanto, a través de un esquema de selección recurrente es posible desarrollar poblaciones de tipo indica con buena respuesta al CA.

**Antecedentes**

El arroz es el cultivo de grano más importante de América Latina tropical (LAC), donde se concentra la mayoría de los pobres de la región. El arroz de riego

representa el 70% de la producción total de arroz de la región. Las variedades mejoradas de arroz de riego han reducido el costo del arroz en un 40% en los últimos 25 años, básicamente debido a la actividad del CIAT realizada en estrecha colaboración con las instituciones nacionales de investigación en agricultura y de desarrollo. Los beneficios de esta investigación van principalmente a los consumidores (67%) y particularmente a los pobres, que gastan cerca del 10% de su ingreso total en arroz. El porcentaje del germoplasma generado en CIAT que alcanza liberación varietal ha aumentado de manera sostenida en el tiempo, de 9% durante 1967-71 a 50% en los últimos cinco años. Durante los últimos dos años, la tasa alcanzó 65%. La dinámica básica del sector de arroz de riego, y las líneas promisorias que ya se encuentran en ese camino, sugieren que este record que ya demostró impacto continuará en el futuro cercano.

Un número de características nuevas prometedoras e interesantes se están generando en otros proyectos interdisciplinarios del Programa de arroz, así como también a nivel global que prometen continuar el impacto del pasado y el presente. Estas nuevas y sobresalientes características, sin embargo, se encuentran generalmente en cultivares que no están bien adaptados a las condiciones de siembra directa de LAC. Por lo tanto, este proyecto combinará el conjunto total de tales características en poblaciones mejoradas adaptadas a las tierras bajas de LAC. Las características que se van a adicionar son mayor potencial de rendimiento, un nuevo tipo de planta para siembra directa, características para aumentar la competencia con malezas, resistencia más duradera a la piricularia, resistencia diversificada a *Tagosodes* y RHBV, mejor calidad de grano en la zona sub-tropical, y posiblemente nueva resistencia al añublo de la vaina.

## **Objetivos**

Desarrollar germoplasma de alto rendimiento para condiciones de riego y de tierras irrigadas tolerante a las principales enfermedades e insectos plagas, con buena calidad de grano y con un ciclo intermedio a precoz.

## **Actividades de Investigación**

Los resultados para 1994 se presentan y se discuten siguiendo básicamente cuatro grandes categorías: germoplasma mejorado para las tierras bajas tropicales, mejoramiento de población, biotecnología, y resistencia a *Tagosodes* y al virus de la hoja blanca.

### **1. Germoplasma Mejorado para las Tierras Bajas Tropicales**

Este trabajo convencional de mejoramiento por pedigrí se realiza en colaboración con ICA/CORPOICA y FEDEARROZ en Colombia. El objetivo es desarrollar germoplasma de alto rendimiento para condiciones de riego y de tierras irrigadas

tolerante a las principales enfermedades e insectos plagas, con buena calidad de grano y con un ciclo intermedio a precoz. Para garantizar una alta presión de enfermedades se utilizan sitios de alta incidencia de enfermedades.

Después de tres años de ensayos intensos y de evaluaciones en campos de agricultores, CIAT/ICA/CORPOICA/FEDEARROZ decidieron liberar la línea CT 8837-1-17-9-2-1 como Oryzica Yacú 9 para siembra comercial en el Tolima, Huila y en el Valle del Cauca. Oryzica Yacú 9 se sometió a varias pruebas comerciales (Cuadro 1) en donde rindió significativamente más que las variedades IR 22, Oryzica 1 y 3 y Llanos 5. Además demostró un alto nivel de resistencia a piricularia de arroz (*P. oryzae*) y excelentes cualidades de molinería y culinarias; también es resistente al volcamiento. Esta nueva variedad es susceptible al virus de la Hoja Blanca del arroz y moderadamente susceptible a *Tagosodes oryzicolus* en condiciones controladas en laboratorio; sin embargo en condiciones de campo ha mostrado un buen nivel de tolerancia.

Se realizaron un total de 200 cruzamientos para recombinar resistencia a varios estreses bióticos y abióticos; sin embargo, 22 de ellos fueron cruces interespecíficos entre arroz cultivado y algunas especies silvestres (*O. rufipogon*, *O. glaberrima*, y *O. minuta*) con el propósito de introducir en el arroz cultivado algunas de las características importantes halladas en las poblaciones silvestres como resistencia a la piricularia, al añublo bacteriano, a sogata, vigor vegetativo precoz y tolerancia a la sequía. Se utilizará un programa de retrocruces hacia el arroz cultivado con la ayuda de marcadores moleculares para identificar y seleccionar los mejores recombinantes.

Siguiendo una estrategia de mejoramiento de evaluación y selección en varios ambientes se sembraron poblaciones F2, F3, F4 y F5 que agrupaban alrededor de 500 cruces en CIAT, Palmira; Santa Rosa, Villavicencio y Saldaña, Tolima. Se seleccionaron cerca de 4.700 plantas en las generaciones F5 y F6 y 150 poblaciones masales para más pruebas durante 1995.

Se completó un programa de tres años de evaluaciones de 156 nuevos donantes potenciales para el programa de cruzamientos de riego. Los datos se han analizado especialmente en términos de resistencia a enfermedades y potencial de rendimiento con el fin de seleccionar los mejores donantes para incorporarlos al banco de germoplasma. A principios de 1995 se llevará a cabo una evaluación en este banco para actualizar la información, especialmente en cuanto a resistencia a enfermedades.

Por otra parte, dada la creciente demanda por germoplasma de arroz apropiado para diferentes usos agroindustriales, se reunió un grupo de 93 entradas con diferentes características de grano para evaluación en CIAT, Palmira y Santa Rosa. Las entradas se evaluaron en cuanto a forma de grano, longitud, temperatura de

gelatinización, contenido de amilosa, reacción a enfermedades e insectos, potencial de rendimiento, floración, y altura de planta.

## **2. Mejoramiento poblacional para arroz de riego**

El programa de mejoramiento de arroz de riego del CIAT ha utilizado básicamente el método de pedigrí y ocasionalmente el método de retrocruces. Se considera que esta estrategia restringe la obtención de nuevas combinaciones favorables de genes. Utilizando un "enfoque de mejoramiento poblacional" se pueden obtener nuevas combinaciones y gradualmente acumularlos dando origen a una población en constante mejoramiento y genéticamente amplia. Este enfoque requiere que se realicen un gran número de cruces para combinar gradualmente los genes deseados y los cruces manuales pueden constituirse en factor limitante. Sin embargo, esto se puede solucionar utilizando la esterilidad genética masculina. CIRAD-CA/EMBRAPA han desarrollado varias poblaciones para riego utilizando la esterilidad genética masculina. El objetivo de esta actividad es utilizar estas poblaciones y otra desarrollada en CIAT para formar nuevas poblaciones para llenar las diversas necesidades encontradas en los ecosistemas irrigados de LAC. El cultivo de anteras se utilizará para fijar rápidamente los genotipos superiores extraídos de estas poblaciones. Los mejoradores de los programas nacionales podrán evaluar y utilizar estas poblaciones para sus propias necesidades. La continuación de esta actividad después de 1995 dependerá de la disponibilidad de nuevas fuentes de financiamiento.

En 1993 se identificaron catorce fuentes parentales de alto potencial de rendimiento (Rice Program Ann. report 1993) y se cruzaron en diferentes combinaciones con el acervo genético de CIRAD-CA y WC 232<sup>5</sup>- Precoz (línea irrigada de CIAT) para formar nuevas poblaciones. Algunas de estas fuentes parentales (B4353C-KN-7-0-0-2, BG 989, PNA 114F4-33-1, OR 83-23, Perla (Cuba), RP 2087-115-10-5-1 y Morelos A88) no se han utilizado antes en nuestro programa de mejoramiento de riego y por lo tanto, representan nuevas fuentes de genes para ampliar la base genética de arroz de riego en LAC.

Existen diferencias entre estas nuevas poblaciones, principalmente en términos de su constitución genética y su fuente de citoplasma (Cuadro 2). Las poblaciones PCT-6, PCT-7 y PCT-8 son similares en el sentido de que comparten la misma fuente de esterilidad masculina (IR 36), mientras que RL 01 derivó su esterilidad masculina de una línea mutante de Tox 1011-4-1 obtenida a través de mutagenesis. Esta esterilidad masculina inducida se transfirió a través de retrocruzamiento a otra línea mejorada del CIAT (CT 6047-13-5-3-4M) para condiciones de riego; esta línea en particular se utilizó como el padre recurrente por su resistencia a varias enfermedades e insectos plagas, buen tipo de planta, alto potencial de rendimiento, y buena calidad de grano. La población PCT-6 se derivó de IRAT Mana (una población indica tropical desarrollada de la introducción de 15 genotipos bien

adaptados de las condiciones de la Guyana Francesa), mientras que las poblaciones PCT-7 y 8 tiene en esencia el mismo antecesor genético y se desarrollaron inicialmente de 9 genotipos indica. La semilla de las nuevas poblaciones base (PCT-6, PCT-7, PCT 8 y RL01) se aumentará para distribuir a contrapartes claves en la región en 1995. Aun más, se evaluaron los acervos genéticos IRAT MANA, IRAT 1/420, CNA-IRAT 4/2/1, IRAT Med A, y CNA-IRAT P/1/0 por su potencial de rendimiento y respuesta a cultivo de anteras. Se cosecharon plantas individuales en estas poblaciones y se sembraron en parcelas de dos surcos. Los datos de rendimiento se están analizando mientras que la respuesta al cultivo de anteras se discutirá junto con otras actividades relacionadas con el cultivo de anteras.

### 3. Biotecnología

**Cultivo de anteras de arroz.** Esta técnica ha resultado útil para acelerar la introgresión de características deseadas a poblaciones mejoradas lo cual implica un ahorro sustancial de tiempo. Trabajos previos realizados en CIAT indican que el cultivo de anteras (CA) ha demostrado ser útil para acelerar el desarrollo de germoplasma tolerante a bajas temperaturas con excelente calidad de grano; aumentar la recuperación de recombinantes útiles a partir de amplios cruces incluyendo resistencia a piricularia de arroz (*P. oryzae*) y al virus de la hoja blanca y tolerancia a sequía y facilitando la producción de líneas haploides dobles adecuadas para el mapeo de genes a partir de RFLP y PCR. La metodología optimizada (Sanint *et al.*, 1993; Lentini *et al.*, 1994) muestra un progreso significativo en varias líneas de investigación. A continuación se presentan las actividades principales cumplidas durante 1994.

**Utilización en cruces amplios y desarrollo de germoplasma tolerante al frío.** Estamos utilizando el cultivo de anteras para ayudar a ampliar la base genética del arroz de riego de LAC facilitando los cruces interespecíficos y la recombinación de genes. En esta actividad estamos ensayando el CA para aumentar la introgresión de nuevos genes resistentes a piricularia utilizando líneas desarrolladas por IRRI a través de su proyecto de amplia hibridación.

Este año el Laboratorio de Cultivo de Anteras de Arroz (LCAR) procesó 321 entradas para varios proyectos del programa de mejoramiento. Esto incluye 47.5% para selección recurrente (resistencia durable a piricularia), y cruces indica x japónica para el proyecto del nuevo tipo de planta de riego; 21% para germoplasma de sabana; 7.4% para el proyecto de estudios de linajes de piricularia; mientras 14.4% son poblaciones F1 y F2 de cruces realizados en IRRI para utilizarse en el mapeo de genes de las características relacionadas con tolerancia a sequía y submergencia.

**Factores genéticos que afectan la respuesta al cultivo de anteras.** Se realizaron

estudios sobre la genética de la respuesta del cultivo de anteras a través del análisis de herencia dialélica y de retrocruces utilizando 14 cruzamientos simples entre los genotipos índica (mala o ninguna respuesta) y japónica (buena respuesta). Se evaluaron las generaciones F1 (y su correspondiente cruce recíproco) y F2, y poblaciones con uno, dos o tres retrocruces a cada padre. También se evaluó la co-segregación de la respuesta al cultivo de anteras y el tipo de grano. Los resultados corroboran la simple herencia de la respuesta al cultivo de anteras reportado en otros trabajos. La mayoría de las generaciones F1 mostraron una respuesta intermedia entre padres con alta y poca respuesta (Cuadros 3 y 4). Por lo tanto, se sugiere que la buena respuesta al cultivo de anteras puede heredarse como una característica dominante incompleta. Se realizará un análisis más riguroso de los datos utilizando un análisis de medias generacional para determinar el número de genes y la herencia de esta característica. En algunos cruces se notaron efectos maternos (cruces con CT 8707, Cuadro 3) y efectos de habilidad combinatoria (cruces con CICA 8 respecto a aquellos con Oryzica 1, Cuadro 4). La respuesta al cultivo de anteras aumentó en el retrocruce al progenitor con buena respuesta (japónica), mientras ésta disminuyó en el retrocruce al progenitor de baja respuesta (índica), como se esperaba debido al simple control genético. Pero el nivel de decrecimiento en la respuesta al cultivo de anteras respecto al F1 depende del genotipo índica utilizado como progenitor del retrocruce (Cuadro 4). Los análisis de co-segregación indican que es posible recuperar plantas que combinan la alta respuesta al cultivo de anteras (cerca del 70% de inducción del callo y 90% de la regeneración de plantas verdes) y características de tipo de grano del arroz índica (cerca de 8.7 mm de largo) en la generación F2 y consecuentemente en la generaciones de retrocruces hacia el padre índica (Cuadro 5). Se recuperaron plantas con alta inducción de callo y/o regeneración de plantas verdes, y granos largos de las generaciones segregantes indicando que el gene que codifica la inducción del callo, regeneración de planta y longitud de grano segrega independientemente. Se seleccionaron algunas plantas que combinan buena respuesta al cultivo de anteras y tipo de grano índica y se utilizarán como padres para cruces con los genotipos con respuesta más baja. Los resultados indican que la buena respuesta al cultivo de anteras se puede transferir a los genotipos con mala respuesta. Por lo tanto, el desarrollo de un acervo genético índica con mayor respuesta al cultivo de anteras puede ser posible a través de la selección recurrente.

Se llevó a cabo un estudio para evaluar la contribución de la fuente de citoplasma en relación con la respuesta al cultivo de anteras utilizando varios cruces del programa de mejoramiento. Se utilizaron tres combinaciones de genotipos incluyendo 23 cruces índica/índica, 31 índica/japónica, y 31 japónica/índica. Los cruces índica/índica respondieron significativamente menos que los índica/japónica o los japónica/índica en cuanto a inducción del callo, número total de plantas/anteras y número de plantas verdes/anteras (Cuadro 6). No obstante que no son estadísticamente significativos, se notó una mejor respuesta para los

parámetros evaluados cuando se utilizó una japónica como madre, sugiriendo posibles efectos maternos dependiendo del genotipo utilizado (Cuadro 6). Por lo tanto en mejoramiento de arroz con cultivo de anteras, la inclusión de un padre japónica podría mejorar la aplicación de esta técnica.

#### **4. Resistencia Diversificada al Complejo *Tagosodes*/Hoja Blanca**

El virus de la hoja blanca de arroz (RHBV) causa severas epidemias recurrentes en los países Andinos, Centroamericanos y Caribeños de América Latina. Es transmitida por el *Tagosodes oryzicolus* el cual también causa serios daños mecánicos incluso cuando no es virulento. Usualmente los agricultores de arroz utilizan pesticidas para controlar el insecto vector, incluso cuando el problema no es aparente, como 'seguridad'.

**Resistencia al *Tagosodes* y al RHBV en poblaciones segregantes.** Esta actividad se realizó en conexión con el Proyecto 5 y su objetivo principal fue probar las poblaciones segregantes y las líneas avanzadas por su resistencia tanto al daño mecánico en sí y al RHBV. Se utilizó una técnica de campo para seleccionar líneas avanzadas mejoradas por su resistencia a RHBV. Los testigos susceptibles y resistentes se sembraron cada 40 líneas de prueba. Se utilizaron 10 jaulas, cada una con 100 materas para multiplicar la colonia vectora; las materas se llevaron luego al campo y se sacudieron sobre el material de prueba para esparcir el vector tan uniformemente como fuera posible; el porcentaje de insectos vectores en las colonias utilizadas para la selección en 1994A y 1994B fue de 85% y la presión de la enfermedad alta y muy uniforme como lo demuestra la reacción de los testigos susceptibles y resistentes.

Se evaluaron 7240 líneas mejoradas por su resistencia al RHBV y 2572 (35%) mostraron una reacción resistente (1-3); muchas de las líneas resistentes avanzadas se originaron de cruces que combinaban diferentes fuentes de resistencia a RHBV como Colombia 1, IRAT 122 y Colombia 1/M312A.

Se colectó una colonia de *Tagosodes* de la región del Tolima y se seleccionaron los virulentos. Se realizaron una serie de experimentos para comparar la colonia del CIAT con la formada con insectos virulentos del Tolima. El Cuadro 7 muestra los resultados de un experimento que involucró ocho variedades. El hallazgo más importante fue que las variedades resistentes son más susceptibles cuando se prueban con la colonia del Tolima. Para las variedades Colombia 1 y Llanos 5, el número de plantas infectadas fue significativamente más alto con el complejo vector/virus del Tolima que con la colonia vieja del CIAT. La variedad Colombia 1 fue la variedad más resistente al RHBV, y aun se considera un progenitor importante para el mejoramiento por resistencia a RHBV. Llanos 5 fue altamente susceptible 20 días después de la siembra y sólo mostró resistencia moderada 25

días después de la siembra pero aún el 17% de las plantas resultaron infectadas con el RHBV utilizando la colonia del Tolima.

La variedad Llanos 5 se ha cultivado ampliamente en el campo pero la resistencia al RHBV ha sido menor que la esperada. Las plantas tienen una etapa en la cual son susceptibles a la infección con RHBV. La utilidad de esta variedad podría extenderse con una sola aspersión de insecticida después de la emergencia de la plántula. La variedad es resistente al RHBV y Colombia 1 sigue siendo un componente importante en el programa de mejoramiento para RHBV.

La prueba para resistencia por daño mecánico causado por el *Tagosodes* se realizó bajo condiciones de invernadero utilizando la prueba estándar de selección por bandejas con una colonia libre de virus. Las líneas a probar se sembraron en bandejas de madera llenas con suelo; los testigos susceptible y resistente también se sembraron al azar en cada bandeja de semilla. Los insectos de la prueba, en número suficiente para matar los testigos susceptibles se distribuyeron uniformemente sobre las plántulas de 15 días de edad. El daño del insecto se calificó de acuerdo con el daño presentado por el cultivar susceptible. Se evaluaron 4484 líneas y 46% (2052) se clasificaron como resistentes (1-3). Se identificó un grupo de 360 líneas avanzadas resistentes tanto al daño del *Tagosodes* como al RHBV. En 1995 se distribuirá un vivero a los NARS, especialmente a aquellos países donde se han presentado problemas con RHBV.

**Genética de la Resistencia a *Tagosodes oryzae*.** Se estudió la herencia de la resistencia a *Tagosodes* en Makalioka y Mudgo; estos cultivares se cruzaron con IR8, una variedad susceptible. Con base en los datos de F1 y F3 (Cuadro 8) y en la reacción de los cultivares resistentes se propuso que la resistencia de ambos cultivares la controla un solo gene dominante (AA) acompañado por un gene modificador (BB). El gene modificador afecta la expresión de la resistencia dependiendo del genotipo de la planta y duración de la exposición al insecto. En el caso de Mudgo se sugirió que el gene modificador está presente en forma recesiva (bb) pero en forma dominante (BB) en Makalioka. En esta forma recesiva, el gene modificador acelera la expresión de la susceptibilidad a *Tagosodes*.

Adicionalmente se realizaron otros cruces para estudiar la resistencia en IRAT 120, IRAT 124 y Amistad 82; se está produciendo semillas F2 y F3 con el fin de realizar los estudios respectivos en 1995.

## Referencias

Sanint, L. R.; C. P. Martínez y Z. Lentini. 1993. Economic analysis of rice anther culture versus conventional breeding. Trends in CIAT commodities 1993. Working document No. 128:74-96.

Lentini, Z.; P. Reyes; C. P. Martínez; V. M. Núñez y W. Roca. 1994. Mejoramiento del Arroz con Cultivo de Anteras. Aplicaciones en el desarrollo de germoplasma adaptado a ecosistemas Latinoamericanos y el Caribe. CIAT, Cali, Colombia. p. 79.

**Cuadro 1.** Rendimiento promedio <sup>1</sup> (kg/ha) de varias líneas en el área del Tolima y en Colombia en ensayos regionales bajo condiciones de riego de 1992 a 1994<sup>2</sup>.

Líneas mejoradas /testigos	Localidades			Rendimiento promedio
	Meseta Ibagué	Tolima Sur	Huila	
CT 5748-38-2-1-2	6.597	5.356	6.183	6.045 f
CT 8008-16-10-10P	7.640	6.173	6.326	6.642 bc
CT 8008-16-3-3P	7.747	6.302	6.952	6.916 abc
CT 8837-1-17-9-2-1**	7.800	6.484	6.814	6.983 ab
CT 9162-12-6-2-2-1	8.503	6.077	6.869	7.055 a
IR 22	6.526	5.210	5.411	5.605 g
CICA 8	7.084	6.109	6.779	6.615 cd
ORYZICA 1	7.061	5.381	6.196	6.101 f
ORYZICA 3	7.731	5.322	6.404	6.505 de
ORYZICA LLANOS 5	6.966	5.427	6.727	6.270 ef
Ensayos <sup>1</sup> regionales (No.)	5	8	7	20

1. Diferencias al nivel 5% de acuerdo con la Prueba de Duncan.

2. Fuente: ICA/CORPOICA/FEDEARROZ.

\*\* Oryzica Yacu 9.

**Cuadro 3.** Respuesta al cultivo de anteras de cruzamientos entre CT 6241-17-1-5-1, Todoroki Wase e IR 43.

Progenitor del cruce	Callo (%) por antera	Plantas verdes (%) por callo
IR 43	0.0 d	0.0 d
CT 8707	0.0 d	0.0 d
CT 6241	19.8 b	43.9 a
Todoroki Wase	42.2 a	28.8 b
IR 43/CT 8707	0.0 d	0.0 d
CT 8707/IR 43	0.0 d	0.0 d
CT 6241/Todoroki	58.3 a	28.3 ab
Todoroki/ CT 6241	65.2 a	23.2 ab
CT 8707/Todoroki	2.2 bcd	0.0 d
Todoroki/CT 8707	15.9 bc	3.3 cd
CT 8707/CT 6241	6.6 bcd	3.3 cd
CT 6241/CT 8707	11.8 bcd	0.0 d
IR 43/Todoroki	15.4 b	12.3 bc
Todoroki/IR 43	17.9 b	12.8 b
Todoroki/IR 43 F2	12.7 bc	11.7 b
Todoroki/IR 43//IR 43	5.2 c	7.2 c
Todoroki/IR 43//Todoroki	24.9 b	17.6 b
IR 43/CT 6241	13.9 bc	11.9 bc
CT 6241/IR 43	13.4 bc	22.1 b
CT 6241/IR 43 F2	4.5 cd	7.5 b
CT 6241/IR 43//IR 43	5.4 c	7.9 b
CT 6241/IR 43//CT 6241	12.3 bc	15.9 b

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de K-ratio de Waller-Duncan,  $p \leq 0.01$ .

**Cuadro 2.** Nuevas poblaciones base constituidas para el ecosistema de riego tropical en LAC.

Población original	Población fuente	Nombre de nueva población	Cultivares introducidos en la nueva población
IRAT MANA	CIRAD-CA	PCT-6	B4353C-KN-7-0-0-2, BG 989, El Paso 144, PNA 1004F4-33-1, Oryzica Llanos 4, OR 83-23, Perla (Cuba), Oryzica 3, Morelos A88, RP 2087-115-10-5-1
IRAT 1/420P	CIRAD-CA	PCT-7	Oryzica 3, B4353C-KN-7-0-0-2, BG 989, PNA 1004F4-33-1, OR 83-23, RP 2087-115-10-5-1
CNA-IRAT 4/2/1	EMBRAPA/ CIRAD-CA	PCT-8	Oryzica 3, Oryzica Llanos 4, BG 989, Perla (Cuba), El Paso 144, y B4353C-KN-7-0-0-2
WC 232 <sup>5</sup> - Early (CT 6047-13- 5-3-4-M <sup>5</sup> )	CIAT	RL01	B4353C-KN-7-0-0-2, CT 6241-17-1-5-1, BG 989, Oryzica Turipana 7, PNA 1004F4-33-1, 5685, OR 83-23, Perla (Cuba), RP 2087-115-10-5-1, BR IRGA 410, BG 90-2, El Paso 144, Oryzica 3 y Morelos A88

**Cuadro 4.**

Respuesta al cultivo de anteras de cruzamientos entre CT 6241-17-1-5-1, Oryzica 1 y CICA 8.

Genotipo o cruce	Inducción (%)	Regeneración de plantas verdes (%)
Oryzica 1	0.0 h	0.0 d
CICA 8	1.2 fgh	1.0 d
CT 6241	33.9 a	11.8 abc
CT 6241/CICA 8 F1	19.4 bc	23.4 a
1 BC CICA 8	13.5 bc	4.6 bcd
2 BC CICA 8	5.9 def	2.8 cd
3 BC CICA 8	5.2 def	9.5 abc
1 BC CT 6241	17.4 bc	9.5 abc
2 BC CT 6241	12.2 bc	9.3 abc
3 BC CT 6241	22.5 ab	16.5 ab
CT 6241/Oryzica 1 F1	31.6 a	15.3 ab
1 BC Oryzica 1	2.4 fgh	4.6 bcd
2 BC Oryzica 1	0.6 gh	0.3 d
3 BC Oryzica 1	0.3 h	0.3 d
1 BC CT 6241	10.4 bcd	9.8 abc
2 BC CT 6241	29.3 ab	13.9 abc
3 BC CT 6241	12.1 bcd	16.0 abc

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de K-ratio de Waller-Duncan,  $p \leq 0.01$ .

**Cuadro 5.** Descendencia de las plantas seleccionadas de los cruces Todoroki/IR 43 F2, Todoroki/IR 43//IR 43, y Todoroki/IR 43//Todoroki que muestran cosegregación de alta respuesta al cultivo de anteras (del progenitor japónica) y granos largos de arroz (del progenitor indica).

Genotipo	Callo/antera (%) Promedio (Rango)	Plantas verdes/callos (%) Promedio (Rango)	Longitud del grano (mm) Promedio (Rango)
IR 43	0.0(0.0)	0.0(0.0)	8.5 (8.0-9.0)
Todoroki Wase	42.2(16.7-96.7)	28.8(7.0-60.0)	6.7(6.2-7.1)
Todoroki/IR 43 F2	12.7(0-69.4)	11.7(0-82.5)	7.4(6.0-8.3)
BC IR 43	5.2(0.-50.0)	7.2(0-50.0)	8.1(7.1-8.8)
BC Todoroki	24.9(0.71.7)	17.6(0-90.0)	7.0(6.5-7.9)
Todoroki/IR 43 F2 Plant No.			
3-13	69.4	9.7	8.2
3-20	10.5	61.1	7.8
3-24	13.6	14.0	8.3
3-26	50.0	0.0	7.8
4-6	2.8	65.0	7.7
4-8	2.8	40.0	7.6
4-12	10.2	0.0	7.7
4-17	34.7	12.5	7.9
4-25	11.3	4.0	7.8
BC IR 43 Plant No.			
3-13	12.5	0.0	8.7
3-17	8.6	38.0	8.2
3-21	44.4	1.8	7.7
3-26	6.1	90.0	8.7
4-13	1.8	12.5	7.8
4-19	1.3	55.6	8.3
BC Todoroki Plant No.			
3-23	25.4	18.0	7.9

**Cuadro 6.** Influencia de la fuente de citoplasma en la respuesta del cultivo de anteras. Laboratorio de cultivo de anteras del CIAT.

Variable de Respuesta	Valor promedio (tipo de cruce) <sup>1</sup>			Promedio total	Prob>Chisq <sup>2</sup> H <sub>0</sub> : $\mu_i = \mu_j$
	♀ <sub>i</sub> + ♂ <sub>i</sub>	♀ <sub>i</sub> + ♂ <sub>j</sub>	♀ <sub>j</sub> + ♂ <sub>i</sub>		
Inducción de Callos	2.88b	23.72 a	34.03 a	21.84	0.0001
Total No. Plantas/callos	17.94	12.34	20.38	16.96	0.3289
Total No. Plantas/anteras	0.48b	4.59 a	10.46 a	6.44	0.0056
Plantas verdes/total No. plantas	45.56	49.32	51.93	50.10	0.8245
Plantas verdes/callos	13.25	6.93	12.33	10.50	0.3730
Plantas verdes/anteras	0.23b	2.95 a	7.61 a	4.53	0.0211

1. Valores con la misma letra no son significativamente diferentes.

2. Nivel de significancia según la prueba de Kruskal-Wallis'.

♀<sub>i</sub> = progenitor femenino es índica; ♂<sub>j</sub> = progenitor masculino es japónica.

**Cuadro 7.** Comparación de ocho variedades de arroz inoculadas con un intervalo de cinco días después de la siembra. La colonia del CIAT es el complejo vector/virus y se compara con una colonia recientemente establecida con sogata vectores del virus colectado en el valle del Tolima. El porcentaje (%) se calculó dividiendo las plantas infectadas por el número total de plantas en ensayos individuales.

Variedad	Colonia CIAT Fecha de inoculación*				Colonia del Tolima Fecha de inoculación*				
	Días				Días				
	10	15	20	25	15	20	20	25	
Blubonnet	96%	94%	77%	91%	7	3	66%	71%	56%
Llanos 5	15%	0%	1%	0%	4	6	38%	50%	13%
Colombia 1	7%	0%	1%	1%	4	9	16%	15%	17%
Oryzica 1	33%	15%	7%	14%	3	7	27%	25%	28%
IRAT-124	32%	34%	21%	12%	5	7	35%	42%	33%
CICA 8	79%	47%	62%	55%	6	7	57%	66%	70%
CT 8008	41%	32%	24%	15%	5	7	32%	51%	45%
CT 8837	60%	34%	49%	37%	5	9	48%	45%	45%

\* Las fechas son días después de la siembra.

**Cuadro 8.** Análisis de familias F3 en cruces IR 8/Mudgo, IR 8/Makalioka, y Makalioka/Mudgo basados en la reacción al daño mecánico causado por *Tagosodes orizicolus*.

Clasificación fenotípica	IR 8/Mudgo			IR 8/Makalioka			Makalioka/Mudgo		
	Obs.	Exp.	X <sup>2</sup>	Obs.	Exp.	X <sup>2</sup>	Obs.	Exp.	X <sup>2</sup>
Familias heterogéneas **	80	75	0.33	79	75	0.21	99	100	0.02
Familias homogéneas susceptibles	20	25	1	21	25	0.64	1	0	
Total	100	100		100	100		100	100	
X <sup>2</sup> observadas			1.33			0.85			0.02
X <sup>2</sup> tabular			3.84			3.84			3.84

Obs. = Valor observado.

Exp. = Valor esperado.

\*\* Familias que presentan plantas susceptibles y resistentes en diferentes proporciones.