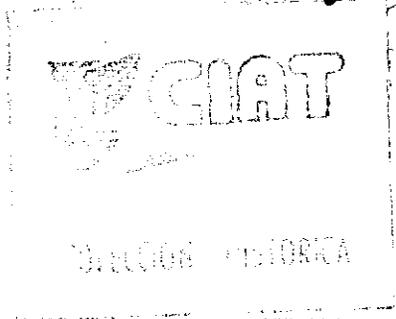


149

**Convenio de Cooperación Técnica y Científica entre el
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de
Colombia y el Centro Internacional de Agricultura
Tropical - 1995-1998**



**Sistemas de Producción
Agropecuarios Sostenibles para los
Llanos Orientales y la Región
Amazónica Colombiana**

Informe Técnico 1995

Marzo 1996

S
540
.8
.C4
S5

CIAT
Centro Internacional de Agricultura Tropical
International Center for Tropical Agriculture

**Convenio de Cooperación Técnica y Científica entre el
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de
Colombia y el Centro Internacional de Agricultura
Tropical - 1995-1998**

S
540
.8
.04
85

**Sistemas de Producción
Agropecuarios Sostenibles para los
Llanos Orientales y la Región
Amazónica Colombiana**



21877

Informe Técnico 1995

Marzo 1996

CONTENIDO

Resumen Ejecutivo

I. Actividades de Investigación en Forrajes Tropicales	1
- Mejoramiento de la Base de Recursos Genéticos de Pastos Tropicales	4
- Ecotipos Forrajeros con Adaptación Ambiental Conocida	14
- Atributos Adaptativos a Suelos Acidos	23
- Ecotipos con Alta Calidad Forrajera	31
- Actividades de Investigación en Arroz	75
- Mejoramiento de Brachiaria	39
- Mejoramiento de Arachis	46
- Mejoramiento de Stylosanthes	55
- Componentes para Sistemas de Producción	64
II. Actividades de Investigación en Arroz	75
- Mejoramiento de Arroz para Incrementar Volumen y Eficiencia en la Producción	78
- Mejoramiento de Germoplasma para Arroz Secano	87
- Resistencia Durable al Añublo	90
- Mejoramiento para Control de Malezas	98
- Manejo Integrado de Plagas y de Cultivo	106
III. Actividades de Investigación en Maíz	114
- Desarrollo de Tecnologías para Sistemas de Producción Sostenibles con Maíz en los Llanos Orientales	114
IV. Actividades de Investigación del Trópico Bajo	119
- Encuesta de Diagnóstico y Planeación de la Investigación para la Amazonía y Sabanas Bajas	122
- Causas y Consecuencias Socioeconómicas y Ecológicas del Cambio en el Uso del Suelo en la Altillanura Colombiana	130
- Prototipos de Sistemas Sostenibles de Cultivos para los Llanos	135
- Comprensión de los Mecanismos y Modelos de Procesos Químicos, Físicos y Biológicos del Suelo en Sistemas de Producción Agropastoril y de Cultivos	142
V. Impacto Potencial y Monitoreo de los Proyectos del Convenio	149

RESUMEN EJECUTIVO

Como una de las estrategias para promover el desarrollo del sector agropecuario, el gobierno de Colombia decidió, a través del Ministerio de Agricultura, celebrar un convenio especial de cooperación técnica y científica para apoyar financieramente las actividades de investigación adelantadas por el CIAT, dentro de su mandato en el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAI). Este programa comenzó en 1994 y tiene una duración de cuatro años con posibilidades de prórroga.

El convenio está enmarcado dentro de un Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria, con prioridad hacia los Llanos Orientales y la Región Amazónica. Se sustenta en los principios de eficiencia y competitividad de la producción agropecuaria, conservación de la base de recursos naturales y del medio ambiente y la equidad social.

En este informe se incluye el trabajo ejecutado durante 1995 en los 18 proyectos seleccionados. Los proyectos están dirigidos hacia la investigación en forrajes tropicales, arroz y maíz, los cuales servirán de base para la investigación que se lleva a cabo en el trópico bajo. Los resultados obtenidos permitirán el diseño de sistemas de producción alternativos en las sabanas de suelos ácidos y en las áreas tropicales bajas.

La investigación se orienta hacia la búsqueda de alternativas que sean rentables y viables para el país y para el productor. En este sentido se coloca especial énfasis en la evaluación del impacto socioeconómico potencial de los proyectos cofinanciados por Colombia y en el monitoreo de los procesos de adopción de las nuevas tecnologías.

INFORME DE LOS PROYECTOS

Forrajes Tropicales: En América Tropical el 79 % de la tierra agrícola (420 millones de hectáreas) es usada para pastos. El ganado de carne, leche y de doble propósito representa el 81% del total del ganado de América Latina y el 70% del total de la producción de carne y leche. La baja calidad y las fluctuaciones estacionales en la oferta de forrajes son las principales barreras para una producción más eficiente. Gran parte de esta área está considerada como degradada en términos de productividad animal, invasión de especies indeseables y pérdida de la productividad del suelo. Se han seleccionado varias especies claves por su adaptación a suelos ácidos e infértiles en las tierras bajas del trópico americano. Dichas especies contribuyen a aumentar la disponibilidad de forraje y mejorar la fertilidad del suelo en los sistemas de producción agropecuaria.

Todas las accesiones de gramíneas y leguminosas colectadas en Colombia y otros países se están multiplicando y estarán en a disposición del banco de germoplasma nacional; se está identificando y evaluando el germoplasma forrajero productivo para lo diferentes sistemas de producción en las ecoregiones seleccionadas. Como resultado de estas actividades se ha adquirido nuevo germoplasma de *Arachis* y *Cratylia argentea* para ampliar la base genética disponible de estas especies. Se identificaron accesiones de diferentes especies de leguminosas para sistemas de producción cultivo-pasturas en los Llanos Orientales.

Se están identificando atributos de la planta que confieran tolerancia a suelos de baja fertilidad, demostrándose que las pasturas basadas en leguminosas no sólo pueden mejorar el ciclo del N, sino también estimular el ciclo de los otros nutrientes como calcio.

Se está investigando el valor alimenticio de nuevas especies forrajeras para suelos ácidos en los trópicos subhúmedo y húmedo, demostrándose que las mezclas de leguminosas arbustivas, con y sin taninos, utilizadas para alimentar ovinos como suplemento a gramíneas de baja calidad, aumentaron el flujo y la absorción aparente de N en el intestino delgado, pero la retención de éste no aumentó. También se demostró que la variación genotípica en digestibilidad entre *Brachiaria spp* y la estabilidad de este atributo a través de ambientes contrastantes y además que un alto incremento en la producción de pasturas con *Stylosanthes guianensis* (híbrido) asociado con gramíneas.

En fitomejoramiento se ha continuado con la hibridación y selección de líneas de *Brachiaria*. Los clones apomicticos seleccionados de poblaciones mejoradas se incluyeron en ensayos de pastoreo de pequeñas parcelas en Carimagua y Caquetá. Se identificaron marcadores moleculares ligados con el gen de apomixis en una población híbrida.

En cuanto a *Arachis* se están suministrando semillas de ecotipos promisorios para pruebas regionales en diferentes zonas ecológicas de Colombia. La evaluación multilocacional del germoplasma recientemente introducido a Colombia, destaca el potencial agronómico de varias accesiones nuevas, entre ellas *A. pintoii* CIAT 22160, 18744, 18751 y 18747.

Una nueva accesión de *Stylosanthes guianensis* (híbrido) se está evaluando a nivel de fincas de los llanos de Colombia. Se identificaron genotipos de *Stylosantes* vigorosos y promisorios para resistencia de antracnosis. Se demostró que aislamientos que causan síntomas de antracnosis en *Stylosantes spp.* producen enzimas que degradan la pared celular, lo que parece estar relacionado con virulencia.

Con el fin de asegurar la adopción de los nuevos componentes forrajeros se está evaluando su comportamiento en sistemas de producción conocidos, encontrándose que en las sabanas, *Arachis pinto* CIAT 22160 es más competitivo que *A. pinto* cv. Maní Forrajero (CIAT 17434) en sistemas cultivos-pasturas.

Arroz: En Colombia el arroz es la principal fuente de calorías y proteína para el 20% de la población de menores ingresos. Las variedades de arroz en este momento están llegando a sus topes potenciales de rendimiento y se requieren variedades con rendimientos más estables y resistentes a las principales plagas y enfermedades. En 1995 se lanzó la segunda variedad, *Oryzica Sabana 10*, especialmente adaptadas para suelos ácidos de los Llanos Orientales.

Se están desarrollando poblaciones mejoradas con alto potencial de rendimiento y tolerancia a las principales plagas y enfermedades, y adaptado a las condiciones de sabanas con suelos ácidos. Se continuó con el estudio de varios componentes en el sistema arroz-pyricularia que pueda conducir al desarrollo de estrategias de mejoramiento para obtener una resistencia estable al patógeno e implementar medidas efectivas para la liberación de dicha resistencia. Se están desarrollando alternativas de manejo de malezas que sean económicas, compatibles con el medio ambiente y de fácil adopción. Se continuó con los estudios de resistencia al herbicida Propanil en poblaciones con malezas de *Echinoloa colona*.

Algunos de los resultados sobresalientes son: La constitución del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR) con la participación de cuatro países (Brasil, Colombia, Uruguay y Venezuela), del IICA y del CIAT. Se realizó un taller para mejoradores de arroz en el cual participaron 100 investigadores de 20 países. Los estudios sobre herencia y disección de genes de resistencia al añublo en la variedad *Oryzica Llanos 5* permitieron producir durante 1995 un total de 248 líneas recombinantes.

Maíz: Este cultivo es una opción para los agricultores de los Llanos ya que el 65% se consume directamente como alimento en el sitio que se produce, evitando los costos de transporte que son altos dada la falta de una infraestructura vial apropiada. Sin embargo, hasta ahora el maíz no ha sido sembrado extensamente debido a la falta de un sistema sostenible de cultivo tolerante a la acidez.

En 1995 el CIMMYT se ha continuado con el desarrollo de variedades e híbridos tolerantes a la acidez del suelo del maíz tropical. Se evaluaron 1802 líneas del Programa de Colombia, 305 del Programa de México en condiciones de suelos ácidos y no ácidos de Brasil, Colombia y Tailandia. Se identificó un total de 49

líneas a fin de localizar marcadores moleculares para tolerancia a suelos ácidos.

Algunos de los resultados sobresalientes son: el desarrollo de siete variedades de polinización libre, tolerantes a suelos ácidos. El desarrollo de aproximadamente 180 líneas tolerantes. El ensayo internacional en 17 ambientes que muestran superioridad de nuevas variedades a la ICA V-110 en suelos ácidos.

Trópico Bajo: Las sabanas neotropicales constituyen la última frontera agrícola del mundo. Las sabanas de América del Sur se extienden sobre 250 millones de hectáreas. El CIAT ha estado trabajando en el desarrollo variedades mejoradas y prácticas de manejo de cultivos como forrajes, arroz, maíz para suelos ácidos. El resultado de estas investigaciones serán la base para el desarrollo de sistemas de producción alternativos para esta zona. Se han evaluado varios sistemas contrastantes de producción prototipo en los Llanos Orientales.

La introducción de pastos sembrados y cultivos en la Orinoquia conlleva el riesgo de pérdida de comunidades vegetales potencialmente importantes en términos de biodiversidad y de funciones ecológicas. Anticipando dichos riesgos, se ha realizado un análisis factorial de correspondencia, con 104 reconocimientos florísticos elaborados durante la investigación de 29 sitios, lo cual permitió caracterizar 8 grupos de vegetación. Durante el estudio se colectaron 190 especies de 114 géneros y 41 familias.

Se están identificando procesos químicos, físicos y biológicos limitantes en el suelo y desarrollo de indicadores de la calidad del mismo y se está trabajando en modelos integrados de sistemas suelo-planta, mejoramiento del reciclado de nutrientes, prevención, y recuperación de suelos degradados. Como resultado se han obtenido avances significativos en la identificación de procesos claves del suelo que intervienen en la producción agropastoril y de cultivos, mediante una combinación de experimentos satélite complementarios en los Llanos Orientales de Colombia.

Con el fin de analizar las consecuencias socioeconómicas y ecológicas por el cambio del uso del suelo se ha iniciado una investigación en 98 fincas localizadas en las sabanas de la altillanura Oriental de Colombia. Se determinó que el cambio más importante se registra en la evolución del sistema de producción extensivo tradicional hacia el sistema semi-intensivo mejorado en la producción de bovinos. Se efectuaron distintos análisis de simulación con un modelo de finca ganadera y se concluyó que la fuerza dominante en la intensificación del uso del suelo ha sido el significativo incremento en la valoración de la tierra.

EVALUACION DE LOS PROYECTOS

Impacto Socioeconómico y Ambiental de los Proyectos.

Los proyectos agropecuarios deben ser evaluados empleando criterios múltiples: 1) Eficiencia económica para garantizar un uso eficiente de los recursos financieros y técnicos escasos. 2) Equidad para identificar en que medida los beneficios del cambio tecnológicos se distribuyen en la sociedad y 3) Sostenibilidad para determinar en que medida las nuevas tecnologías afectan la capacidad productiva de los recursos y el medio ambiente.

Eficiencia Económica

Evaluando la eficiencia económica en términos del valor presente neto de sus beneficios (VPN) se encuentra que los proyectos cofinanciados por Colombia presentan altas relaciones Beneficio-Costo (**B/C**). En el caso de los proyectos de forrajes tropicales: 1) *Brachiarias* mejoradas, 2) Sistemas de pasturas basadas en *Arachis*, 3) Sistemas de pasturas basadas en *Stylosanthes* y 4) Sistemas integrados de pastos cultivos la relación **B/C** en todos los casos es superior a 1:100.

En el caso de los proyectos arroz: 1) Mejoramiento de germoplasma para arroz de secano, 2) Resistencia durable añublo , 3) Mejoramiento de control de malezas, 4) Manejo integrado de plagas y 5) Mejoramiento de arroz para riego las relaciones **B/C** están en el rango 1:23 - 1:100.

Equidad

En el caso de los proyectos forrajes tropicales, se estima que en Colombia como consecuencia de la adopción de las nuevas tecnologías de pasturas, los grupos sociales de menor ingreso (consumidores pobres y productores pequeños) recibirían beneficios por un valor presente de US \$122 millones, equivalente a casi un tercio de los beneficios totales estimados para el país.

Para los proyectos de arroz las estimaciones sobre equidad indican que los grupos sociales de menores ingresos recibirían beneficios por un valor presente neto de US \$ 39 millones, equivalentes al 29% de los beneficios totales estimados para Colombia.

Sostenibilidad

En el diseño de las tecnologías se coloca particular atención a los aspectos relacionados con la sostenibilidad de los sistemas agropecuarias, buscando alternativas que permitan reducir el uso de insumos químicos, mejorar las condiciones físicas y químicas de los suelos y contrarrestar los procesos de erosión, deforestación y degradación de los recursos. Uno de los grandes retos de la investigación en este campo, es poder identificar y cuantificar indicadores de sostenibilidad a diferentes niveles, micro y macro.

Monitoreo de la Adopción

Aparte de los estudios de impacto potencial de los proyectos se está haciendo un gran esfuerzo por documentar los procesos de adopción de las nuevas tecnologías. Esta clase de estudios es esencial para identificar en fases tempranas los cuellos de botella para la adopción y diseñar estrategias para eliminarlos.

Monitoreo de la adopción de *A. pintoí* en Colombia. En colaboración con varias instituciones nacionales se efectuó un sondeo a nivel nacional. La encuesta revela que los productores están ensayando el nuevo material para diferentes usos, casi el 70% se encuentra satisfecho con los resultados obtenidos, casi el 70% de quienes han ensayado planea ampliar las siembras. El hecho de existir problemas de poca tolerancia a la sequía y falta de agua, justifica los esfuerzos para continuar evaluando otros ecotipos de *Arachis* con mayor adaptación.

Sistemas de pasturas basadas en leguminosas en márgenes de bosques de Caquetá. En el piedemonte andino de la cuenca amazónica del Caquetá, existe aproximadamente 1 millón de ha. totalmente deforestadas. Existe un proyecto colaborativo interinstitucional a demostrar la factibilidad técnica y económica de intensificar la producción en los sistemas del área de referencia. Aparte del trabajo técnico se tienen previstas actividades de evaluación del impacto ex-ante de las nuevas tecnologías, así como el monitoreo del proceso de adopción.

Encuesta semestral de arroz: El programa de arroz participa en la encuesta semestral de **Fedearroz** para conocer la situación del cultivo en diferentes sistemas y regiones del país.

Encuestas en los Llanos Orientales: e viene desarrollando desde hace varios años una serie de encuestas a productores de los Llanos Orientales para identificar sistemas de producción, usos de la tierra, estructura de costos y difusión de las nuevas tecnologías.

Capacitación: Durante el período 1994/95 recibieron adiestramiento y capacitación 79 profesionales nacionales, vinculados a diferentes instituciones públicas y privadas del país. De ese total 25 profesionales (32%) fueron adiestrados en programas que tienen proyectos cofinanciados por Colombia.

El adiestramiento de profesionales nacionales dentro de Programas de CIAT que tienen proyectos cofinanciados por Colombia, es importante porque permite fortalecer la capacidad del país, para desarrollar en el futuro Programas similares al del Convenio Ministerio- CIAT en otras regiones del país.

I. ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN EN FORRAJES TROPICALES

RESUMEN

Los proyectos del Programa de Forrajes Tropicales (PFT) cofinanciados por Colombia son:

1. Mejoramiento de la base de recursos genéticos de pastos tropicales.
2. Ecotipos forrajeros con adaptación ambiental conocida.
3. Atributos adaptativos a suelos ácidos.
4. Ecotipos con alta calidad forrajera.
5. Mejoramiento de *Brachiaria*.
6. Mejoramiento de *Arachis*.
7. Mejoramiento de *Stylosanthes*.
8. Componentes para sistemas de producción.

Los ocho proyectos del PFT están íntimamente relacionados entre sí. Es así como los proyectos 1, 2, 3, y 4 contribuyen al resultado de los proyectos 5, 6 y 7. El proyecto 8 se alimenta de cultivares forrajeros identificados en los proyectos 4, 5 y 6, que luego se incorporan en diferentes sistemas de producción.

Con el fin de analizar la rentabilidad de los proyectos del PFT se realizó un análisis ex-ante sobre el impacto potencial de la investigación en el desarrollo de nuevos cultivares de forrajes y su utilización en sistemas de producción en diferentes agroecosistemas. Un resumen de este análisis se incluye en el informe de progreso como. **"Impacto potencial y monitoreo de los proyectos del programa de investigación Colombia-CIAT"**.

La contribución directa o indirecta a Colombia de los proyectos del PFT se resume a continuación:

Proyecto: MEJORAMIENTO DE LA BASE DE RECURSOS GENÉTICOS DE PASTOS TROPICALES

Las accesiones de especies forrajeras mantenidas en el banco de germoplasma del CIAT han sido documentadas en el "Catálogo de germoplasma de Colombia". Además, se está adelantando un estudio sobre la representación en el banco de germoplasma de los géneros y especies de gramíneas tropicales. Todas las accesiones de gramíneas y leguminosas colectadas en Colombia y otros países se están multiplicando y estarán a disposición del banco de germoplasma nacional.

Proyecto: ECOTIPOS FORRAJEROS CON ADAPTACIÓN AMBIENTAL CONOCIDA

Este proyecto ayuda a definir las necesidades de germoplasma para diferentes

nichos ecológicos y sistemas de producción, lo cual se hace a través del proyecto: "Mejoramiento de la base de recursos genéticos de pastos tropicales". En el momento, se han hecho esfuerzos para la consecución de leguminosas arbustivas de uso múltiple para sistemas de finca en laderas, márgenes de bosque y zona Caribe de Colombia. Hemos acordado proveer semilla y entrenamiento técnico para personal de CORPOICA en el tema de evaluación y selección de germoplasma forrajero herbáceo y arbustivo.

Proyecto: ATRIBUTOS ADAPTATIVOS A SUELOS ÁCIDOS

Tanto estudiantes de tesis de la Universidad Nacional de Colombia, Palmira, como personal de CORPOICA se están capacitando en CIAT en aspectos relacionados con nutrición de plantas y manejo de la fertilización y al mismo tiempo estamos suministrando apoyo a los proyectos de CORPOICA dentro del Plan de Modernización de la Ganadería.

Proyecto: ECOTIPOS CON ALTA CALIDAD FORRAJERA

Se está ofreciendo capacitación para estudiantes colombianos de pregrado y maestría en temas metodológicos relacionados con selección de plantas forrajeras con factores antinutricionales y en evaluación de forrajes con animales. La metodología que se está desarrollando en estos trabajos de tesis será útil para proyectos CORPOICA-CIAT relacionados con estudios sobre el valor forrajero de arbustos nativos de Colombia.

Proyecto: MEJORAMIENTO DE *BRACHIARIA*

El personal del PFT del CIAT participa en la "Red Colombiana de Evaluación de *Brachiaria*", cofinanciada por el Fondo de Ganado. En esta Red se incorporarán nuevos genotipos de *Brachiaria* seleccionados por producción de biomasa, calidad nutritiva, tolerancia a sequía y resistencia a salivazo. En 1996, se iniciará un proyecto colaborativo con CORPOICA sobre Ecología del salivazo en la Costa Norte de Colombia.

Proyecto: MEJORAMIENTO DE *ARACHIS*

Algunas especies de leguminosas originarias de Suramérica como es el caso de *Arachis pintoi*, que no se encuentran en la flora nativa colombiana, ofrecen un gran potencial para la producción bovina y como cobertura en cultivos anuales y plantaciones. En Colombia CORPOICA liberó en 1992 el *A. pintoi* cv. Maní Forrajero; sin embargo, el PFT ha encontrado ecotipos de *A. pintoi* más vigorosos, resistentes a la sequía y competitivos con gramíneas y malezas agresivas que el cultivar comercial. Se tiene contemplado un plan para lograr la liberación de nuevos cultivares de *A. pintoi* en Colombia a través de CORPOICA. Mientras

tanto, el CIAT está suministrando las semillas de ecotipos promisorios para pruebas regionales en diferentes zonas ecológicas de Colombia.

Proyecto: MEJORAMIENTO DE *STYLOSANTHES*

Los cultivares de *Stylosanthes* liberados en Colombia no han sido exitosos, en parte debido a la pobre persistencia bajo pastoreo. Una nueva accesión de *S. guianensis* (híbrido) se está evaluando a nivel de fincas de los Llanos de Colombia.

Proyecto: COMPONENTES PARA SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

La meta de este proyecto es la de desarrollar componentes forrajeros de uso múltiple para diferentes sistemas de producción agropecuaria. Estos componentes forrajeros deben no solamente contribuir a mejorar la alimentación del ganado sino también a mejorar el suelo como se ha demostrado en experimentos de pastoreo de largo plazo en Carimagua, Llanos de Colombia. Esta investigación en componentes forrajeros se lleva a cabo en colaboración con CORPOICA y organizaciones de productores a nivel de finca. El proyecto colaborativo NESTLE-CORPOICA-U. de la Amazonía-CIAT en el Caquetá es visto como un modelo para el desarrollo de proyectos futuros de ajuste y transferencia de tecnología de sistemas mejorados de pasturas en sistemas doble propósito. Por otra parte, el PFT está desarrollando sistemas mejorados de alimentación en época seca para ganado doble propósito en la zona Central Pacífica de Costa Rica. Este esfuerzo se considera que va a generar información útil para productores de ganado en la zona Caribe de Colombia.

Existe la oportunidad de que Colombia a través de CORPOICA sea un miembro activo de un consorcio denominado "Tropileche" que está liderando el CIAT. El consorcio tiene como objetivo ser una plataforma para la formulación y ejecución de proyectos de investigación para mejorar sistemas de ganado doble propósito en el trópico.

El éxito de los proyectos cofinanciados por Colombia, por supuesto, también depende de otras unidades de apoyo y programas en el CIAT, incluyendo la biblioteca, las unidades de comunicaciones y documentación, Biometría y Uso de Tierras.

La meta en el PFT es desarrollar investigación que sea complementaria a la que se está llevando a cabo por las organizaciones nacionales, incluyendo CORPOICA. En algunos casos hemos colaborado en actividades conjuntas y en otras ocasiones simplemente a través del suministro de semilla experimental, asistencia técnica y revisión de proyectos que están desarrollando organizaciones nacionales de investigación.

1. Título: FD01 - Mejoramiento de la Base de Recursos Genéticos de Pastos Tropicales

2. Coordinadora del Proyecto: Brigitte L. Maass

3. Justificación

Los principales adelantos en el mejoramiento de germoplasma en forrajes tropicales se han alcanzado mediante la explotación de la diversidad fitogenética natural entre y dentro de las especies. Esta es todavía un área importante para el mejoramiento de germoplasma. La adquisición, caracterización y conservación de un banco de germoplasma integral de especies de leguminosas y gramíneas silvestres con potencial forrajero seguirá siendo una actividad importante para aumentar la disponibilidad de especies tropicales para el uso en la alimentación animal, además muchas de las especies que se mantienen en el banco de germoplasma han mostrado potencial para ser usadas en cobertura y control de erosión y así contribuir para un mejor manejo de los recursos naturales.

4. Objetivo

El objetivo principal es adquirir, incrementar, caracterizar y conservar, germoplasma con potencial forrajero productivo para diferentes sistemas de producción en ecoregiones seleccionadas.

Principales Actividades

Las principales actividades están centradas en el manejo de la colección de germoplasma de forrajes.

Actividades que, en su mayor parte, son realizadas por la Unidad de Recursos Genéticos (URG) en colaboración con el Programa de Forrajes Tropicales (PFT).

5. Logros esperados

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1. Adquisición | 4. Manejo y documentación de datos |
| 2. Conservación | 5. Rhizobium y Mycorrhizae |
| 3. Caracterización e identificación | 6. Red de recursos genéticos de forrajeras |

6. Resumen de los resultados en 1995

Aspectos sobresalientes (1994-1995)

- Adquisición de nuevo germoplasma de *Arachis* y *Cratylia argentea* para ampliar la base genética disponible de estas especies.
- Publicación y distribución del catálogo de germoplasma originado en Colombia.
- Reunión internacional de grupos de trabajo para establecer una red sobre recursos genéticos de forrajeras.
- En las revisiones internas y externas de las operaciones del banco de germoplasma, se documentó la necesidad de mejorar la URG del CIAT. Las principales necesidades se determinaron en el área de conservación: procesamiento de accesiones con semilla original que no ha sido multiplicada ó incrementada por primera vez, duplicados de seguridad, viabilidad de semilla y pruebas de sanidad de semilla, almacenamiento a largo plazo e investigación en fisiología de semilla.

Eventos y Nuevas Iniciativas

Revisiones. Se colocó gran parte de los recursos genéticos forrajeros tropicales mantenidos en el Banco de Germoplasma del CIAT (15,448 accesiones de 631 especies) y ensambladas antes de la Convención de Diversidad Biológica, bajo la custodia legal de la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), al firmar un convenio entre este organismo y el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCAI) en octubre de 1994. Este convenio proporciona acceso libre a este germoplasma y compromete al CIAT para conservar el germoplasma designado, de acuerdo con las normas internacionales estándar.

'SINGER'. La red de información de recursos genéticos del GCAI (SINGER, acrónimo en inglés) se encuentra en el proceso de desarrollar un mecanismo para el manejo y uso de los datos de recursos genéticos a través del Sistema. El CIAT participó en una reunión de planeación de SINGER celebrada en octubre de 1995 en México. En esta reunión se acordó sobre los objetivos de la red, quiénes serán los usuarios y con qué datos se alimentará el sistema. El CIAT esta revisando los datos de pasaporte y de distribución del germoplasma que se entregarán a SINGER.

6.1 Manejo de Germoplasma e Investigación

6.1.1 Adquisición

La estrategia de investigación del PFT es explotar la variabilidad genética natural de especies no domesticadas, especialmente leguminosas. En años recientes, la adquisición de germoplasma nuevo estaba centrada en llenar brechas geográficas y genéticas y responder a solicitudes de germoplasma para necesidades específicas. En los últimos años, la adquisición se ha concentrado en la colección de especies de *Arachis* con potencial forrajero (el informe aparece en el proyecto *Arachis*) y de *Cratylia argentea*, y en la introducción de una colección previa en Vietnam.

6.1.2 Colección

Recursos genéticos de *Cratylia*. Durante 1993 y 1994, se recolectaron 11 nuevas accesiones de *Cratylia argentea*, en colaboración con el Centro Nacional de Recurso Genéticos y Biotecnología (CENARGEN) de EMBRAPA, Brasil, y se aumentó la cantidad de semilla en el Centro de Pesquisa dos Cerrados (CPAC/EMBRAPA), Planaltina, DF.

6.1.3 Seguimiento fitosanitario post-introducción

Antes de la multiplicación inicial de semilla el germoplasma forrajero tropical recibido por el CIAT experimenta tradicionalmente, un seguimiento fitosanitario post-introducción. Este es realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en colaboración con la sección de Fitopatología del PFT. Las plantas son cultivadas en un invernadero especial y se controlan visualmente en diferentes estados de crecimiento. Se hacen pruebas de sanidad en el laboratorio de Sanidad de Semillas y pruebas adicionales con la asistencia de la Unidad de Investigación en Virología (UIV) del CIAT.

La UIV ha tomado la responsabilidad de indexar todas las accesiones de germoplasma de especies forrajeras tropicales introducidas a Colombia por el CIAT, utilizando las técnicas de serología, microscopía electrónica y electroforesis de geles de ácidos nucleicos virales. Se están caracterizando los diferentes virus encontrados en *Arachis*, *Calopogonium*, *Stylosanthes*, *Brachiaria* y *Paspalum* para desarrollar técnicas de diagnóstico confiables que faciliten el intercambio internacional de germoplasma forrajero tropical.

La capacidad física para el seguimiento fitosanitario post-introducción se ha convertido en un 'cuello de botella' severo para la introducción de germoplasma nuevo y para despejar las accesiones con semilla original que aún no fueron mutiplicadas. En 1993, se compilaron los procedimientos de prueba

fitosanitarios y de sanidad de semillas (Kelemu, 1993). En 1995, se formó un grupo de trabajo para apoyar al ICA en el establecimiento de procedimientos adecuados para la introducción a Colombia de germoplasma forrajero. Esto puede incluir el uso de la instalación cuarentenaria del ICA en Mosquera, Bogotá, si algunos de los materiales tropicales pueden crecer en este ambiente de clima templado.

6.1.4 Introducciones al Banco de Germoplasma en el CIAT

Las principales introducciones durante 1994 y 1995, fueron *A. pintoii* y otras especies de *Arachis* provenientes de EMBRAPA/CENARGEN y germoplasma recolectado en Vietnam.

6.1.5 Revisión de especies con potencial forrajero

Especies de gramíneas colombianas en Royal Botanic Gardens (R.B.G.), Kew, Reino Unido. Para mejorar el conocimiento de los géneros de gramíneas nativas con potencial forrajero, con el apoyo del Herbario del Royal Botanic Gardens, Kew, se hizo un listado de especies colombianas de las subfamilias Panicoideae y Chloridoideae. Estas subfamilias incluyen las gramíneas perennes de origen tropical que han evolucionado en ecosistemas de pasturas utilizadas por herbívoros. La mayoría de las especies forrajeras tropicales útiles pertenecen a estas dos subfamilias.

La información sobre cada muestra de herbario consta de: género, especie, localidad, altitud, número y recolector, fecha de recolección y notas del campo. La base de datos con esta información totaliza 329 especies originarias de Colombia, representadas con más de 1400 especímenes de herbario.

Ochenta por ciento de las especies registradas pertenecen a la subfamilia Panicoideae. Además se incluyen especímenes tipo de 12 especies de Panicoideae reflejando el amplio grado de especiación de esta subfamilia en Colombia. Los géneros con mayor número de especies y con alto potencial forrajero son: *Bouteloua*, *Eragrostis*, *Andropogon*, *Axonopus*, *Bothriochloa*, *Digitaria*, *Ichnanthus*, *Melinis*, *Panicum*, *Paspalum* y *Pennisetum*.

La base de datos contiene registros de muestras recolectadas desde finales de los años 1700. Las zonas geográficas con el número más alto de especies son la Costa Atlántica, valles interandinos y las regiones de la Orinoquía y la Amazonía. Cuarenta y seis por ciento de las especies se recolectaron en altitudes entre 1000 y 2000 m.s.n.m.

Para complementar la información se está haciendo el listado de especies con el apoyo de todos los Herbarios Nacionales, siguiendo la misma metodología y

alimentando la base de datos iniciada en el Royal Botanic Gardens, Kew. Los Herbarios que se están visitando son: CIAT-Palmira, Univ. del Valle, Univ. Nal. Palmira, Univ. del Cauca, Univ. de Antioquia, Univ. Nal. Medellín, Univ. Nal. Bogotá y CIAT-Carimagua.

6.2 Conservación

6.2.1 Estado de la colección

Las 20.634 acc. de la colección de germoplasma de forrajes tropicales se mantiene como semilla original y/o multiplicada o, donde la semilla no puede almacenarse, en colecciones de campo. Eg. las colecciones completas de los géneros *Brachiaria*, *Hyparrhenia* y *Panicum* se mantienen como colecciones de campo en Quilichao y de *Andropogon* en Palmira. El 20% de este germoplasma es originado en Colombia.

6.2.2 Multiplicación inicial de semillas

Después de la adquisición y liberación a partir del seguimiento fitosanitario post-introducción, el germoplasma se multiplica. Esta multiplicación inicial se realiza en casas de malla y en los campos del CIAT en Palmira, Quilichao y Popayán.

6.2.3 Almacenamiento a largo plazo

Actualmente, más de un tercio del germoplasma de leguminosas se conserva en la colección base en condiciones de almacenamiento a largo plazo. Desde 1994, también se están colocando accesiones de gramíneas en almacenamiento a largo plazo. Es necesario tener esta colección duplicada, en por lo menos, una institución como una medida preventiva contra pérdidas.

6.2.4 Biología reproductiva

Se ha continuado la investigación en el área de biología reproductiva para desarrollar protocolos de multiplicación de semillas para el manejo adecuado de los recursos genéticos. Se completó el estudio de la tasa de alogamia en *Centrosema brasilianum* utilizando una accesión con flor blanca. Los datos anteriores obtenidos en Palmira se confirmaron en otros ambientes (Quilichao y Palmira)

6.3 Caracterización e Identificación

6.3.1 Caracterización morfológica y bioquímica

Se realizó la caracterización morfológica y bioquímica en especies claves de los géneros *Arachis* y *Stylosanthes*.

Validación de *Centrosema macrocarpum* var. *andinum*. En estudios previos se reconocieron dos variedades botánicas de *C. macrocarpum*. Estas variedades se describieron morfológicamente (Schultze-Kraft y Belalcázar, s.f.) La caracterización bioquímica se realizó para facilitar la clasificación taxonómica de var. *andinum*, utilizando la accesión *C. macrocarpum* CIAT 25008 como el espécimen tipo.

Identificación de accesiones de *Panicum maximum*. Las accesiones de *Panicum maximum* evaluadas bajo los números CIAT 6799 y 6944 fueron sobresalientes en ensayos agronómicos y de pastoreo, realizados en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia. Sin embargo, se observó que las características morfológicas de material vegetativo de estas accesiones traídas de Carimagua difirieron de las del material original mantenido en Quilichao. Se asumieron dos hipótesis: estos materiales, hasta ahora considerados como apomícticos, podrían tener algún porcentaje de sexualidad, o podría haber ocurrido una confusión mecánica; se están utilizando análisis bioquímicos (isoenzimas), citológicos (seco embrionario) y análisis morfológicos del material vegetativo. Parece que ocurre una confusión y que las dos accesiones, evaluadas en Carimagua, son probablemente una misma accesión, por lo que se les dio un nuevo y único número (CIAT 36000).

6.3.2 Identificación taxonómica

La identificación adecuada del material es a menudo difícil y sería imposible sin la colaboración de un gran número de especialistas. B. Schubert del Arnold Arboretum, EE. UU. identificó o confirmó la especie para 58 accesiones de *Desmodium*. En 1994, se enviaron 87 especímenes de diferentes especies a 12 otros taxónomos. En 1995, se recibió la identificación de 60 de las accesiones, incluyendo 51 especímenes de gramíneas identificados por S. A. Renvoize, R.B.G., Kew, Inglaterra.

6.4 Manejo y Documentación de Datos

6.4.1 Manejo de datos

La documentación confiable y el manejo de datos eficiente son básicos para el manejo de germoplasma. En 1992, la Unidad de Manejo de Información y Redes

del CIAT implementó el nuevo sistema de manejo de datos, ORACLE.

6.4.2 Datos de pasaporte

La revisión de datos de pasaporte continúa y se completó para aquellas accesiones originadas en Colombia y Brasil. Se publicó y distribuyó un catálogo de las 4361 accesiones recolectadas en Colombia (Belalcázar y Schultze-Kraft, 1994). Actualmente se están revisando los datos del germoplasma originario de Africa. Se han publicado los catálogos para germoplasma de Sudeste Asiático, Venezuela y México, América Central y el del Caribe (Schultze-Kraft, 1990; 1991a; 1991b). Los catálogos restantes que se publicarán corresponden al germoplasma adquirido en Brasil, Africa y otras regiones.

6.4.3 Herbario

El herbario de referencia actualmente tiene especímenes que representan el 50% de las accesiones registradas, 120 de los 168 géneros y 551 de las 831 especies registradas en la colección de germoplasma. Se elaboraron etiquetas computarizadas para los especímenes del herbario.

El herbario recibió visitantes de varios países, que realizaron estudios taxonómicos y botánicos.

Capacitación. Una funcionaria del CIAT fué capacitada en técnicas de herbario en el Herbario del R.B.B., Kew. La capacitación cubrió aspectos relacionados con técnicas y el manejo de herbarios, y proporcionó un fondo botánico sobre taxonomía, nomenclatura, morfología, identificación de plantas, recolección, fotografía, ilustraciones, manejo de datos en computadora, bancos de germoplasma, jardines botánicos y botánica económica. El trabajo práctico se realizó con las familias principales Leguminosae, Gramineae, Compositae y Rubiaceae.

6.5 Rhizobia y Mycorrhizae

6.5.1 Rhizobium

Se mantiene la colección de más de 4000 cepas y se le agregan nuevas cepas cuando se identifica alguna necesidad específica.

Arachis. Se examinaron 15 muestras de nódulos obtenidos de *A. pintoi* en Brasil para detectar cepas de *Bradyrhizobium*. En total se aislaron 10 cepas (codificadas 5080-5089) y se compararon con la cepa recomendada de *Bradyrhizobium* CIAT 3101 en un experimento en invernadero con suelo no

disturbado proveniente del ensayo 'core' en Carimagua. Seis cepas de estas presentaron características de crecimiento similares a la cepa CIAT 3101 en medio de agar. Sin embargo, en el experimento de invernadero ninguna de las cepas nuevas superó el comportamiento de la cepa CIAT 3101 en relación con el peso seco o el N total en la planta.

Leguminosas arbustivas. Se estudió la necesidad de inoculación en seis especies promisorias de leguminosas arbustivas, para el efecto se usó un suelo ácido de la estación CVC-San Emigdio, Palmira. Se utilizó el método de la "prueba de necesidad de inocular" es decir, un tratamiento sin inocular, uno inoculado y otro que recibía N como fertilizante. Las especies y la cepa de *Bradyrhizobium*, en paréntesis, fueron: *Calliandra* sp. CIAT 20400 (cepas 4099 + 4910), *Cratylia argentea* CIAT 18516 (cepa 3561), *Desmodium velutinum* CIAT 23984 (cepa 4099), *Erythrina fusca* CVC (cepa 035), *Flemingia macrophylla* CIAT 17412 (cepas 4099 + 4203) y *Gliricidia sepium* CIAT 21290 (cepa 3920).

Gliricidia sepium no creció en este suelo ácido, mientras que todas las demás especies crecieron relativamente bien, excepto *D. velutinum*, que creció extremadamente lento. *Calliandra* sp. CIAT 20400 (probablemente una especie nueva, según H. M. Hernández) fue la leguminosa que creció mejor y acumuló más N en la planta. Este genotipo también mostró la mayor respuesta a la inoculación, comparado con los otros materiales. La producción de peso seco de la planta y de N total aumentaron seis veces más mediante la inoculación y el área foliar cinco veces más, comparados con el control no inoculado. La producción de biomasa en los tratamientos inoculados superó a aquellos fertilizados con N. *C. argentea* fue la única otra planta que mostró un efecto significativo de la inoculación sobre el N en la planta. Con *D. velutinum*, *E. fusca* y *F. macrophylla* no se encontró respuesta a la inoculación, pero las plantas respondieron a la fertilización con N, lo que indica que ni las cepas nativas ni las inoculadas fueron efectivas para la fijación de N₂. Esto contrastó con *Calliandra* sp. CIAT 20400 y *C. argentea* que mostraron igual o mayor contenido de N en plantas inoculadas, comparadas con las plantas fertilizadas con N, es decir, las cepas de *Bradyrhizobium* utilizadas fueron efectivas. El N del fertilizante no parece haber inhibido la nodulación por cepas nativas en las especies probadas.

Los resultados sugieren que *Calliandra* sp. CIAT 20400 y *C. argentea* son leguminosas arbustivas promisorias que requieren inoculación con *Rhizobium* cuando crecen en suelos ácidos de ladera. *Erythrina fusca* y *F. macrophylla* también parece que se adaptan a estos suelos, pero aún se requieren estudios adicionales sobre inoculación y selección de cepas.

Cepas *Bradyrhizobium* productoras de antibióticos. Quince cepas de *Bradyrhizobium* de la colección en el CIAT se examinaron por su actividad

antifúngica, en placas de agar nutricional (Difco). Se observaron los efectos antibióticos in vitro de cepas de *Bradyrhizobium* o sus productos en los inóculos de *Rhizoctonia solani*: (1) inhibición del crecimiento micélico del patógeno, (2) reducción o prevención de formación de esclerocios, y (3) inhibición de germinación de esclerocios. Adicionalmente, los filtrados del cultivo libres de células de tres cepas seleccionadas de *Bradyrhizobium* ejercieron efectos inhibitorios sobre el crecimiento de las bacterias *Escherichia coli* DH5 α y *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* CIAT 555. Esta es la primera vez que se demuestra la actividad inhibitoria fúngica/bacteriana de cepas de *Bradyrhizobium* aisladas de leguminosas forrajeras tropicales.

6.5.2 Mycorrhizae

La colección del CIAT de micorriza vesicular-arbuscular (MVA) consta de 432 cultivos de los cuales 68 se mejoraron durante los últimos 2 años y se consideran puros. Los cultivos mejorados (suelo mezclado con esporas e hifas de MVA) incluyen 28 especies en 5 géneros (*Acaulospora*, *Entrophosphora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Scutellospora*). La colonización de las raíces por MVA es importante para el suministro de P a leguminosas y gramíneas en los Oxisoles tropicales. La investigación anterior ha demostrado que las especies de MVA difieren considerablemente en su capacidad para mejorar el crecimiento de las plantas y la absorción de P de varias especies de leguminosas y gramíneas forrajeras tropicales.

Se realizó un estudio de invernadero para evaluar la respuesta de *A. pintoii* CIAT 17434 a la inoculación con 4 especies diferentes de MVA (*G. clarum*, *E. colombiana*, *A. laevis* y *S. pellucida*). Se midió la respuesta a la inoculación en dos niveles de P (20 y 50 kg/ha), en Oxisoles contrastantes de Carimagua, (franco-arenoso y franco-arcilloso). Resultados indican que la colonización de las raíces por especies nativas de MVA es una limitante para el establecimiento *A. pintoii* en suelo franco-arcilloso.

6.6 Red de Recursos Genéticos Forrajeros

En 1994, se celebró una reunión organizada por el CIAT para discutir la formación de una Red Tropical de Recursos Genéticos Forrajeros. A ella asistieron representantes de CSIRO, CENARGEN, ILCA, CORPOICA e IPGRI y se elaboró un documento esbozando la estrategia para formar dicha red de trabajo (Maass et al., 1995). La iniciativa de recursos genéticos a través del sistema CGIAR liderado por el IPGRI, puso a disposición los recursos necesarios para iniciar la red pero sugirió que se deben incluir todas las forrajeras. Existe una discusión sobre si una sola red global es deseable cuando ya existen redes separadas establecidas para germoplasma forrajero de zonas templado y mediterráneas.

Cronograma de logros esperados (1996-2000)

La conservación de germoplasma es un proceso continuo pero nuestra estrategia es lograr ciertas metas específicas en un tiempo determinado:

- 1996 Proceso de introducción de nuevo germoplasma definido con ICA
- 1997 Desarrollado el empalme amigable para el acceso a la base de datos de germoplasma forrajero
- 1998 Completa la multiplicación y duplicación de germoplasma forrajero originario de Colombia.
- 1999 Completa la caracterización del germoplasma de alta prioridad.
- 2000 Multiplicado y duplicado de todo el germoplasma forrajero de alta prioridad

1. Título: FD02 - Ecotipos forrajeros con adaptación ambiental conocida

2. Coordinadora del proyecto: Brigitte L. Maass

3. Justificación

El mandato del Programa de Forrajes Tropicales (PFT) es identificar leguminosas y gramíneas útiles para los trópicos húmedo (> 1500 mm) y subhúmedo (750 - 1500 mm). Históricamente, el énfasis en el Programa fue la selección de gramíneas y leguminosas para pasturas mejoradas en suelos ácidos de baja fertilidad. Hay actualmente una demanda fuerte por leguminosas y gramíneas para mejorar el suelo y controlar la erosión, además, para forrajes como componentes en diferentes sistemas de producción. Por lo tanto, el enfoque en nuevas áreas incluye la identificación de germoplasma para uso en rotaciones pasturas-cultivos sabanas, para propósitos múltiples en laderas de altitud media, arbustos de multipropósito (AMP); y para sistemas intensivos con pequeños productores en el Este y Sudeste Asiático y Africa Central. Como la mayoría del germoplasma que se adapta bien a suelos ácidos de baja fertilidad también se adapta bien en suelos más fértiles, la evaluación inicial de la mayoría del germoplasma nuevo todavía se hace en suelos ácidos.

4. Objetivo

Identificar y evaluar el germoplasma forrajero productivo para diferentes sistemas de producción en ecoregiones seleccionadas.

5. Logros esperados

1. Forrajes para sabanas y ambientes estacionalmente secos en Carimagua, Colombia.
2. Forrajes para laderas con altitud media en Cauca, Colombia.
3. Forrajes para trópico húmedo de tierras bajas en Caquetá, Colombia.
4. Forrajes para sistemas de cultivo-pasturas en Carimagua, Colombia.
7. Forrajes con alto valor nutritivo.
8. Sistemas de información sobre adaptación de especies forrajeras.

6. Resumen de resultados 1995

Aspectos sobresalientes (1995)

- Se identificaron accesiones de *Arachis pintoii*, *Centrosema*, *Desmodium ovalifolium*, *Canavalia*, *Mucuna pruriens*, *Cajanus cajan* y de especies *Brachiaria* con tolerancia a temperaturas bajas y promisorias para las laderas de altura media en el departamento del Cauca, Colombia.
- Se identificaron accesiones promisorias de *Panicum maximum* y de *Hyparrhenia* spp. para las tierras bajas tropicales húmedas y de Colombia.
- Se identificaron accesiones de diferentes especies de leguminosas para sistemas de producción cultivo-pasturas en los en los Llanos Orientales de Colombia.

6.1 Forraje para Sabanas y Ambientes Estacionalmente Secos

6.1.1 Llanos Orientales de Colombia

En 1993, se establecieron en Carimagua 380 accesiones de *Galactia striata* y cerca de 80 de *Chamaecrista rotundifolia* (sin. *Cassia rotundifolia*) para evaluar su adaptación ambiental. Ambas colecciones mostraron un amplio rango de variación en características morfológicas y de adaptación general. Bajo las condiciones de baja fertilidad de suelos de la región, *Galactia striata* fue atacada por el añublo foliar y *Chamaecrista rotundifolia* por la antracnosis, por lo cual no son apropiadas para este ecosistema. Las accesiones más sobresalientes de *Galactia striata* fueron CIAT 8151, 20786, 20787, 7236, 8139, 8143, 8148, 8749, 17971 y 20758 ; estas accesiones de mejor desempeño fueron seleccionadas para su inclusión en ensayos en Carimagua y en las laderas del Cauca, donde se estableció un ensayo agronómico a finales de 1995. Este ensayo también incluye un ecotipo local originario de San Vicente en las laderas de altura media del departamento del Cauca, el cual crece abundantemente en pasturas de *Brachiaria humidicola*. Mientras que de *Chamaecrista rotundifolia* las accesiones más sobresalientes fueron CIAT 8156, 8158, 8391, 8992, 17000 y 17001.

Estas accesiones de mejor desempeño se han recomendado para producción de semillas y pruebas regionales en otros sitios de los Llanos Orientales. En las laderas de altura media en el Cauca, Colombia, las accesiones de *C. rotundifolia* muestran una buena cobertura del suelo en cultivos de yuca (K. Müller-Sámann, comunicación personal).

6.2 Forrajes para Laderas de Altitud Media

6.2.1 Cauca, Colombia

En mayo de 1993, se inició la investigación de nuevas opciones forrajeras para las laderas localizadas en el departamento del Cauca, Colombia. El objetivo de esta investigación es proporcionar componentes forrajeros para la investigación dentro del Programa de Laderas del CIAT. Los ensayos de evaluación de germoplasma se realizaron en sitios localizados a 1200 m.s.n.m. (San Vicente) y 1.600 m.s.n.m. (El Melcho). Ambos sitios poseen suelos ácidos con bajo contenido de cationes, saturación de Al intermedia y alta capacidad para fijar P. La precipitación anual (1800 mm) se distribuye en forma bimodal y en El Melcho la temperatura es menor debido a su mayor altura.

Se evaluó un grupo de germoplasma de 43 especies y 101 accesiones de leguminosas herbáceas, 18 especies y 30 accesiones de leguminosas arbustivas, y 29 especies y 41 accesiones de gramíneas. Los materiales se eligieron con base en sus datos de pasaporte y accesiones avanzadas seleccionadas en otros ecosistemas. En abril de 1994, en colaboración con el Programa de Laderas, se expusieron varias leguminosas con características contrastantes a agricultores de la región para: (1) identificar los criterios de selección que tienen los agricultores para las leguminosas para abono verde y forrajeras, (2) identificar la tendencia de los sistemas de manejo de diferentes leguminosas por los agricultores, (3) calificar el potencial de las leguminosas para ciertos sistemas de producción, y (4) probar las mejores opciones en una situación real de agricultura. Este ejercicio se repetirá en marzo de 1996 para ayudar en la selección de las especies más apropiadas.

Las hormigas cortadoras de hoja aparecen como el problema más severo, hasta el punto que pueden impedir el establecimiento de las plantas. También se han observado ataques de "chiza" (larvas de Coleoptera: Melolonthidae, que es una plaga principal en varios cultivos en la región (A. Gaigl, 1995, comunicación personal). Poco se sabe de la resistencia o tolerancia de diferentes leguminosas y gramíneas a estas plagas.

Leguminosas herbáceas. En 1993, se iniciaron tres ensayos de *Centrosema*, uno de *Desmodium* y uno con varias especies.

Centrosema. Entre 10 especies de *Centrosema* (45 accesiones) evaluadas, la especie más vigorosa fue *C. macrocarpum* con varias accesiones sobresalientes: CIAT 5713, 15047, 5911, 5744 y 15014. *Centrosema acutifolium* CIAT 15249 y 15160 presentaron buena cobertura del suelo. *Centrosema schiedeanum* CIAT 15727 presentó buen vigor y proporcionó una cobertura muy densa. *Centrosema grazielae* CIAT 5402 y 25398 fueron menos vigorosas que *C. schiedeanum*, pero

proporcionaron una densa cobertura del suelo. Otras especies como *C. pascuorum*, *C. virginianum* y *C. brasilianum* fueron inicialmente muy vigorosas y produjeron alta cantidad de materia seca; sin embargo, no persistieron. Se encontró interacción significativa entre especies y sitios de evaluación. La producción total fue menor en el sitio localizado a mayor altitud.

Desmodium. La mayoría de las especies de este género se establecieron de manera lenta, siendo *D. intortum*, *D. distortum* y *D. cajanifolium* las de establecimiento más rápido. Sin embargo, las de mejor desempeño fueron *D. ovalifolium* CIAT 13115, 13307 y 13089, particularmente en sitios de mayor pendiente. La única especie que se estableció bien fue *D. barbatum* que es nativa y abundante en la región y, aunque no es muy productiva, sí forma surcos densos que pueden ser útiles en el control de la erosión.

Otras especies. Dentro de las otras leguminosas herbáceas, por su comportamiento en el sitio de mayor altura, en términos de velocidad en cubrir el suelo, persistencia y producción de MS, sobresalieron *Arachis pintoi* CIAT 18748, 18744 y 22160, *Canavalia ensiformis* CIAT 9108 y 715, *C. brasiliensis* CIAT 17009 y *Mucuna pruriens* CIAT 9349.

Vigna (1995). En 1995, se estableció en El Melcho una colección de accesiones nuevas de caupí (*Vigna unguiculata*) y de *V. adenantha* que incluyó tipos erectos, de grano y con corta duración; y tipos postrados, forrajeros y perennes. Los primeros presentaron un crecimiento inicial rápido, sin embargo, fueron atacados por enfermedades, especialmente por la mancha foliar causada por *Ascochyta*. Los tipos forrajeros de caupí y *V. adenantha* presentaron lento establecimiento y no parecen ser una alternativa para especies vigorosas, como por ejemplo *C. macrocarpum* o especies de *Canavalia*, a menos que se utilicen prácticas agronómicas más favorables que incluyan altos niveles de fertilización y control de enfermedades.

Leguminosas arbustivas. En la evaluación inicial de una colección grande de leguminosas arbustivas y arbóreas, sólo guandul (*Cajanus cajan*) se estableció bien y fue productivo. El comportamiento de esta especie fue similar en los dos sitios de evaluación. Las tres accesiones de *C. cajan* (CIAT 17522, 913 y 9739) evaluadas presentaron buen comportamiento. Sin embargo, se presentó un ataque severo por hormigas durante el establecimiento. La única especie que se estableció por semilla en el sitio de mayor altura fue *Clitoria fairchildiana* que crece muy lentamente.

En mayo de 1995, se estableció una colección de nuevo germoplasma de *C. cajan* en la cual se incluyeron tipos forrajeros donados por el ICRISAT. Los materiales son muy variables en hábito de crecimiento, tiempo de floración y color de la flor

y la semilla. Las observaciones hasta ahora sugieren que la accesión *C. cajan* CIAT 913, tradicionalmente utilizada en el CIAT, es el tipo más vigoroso y frondoso.

Gramíneas. Entre las gramíneas, *Brachiaria decumbens*, *B. brizantha* CIAT 6780 y *B. humidicola* CIAT 16886, 6369 y cv. Llanero mostraron una rápida cobertura del suelo y fueron muy vigorosas. Sin embargo, *B. humidicola* no alcanzó los niveles de producción de MS alcanzados con *B. brizantha* y *B. decumbens*. *Brachiaria brizantha* CIAT 16774 (decumbente) y *B. brizantha* CIAT 16549 (erecta) presentaron hojas verdes, aún al final de la época seca. El pasto Guatemala (*Tripsacum andersonii* CIAT 6051) fue particularmente vigoroso y actualmente está siendo adoptado ampliamente en la región como una barrera contra la erosión. Ninguna de las otras gramíneas erectas probadas presenta rendimientos de MS comparables con esta última. *Panicum maximum* CIAT 16081 y 6172 presentaron una productividad intermedia y mayor que *P. maximum* CIAT 6299 (cv. Tobiata) y CIAT 6799. Ninguna de estas gramíneas mostró tolerancia específica a la sequía.

6.3 Forrajes para Tierras Bajas en el Trópico Húmedo

6.3.2 Caquetá, Colombia

Desde comienzos de 1992 hasta mediados de 1995, las actividades de selección de germoplasma se realizaron en la hacienda La Rueda cerca de Florencia, Caquetá, perteneciente al Fondo Ganadero del Valle. Además de la alta precipitación en la zona, los suelos en este sitio tienen drenaje interno pobre. Allí se evaluaron accesiones preseleccionadas de leguminosas herbáceas y de arbustos y gramíneas en cortes cada nueve semanas, durante épocas de máxima y mínima precipitación.

En diciembre de 1994, en colaboración con CORPOICA y el Fondo Ganadero del Valle, se celebró un día de campo para dar a conocer a los ganaderos de la zona los resultados de estos trabajos. En este evento más de 120 participantes mostraron su interés en las nuevas opciones forrajeras para esta región.

Leguminosas herbáceas. Las mejores leguminosas herbáceas adaptadas son, en orden descendente, *Desmodium heterocarpon* subsp., *D. ovalifolium*, *A. pintoi* (3 accesiones), *Centrosema acutifolium*, *C. tetragonolobium* y *Pueraria phaseoloides*. Se seleccionaron las mejores accesiones (Cuadro 1) y se inició la multiplicación de semillas.

Cuadro 1. Evaluación de leguminosas herbáceas y arbustivas en el trópico húmedo, Caquetá Colombia, entre 1992 y 1994, y selección de materiales promisorios.

Germoplasma evaluado		Germoplasma sobresaliente	
Especies	Accesiones (no.)	MS ¹	Accesión CIAT No., en orden descendente
<u>Leguminosas arbustivas</u>		-g/planta-	
<i>Codariocalyx gyroides</i>	27	246-267	CIAT 33131, 13547, 3001, 33130
<i>Cratylia argentea</i>	11	81-80	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
<u>Leguminosas herbáceas</u>		-g/m ²	
<i>Arachis pintoi</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
Otra especie de <i>Arachis</i> , <i>Cajanus</i> , <i>Centrosema</i> , <i>Desmodium</i> , <i>Stylosanthes</i> , <i>Zornia</i>	134	—	no hay selección
Total	351		

1. Promedio de cuatro cortes de rebrote de nueve semanas, dos durante la época de mínima y dos durante la época seca. Para las leguminosas arbustivas sólo se midió la producción de hojas.

Leguminosas arbustivas. Entre los arbustos, sobresalió el comportamiento de *Codariocalyx gyroides* y *Flemingia macrophylla*. ***Codariocalyx gyroides***. La altura de corte a 80 cm sobre el suelo y la frecuencia de corte cada 2 meses parecen ser las prácticas de manejo apropiadas para alcanzar una persistencia y comportamiento óptimos de *C. gyroides*. Se observó una alta variación en tiempo de floración, hábito de crecimiento, diámetro y altura de planta, frondosidad y producción de MS dentro de accesiones de esta especie. Las accesiones más sobresalientes de *C. gyroides*, en períodos de precipitación mínima y máxima, fueron CIAT 33130 y 33131 (originarias de Tailandia) y 13547 y 13548 (originarias de Hainan, China), todas de ambientes con estación seca pronunciada; CIAT 3001 también tuvo buen comportamiento. De Indonesia, sólo CIAT 23746 y 23737 mostraron buen desarrollo, mientras que la mayoría de los materiales

originarios de Papua Nueva Guinea fueron improductivos siendo CIAT 13395 y 13979 de mejor comportamiento originarias de Papua Nueva Guinea. Tres años después del establecimiento, se sometió a pastoreo, observándose una alta aceptabilidad de *C. gyroides* por vacas lactantes, con poca diferencia entre accesiones, mientras exista una gramínea disponible. Sin embargo, los animales rechazaron la leguminosa cuando era la única fuente de forraje.

Otros arbustos. *Cratylia argentea* se adaptó bien, pero produjo menos biomasa que *C. gyroides* o *Flemingia macrophylla*. La producción de MS de hojas de *C. argentea* durante 2 años fue, en promedio, de 33 g/planta en la época mínima y de 86 g/planta en la época de máxima precipitación. La proporción de hojas varió entre 64% y 90%, sin diferencias importantes entre épocas seca y lluviosa. Tres años después del establecimiento todas las accesiones tienen buen vigor.

Aunque, desafortunadamente, sólo dos accesiones de *Desmodium velutinum* muestran adaptación moderada, esta especie tiene el valor forrajero más alto entre los cuatro arbustos evaluados.

Gramíneas. A principios de 1993, se establecieron 29 accesiones preseleccionadas de *P. maximum* y 21 accesiones de *Hyparrhenia* para evaluación bajo corte.

Panicum maximum. Dentro de *P. maximum* se observó variación morfológica grande. En general, las accesiones no fueron productivas y presentaron ataque de varias enfermedades. Sólo *P. maximum* CIAT 6299 cv. Tobiata presentó un comportamiento aceptable, en particular, en el periodo de mínima precipitación. Otras accesiones, como *P. maximum* CIAT 16024, 6629 y 6799 produjeron considerablemente menos MS, especialmente en la época de mínima precipitación.

Las accesiones CIAT 6799 y 6944 tuvieron un mal desempeño; las accesiones evaluadas con estos números en Carimagua y que presentaron buen desempeño allí, actualmente se consideran como una sola accesión y se le asignó un nuevo número, CIAT 36000.

Hyparrhenia. Varias accesiones de *Hyparrhenia* mostraron excelente vigor, sanidad y producción de MS total y estacional con una proporción alta de follaje. Se evaluaron *H. dregeana*, *H. filipendula*, *H. diplandra* y varias especies no identificadas, además de la tradicional *H. rufa*, encontrándose considerable variación morfológica entre ellas. Entre las accesiones de más alto rendimiento, *Hyparrhenia* sp. CIAT 26234, *H. diplandra* CIAT 26231 y 26230 e *Hyparrhenia* sp. CIAT 16401 parece que hay la oportunidad de seleccionar aquellas con mayor producción de MS en la época de mínima precipitación. En comparación con estas accesiones frondosas y de alta producción, el control *H. rufa* CIAT 601

presentó un pobre desempeño. Se recomienda analizar la calidad de forraje de los materiales vigorosos y observar objetivamente su aceptabilidad. Cuando los animales entraron dos veces de manera accidental a las parcelas, consumieron todas las accesiones, excepto *H. diplandra* CIAT 26231 e *Hyparrhenia* sp. CIAT 26234. El mismo rechazo de estas dos accesiones vigorosas se observó posteriormente, cuando el ensayo se sometió a pastoreo por ganado vacuno.

6.4 Forrajes para Sistemas Cultivo-Pastura

6.4.2 Llanos Orientales, Colombia

En un suelo franco-arcilloso de Carimagua con un alto efecto residual de fertilización de un cultivo anterior, se estableció un ensayo con 17 especies de leguminosas y un total de 45 accesiones con arroz. Las leguminosas se asociaron con *B. decumbens*, y 6 meses después de su establecimiento, se evaluó la persistencia en pastoreo. Desafortunadamente, el arroz fue pastoreado dos veces por Chigüiros y, por lo tanto, no fue posible evaluar la compatibilidad de las leguminosas con el cultivo. Sin embargo, varios materiales inicialmente respondieron bien a la fertilidad residual, en particular, (en orden descendente para cada especie): *Pueraria phaseoloides* CIAT 9900, 7182, 17296 y 20024; *Stylosanthes guianensis* línea 3, CIAT 2950 (cv. Mineirão), 11844 y 11833; *Arachis pintoii* CIAT 22160; *Galactia striata* CIAT 18018 y 8143; *Desmodium ovalifolium* CIAT 13089, *Calopogonium mucunoides* CIAT 9454, 822, 20676, 20709 y 709.

Por el contrario, otras especies no presentaron buen desarrollo lo que significa que no se adaptaron o no aprovecharon la mayor fertilidad residual en el suelo. Entre éstas se encuentran las especies de *Centrosema*, que fueron muy atacadas por insectos comedores de hojas; *Macroptilium atropurpureum* y *Neonotonia wightii*. Después de 2 años, las accesiones más persistentes y de mejor comportamiento fueron *A. pintoii* CIAT 22160, *D. ovalifolium* CIAT 13089, *D. strigillosum* CIAT 13661, *P. phaseoloides* y *C. macrocarpum* CIAT 5713). Esta última se recuperó después de un desarrollo inicial lento. Unas pocas accesiones han sido seleccionadas y fueron establecidas en un nuevo ensayo bajo un cultivo de maíz que fue pastoreado inmediatamente después de la cosecha del grano.

6.5 Forrajes de Alto Valor Forrajero

Durante 1994 y 1995, como un complemento a la evaluación de germoplasma forrajero para adaptación ambiental, se determinaron la composición química y la DIVMS de diferentes arbustos y especies de leguminosas sembradas en

ambientes contrastantes. Entre las leguminosas arbustivas evaluadas en sabana (Llanos Orientales de Colombia) se encontró que *Cratylia argentea*, *Desmodium velutinum* y *Uraria* spp. tenían mayor DIVMS que *Codariocalyx gyroides*, *Flemingia macrophylla* y especies de *Tadehagi*. Estas diferencias en DIVMS se relacionaron con la presencia de taninos condensados (TC) en estas últimas leguminosas. Los análisis de laboratorio posteriores de hojas maduras de 27 accesiones de *Codariocalyx gyroides* sembradas en un ambiente de bosque húmedo (Florencia, Caquetá, Colombia) mostraron diferencias en la DIVMS (rango: 33% a 45%) y en TC (rango: 8% a 14%) entre accesiones. Aunque la DIVMS de *C. gyroides* es relativamente baja, se sugiere continuar la evaluación de CIAT 23737 y 23748. Estas dos accesiones han presentado sistemáticamente una mayor DIVMS (45%) y TC extractables menores (9%) en comparación con otras accesiones, independientemente de la estación del año.

Cronograma de logros esperados (1996-2000)

- 1996 Evaluado, junto con CORPOICA el germoplasma forrajero para adaptación ambiental.
- 1997 Conocidas interacciones de genotipo por ambiente para *Desmodium intortum*.
- 1998 Identificados nuevos cultivares de arbustivos para laderas.
Identificados nuevos ecotipos forrajeros para estación de sequía.
- 1999 Creado sistema de información sobre adaptación de especies forrajeras.
- 2000 Identificados nuevos ecotipos forrajeros para sistemas cultivos-ganadería.

1. Título: FS02 - Atributos adaptativos a Suelos Acidos

2. Coordinador del proyecto: Idupulapati M. Rao

3. Justificación

El uso de forrajeras adaptadas es una alternativa posible para el manejo de los suelos de baja fertilidad en el trópico. La baja disponibilidad de nutrientes es el principal limitante para la adaptación y producción de forraje en el trópico. La adopción generalizada de cultivares de forrajeras depende de la eficiencia para obtener nutrientes del suelo y su utilización para crecimiento. Las plantas adaptadas tienen atributos relacionados con su habilidad para obtener estos nutrientes en ambientes con pH bajo y alto Al. El entendimiento de estas estrategias es fundamental para desarrollar procedimientos de selección más eficientes. El grado de la variación inter e intra específica en la capacidad para obtener y utilizar nutrientes debe ser considerado en detalle con el objeto de desarrollar plantas adaptadas a las condiciones de suelos ácidos de baja fertilidad o mejorar su eficiencia para obtener y usar nutrientes. El mejoramiento de esta adaptación, sin pérdida de rendimiento de forraje o calidad, contribuirá a la disminución en los requerimientos de insumos, en los costos de producción animal y en menos problemas ambientales por degradación de suelos.

El crecimiento y renovación de las raíces son dos componentes clave en el estudio del reciclado de nutrientes en pasturas y en la absorción de carbono (C) en el suelo. Algunas plantas hacen uso eficiente de los nutrientes mediante su extracción desde la profundidad del suelo y su reciclado dentro de la planta entera. Además de la toma y el reciclado de nutrientes, los sistemas radicales profundos también pueden contribuir a la absorción de carbono en los suelos. Son estas características importantes de los sistemas radicales grandes y extensos, como los que presentan muchas gramíneas tropicales introducidas y leguminosas. Por lo tanto, el papel de las raíces en el reciclado de nutrientes y en la absorción de C en pasturas bajo diferentes regímenes se deben evaluar aún más. Muchas leguminosas que se adaptan bien a factores de estrés edáfico, climático y biótico no persisten en asociación con gramíneas vigorosas. Las razones para esto son obvias en algunos casos, pero en otros no. Es necesario definir mejor los atributos para persistencia, en particular, debe ser posible predecir el éxito durante la evaluación primaria de las accesiones forrajeras.

Este proyecto proporcionará una base de investigación estratégica mediante la identificación de los atributos de las raíces, parte aérea y reproductivos de genotipos de forrajeras que conducen a: (1) una mayor eficiencia en selección y

mejoramiento; (2) identificar las interacciones nutricionales críticas planta-suelo, planta-planta y planta-suelo-animal en sistemas de producción basados en forrajeras; y (3) a la identificación segura de nichos ecológicos para germoplasma forrajero.

4. Objetivo

Identificar atributos de la planta que confieren tolerancia a suelos de baja fertilidad y contribuyen a la absorción y utilización eficiente de nutrientes. Lo anterior para desarrollar procedimientos confiables de selección de forrajeras para diferentes ecosistemas.

5. Logros esperados

1. Identificación de atributos de la planta que confieren tolerancia a suelos de baja fertilidad.
2. Determinación de papel de las raíces en el reciclado de nutrientes y absorción de carbono.
3. Desarrollo de asociaciones estables de gramíneas-leguminosas.

6. Resumen de los resultados en el año 1995

Aspectos sobresalientes

- Se demostró que la variación genotípica en producción de área foliar y fraccionamiento de N de las especies de *Brachiaria* es mayor que la variación en absorción de N del suelo.
- Se identificaron tres atributos de la planta: producción de área foliar, longitud de la raíz y eficiencia de absorción de P por unidad de longitud de raíz, como índices posibles de selección de genotipos de *Brachiaria* por su tolerancia a baja fertilidad del suelo.
- Se demostró que la producción de biomasa de las raíces fue mayor en pastos mejorados que en pastos de sabana nativa.
- Se encontró que los pastos mejorados basados en leguminosa pueden absorber cantidades significativas de C en el suelo.
- Se demostró que las pasturas basadas en leguminosas no sólo pueden mejorar el ciclo del N, sino también estimular el ciclo de otros nutrientes como Ca.

6.1 Atributos de la Planta que Confieren Tolerancia a Suelos de Baja Fertilidad

La investigación se ha concentrado en: (1) la identificación de la variación

genotípica para tolerancia a la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo; y (2) la identificación de la variación genotípica para absorción y utilización de nutrientes.

6.1.1 Variación genotípica para tolerancia a baja disponibilidad de nutrientes

En un ensayo de invernadero se determinaron las diferencias genotípicas de *Brachiaria* para tolerancia a la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo. Se midieron los rebrotes y atributos de la raíz de 15 genotipos en cinco especies de *Brachiaria* (tres genotipos de cada una de las especies: *B. decumbens*, *B. brizantha*, *B. ruziziensis*, *B. humidicola* y *B. dictyoneura*) para evaluar su tolerancia a baja fertilidad. La selección de los genotipos se basó en la evaluación agronómica en el campo (comúnmente utilizado, muy productivo y genotipos menos productivos). Para el crecimiento de las plantas se utilizó un Oxisol franco-arenoso de Carimagua (4 kg de suelo/maceta). Los nutrientes se aplicaron antes de la siembra en tres niveles (cero, bajo y alto).

Se midieron varios atributos de la planta y se encontró una alta variación genotípica para la mayoría de atributos de la planta a cada nivel de aplicación de nutrientes (Cuadro 1). La variación genotípica en varios atributos de la planta fue mayor que la variación inducida por el nivel de aplicación de nutrientes. El grado de variación genotípica en atributos foliares y de la raíz fue mayor que el del rendimiento de forraje.

6.1.2 Variación genotípica y absorción y utilización de nutrientes

En un experimento de invernadero se examinaron las diferencias genotípicas en absorción y utilización de N entre 18 genotipos de seis especies de *Brachiaria* (tres genotipos de cada una de las especies: *B. decumbens*, *B. brizantha*, *B. ruziziensis*, *B. humidicola*, *B. dictyoneura* y *B. arrecta*). El N se suministró en cuatro niveles (kg/ha): 0, 40, 80 y 200. En el momento de cosecha (48 días de crecimiento) se determinaron varios atributos del rebrote. Los resultados, resumidos en el Cuadro 2, indican que los atributos de la planta fueron afectados por el nivel de aplicación de N. Sin embargo, lo fueron en un mayor grado por el genotipo que por el nivel de N aplicado. Algunos atributos de la planta [producción de área foliar, N foliar específico (N/área foliar) y proteína soluble en la hoja] presentaron mayor variación genotípica que los otros (rendimiento de forraje, índice de fraccionamiento de N foliar y absorción de N en parte aérea). Como era de esperarse, el aumento en la aplicación de N mejoró el rendimiento de forraje como resultado de una mayor estimulación en la producción del área foliar.

6.2 Papel de las Raíces en el Reciclado de Nutrientes y en el Absorción de Carbono

La investigación se ha concentrado en: (1) Cambios en la biomasa y en la longitud específica de las raíces en pasturas; (2) aporte de las pasturas en la absorción de carbono en el suelo; y (3) producción de raíces en asociaciones de gramíneas-leguminosa sembradas con cultivos.

Cuadro 1. Efecto de la aplicación de nutrientes en el rango de la variación genotípica de atributos de la planta de cinco especies de *Brachiaria* (15 genotipos), cultivadas en macetas con un Oxisol franco-arenoso de Carimagua.

Atributos de la planta	Aplicación de nutrientes		
	Cero	Baja ¹	Alta ²
Rendimiento de forraje (g/maceta)	1.5-4.8	4.9-10.6	14.1-29.2
Biomasa de la raíz (g/maceta)	0.3-2.0	0.9-4.1	2.0-9.6
Area foliar (cm ² /maceta)	32-202	104-456	295-1259
Clorofila en hoja (mg/m ²)	115-187	63-171	69-173
Proteína soluble en hoja (g/m ²)	1.7-3.9	0.7-2.4	0.4-2.4
Índice de fraccionamiento del N en hoja (%)	20-58	36-55	32-57
Longitud de la raíz (m/maceta)	25-105	53-202	122-422
Longitud de la raíz/área foliar (km/m ²)	3.2-28.9	2.3-12.1	1.6-14.7
Eficiencia de absorción de P (µg/m)	9.0-27.2	18.1-96.5	24.3-140.6

¹ 20 P, 20 K, 33 Ca, 14 Mg y 10 S (kg/ha)

² 80 N, 50 P, 100 K, 66 Ca, 28.5 Mg, 20 S, 2 Zn, 2 Cu, 0.1 B y 0.1 Mo (kg/ha)

Cuadro 2. Efecto del N aplicado sobre el rango de variación genotípica en atributos de la planta de seis especies de *Brachiaria* (18 genotipos), cultivadas en macetas con 4 kg de un Oxisol franco-arenoso de Carimagua. Las mediciones en atributos de la planta se hicieron después de 48 días de crecimiento.

Atributos de la planta	Aplicación de nitrógeno (kg/ha)			
	0	40	80	200
Rendimiento de forraje (g/maceta)	7.2-13.4	8.9-23.0	10.5-27.2	14.1- 35.2
Area foliar (cm ² /maceta)	186-828	236-1230	238-1520	365- 1922
N foliar específico (mg/m ²)	402-1857	525-2219	577-2641	936-2620
Proteína soluble en hojas (g/m ²)	0.54-2.15	0.72-2.80	0.83-2.58	1.29-3.19
Índice de fraccionamiento de N foliar (%)	44-86	35-80	41-74	38-75
Absorción de N en parte aérea (mg/maceta)	36-75	77-130	115-200	179-322

6.2.1 Cambios en la biomasa y en la longitud específica de las raíces en pasturas

En un Oxisol franco-arcilloso de la estación CIAT-Carimagua, Llanos Orientales de Colombia, durante 4 años se evaluaron la biomasa y la longitud de la raíz durante la época lluviosa de *B. dictyoneura* sola y de *B. dictyoneura* + *C. acutifolium* en pastoreo y se compararon con la sabana nativa. El promedio de producción de biomasa de la raíz de la pastura de gramínea sola fue aproximadamente de 6 t/ha, en comparación con la de la gramínea asociada con leguminosa que fue de 3.9 t/ha, con la aplicación inicial baja de fertilizantes. En contraste con las pasturas mejoradas, la producción de biomasa de la raíz de la sabana nativa fue sólo de 1.5 t/ha.

6.2.2 Aporte de las pasturas en la absorción de carbono en el suelo

En Carimagua, conjuntamente con el Programa de Tierras Bajas Tropicales, se estimó la absorción de carbono (C) por pasturas mejoradas a una profundidad en el suelo entre 0 y 80 cm, y se comparó con el absorción de este elemento en suelos de sabana nativa. En pasturas de *B. humidicola* bien manejadas aumentó la concentración de C en el suelo hasta una profundidad de 80 cm, lo que dió lugar

a una absorción de 25 t/ha de este elemento más que en las pasturas cercanas de sabana nativa. La inclusión durante 5 años de un componente de leguminosa (*A. pintoí*) incrementó significativamente la concentración de C y mejoró notablemente la cantidad absorbida en el suelo (75 t/ha más), casi tres veces más que la cantidad en la sabana nativa. Es necesario comprender la dinámica de los procesos suelo-planta relacionados con la absorción de C en pasturas mejoradas. Estos resultados indican que las pastos basadas en leguminosa no sólo contribuyen a una mayor producción animal sino también a moderar el aumento de dióxido de carbono atmosférico y, de esta manera, a reducir el calentamiento de la tierra.

6.2.3 Producción de raíces en asociaciones de gramíneas-leguminosa sembradas con cultivos

La producción y la renovación de raíces por las pasturas basados en leguminosa pueden contribuir a mejorar los suelos y a la producción sostenible de cosechas en sistemas de rotaciones de pasturas y cultivos. Se estudió en Carimagua, conjuntamente con CORPOICA y el Programa de Tierras Bajas Tropicales, en una asociación de gramínea-leguminosas (*B. humidicola* CIAT 679 + *A. pintoí* cv. Maní Forrajero + *S. capitata* cv. Capica + *C. acutifolium* cv. Vichada) la biomasa y distribución de la longitud radicular (hasta 80 cm de profundidad) en el suelo y se compararon con la sabana nativa. La asociación se sembró conjuntamente con arroz de secano en mayo de 1993. En noviembre de 1994, 1.5 años más tarde, la biomasa total de la raíz (t/ha) de la pastura mejorada fue 1.96, comparada con 0.93 en la sabana nativa. La estimación de la longitud específica de la raíz (m/g) indicó que la sabana nativa tenía mayor producción de raíces finas; los valores fueron 90 para la sabana y 59 para la pastura mejorada.

6.3 Desarrollo de Asociaciones Estables de Gramíneas-Leguminosas

Las leguminosas forrajeras tropicales desempeñan un papel clave en la fijación de N, mediante el estímulo del ciclo de otros nutrientes y el mejoramiento de la cantidad y calidad del forraje ofrecido a los animales. Sin embargo, las pasturas basadas en leguminosa son a menudo inestables. Por lo tanto, es necesario definir y modelar los atributos de la planta que contribuyen a la estabilidad de las asociaciones de gramíneas y leguminosas.

6.3.1 Papel de las leguminosas en el reciclado de nutrientes

La determinación de la absorción de nutrientes (N, P, K y Ca) por los rebrotes en asociaciones estables de gramíneas-leguminosas de *B. decumbens*/*P. phaseoloides* y *B. humidicola*/*A. pintoí*, indica que la introducción de leguminosas no sólo mejora el suministro de N a través de la fijación biológica, sino que también

contribuye a una mayor absorción y reciclado de Ca a partir de suelos ácidos de baja fertilidad (Cuadro 3).

6.3.2 Persistencia de las leguminosas

En junio de 1994 se inició un experimento para investigar la causa de la baja persistencia de las leguminosas. Para el efecto se establecieron *A. pintoi* cv. Maní Forrajero, *S. capitata* cv. Capica, *C. acutifolium* cv. Vichada y *D. ovalifolium* CIAT 13089 en pasturas de *B. dictyoneura* y *B. decumbens* mediante la siembra en hileras cultivadas y fertilizadas con cuatro combinaciones de P y K. El establecimiento de las leguminosas fue bueno, excepto *C. acutifolium* cv. Vichada con *B. decumbens*, debido a que las plántulas fueron atacadas por langostas. Se encontró una alta respuesta a P y K durante el establecimiento. Las áreas experimentales estaban localizadas dentro de potreros y se abrieron para pastoreo cada 3 a 4 semanas.

Cuadro 3. Diferencias en absorción de nutrientes por rebrotes de pasturas gramíneas-leguminosa persistentes, en un Oxisol de franco-arcilloso de Carimagua.

Pastura	Edad (años)	Nutrientes (kg/ha)			
		N	P	K	Ca
<i>B. decumbens</i>	13	23	2.2	27	6
Bd/ <i>P. phaseoloides</i>	13	40	2.5	18	16
<i>B. humidicola</i>	9	33	6.2	58	6
Bh/ <i>A. pintoi</i>	9*	76	7.0	69	14

Bd = *B. decumbens*; Bh = *B. humidicola*; * Leguminosa con 5 años de persistencia.

En 1995, todas las leguminosas persistían y tenían diferente vigor. Aún se observa una respuesta fuerte a P. La respuesta a K es variable a través de especies y dentro de tratamientos de las especies aparentemente más susceptibles a deficiencia de este nutrimento. *Desmodium ovalifolium* presentó respuesta significativa a P ó K. La respuesta variable dentro de parcelas probablemente se debe a diferencias espaciales pequeñas en el K del suelo. *Stylosanthes capitata* cv. Capica parece ser más susceptible a deficiencias de K que *A. pintoi* cv. Maní forrajero y que *C. acutifolium* cv. Vichada. El vigor de las plantas fue mayor para *D. intortum*, que fue pastoreado muy bajo. Le siguieron *S. capitata* cv. Capica, que fue sometido a un pastoreo fuerte, y *A. pintoi* y *C. acutifolium* que presentaron un

vigor similar. El comportamiento del *A. pintoí* CIAT 17434 cv. Maní Forrajero durante 1995 no ha sido bueno. Este cultivar ha presentado una coloración amarilla y aparece más susceptible a enfermedades como antracnosis y mancha foliar que en 1994. Recientemente se estableció *A. pintoí* CIAT 22160 en la misma área y parece mucho más vigoroso. También se está observando la dinámica de supervivencia de plantas originales y generaciones subsiguientes, la cobertura de la planta y la invasión de las gramíneas en los surcos de la leguminosa.

En julio de 1995, en un Oxisol franco-arenoso de Carimagua se estableció un experimento de campo para estudiar asociaciones de *A. pintoí* CIAT 22160, *S. guianensis* CIAT 11833 y *S. capitata* cv. Capica con las gramíneas contrastantes *B. dictyoneura* cv. Llanero y *P. maximum* CIAT 6944. Se incluyó además un tratamiento de gramíneas solas para comparación con el efecto de la leguminosa en el crecimiento de las gramíneas. Se tienen también dos niveles de fertilización para estudiar la interacción entre nutrición y compatibilidad.

Cronograma de logros esperados (1996-2000)

- 1996 Identifica las diferencias genotípicas en *Brachiaria* para absorber y utilizar fósforo.
- 1997 Determina las diferencias genotípicas en *Arachis pintoí* para absorber y utilizar nutrientes.
- 1998 Define el papel de la renovación de raíces en el reciclaje de nutrientes y la absorción de C en el suelo.
- 1999 Desarrolla los procedimientos de selección para identificar genotipos nutricionalmente eficientes.
- 2000 Identifica los atributos para persistencia de leguminosas asociadas con gramíneas.

1. Título: FS01 - Ecotipos con Alta Calidad Forrajera

2. Coordinador del proyecto: Carlos E. Lascano

3. Justificación

Las plantas forrajeras tienen usos múltiples, entre otros, son fuente de alimento para animales, mejoran la fertilidad del suelo y controlan la erosión en sistemas de producción en el trópico. Sin embargo, la adopción de nuevas especies forrajeras por los agricultores podría estar determinada, en alto grado, por los efectos benéficos sobre la producción animal, por ejemplo, en la ganancia de peso vivo y en la producción de leche. En consecuencia las especies forrajeras nuevas deben caracterizarse en términos de calidad nutritiva.

Algunas especies de leguminosas herbáceas y leñosas adaptadas a suelos ácidos tienen niveles altos de taninos condensados (TC), pero el efecto de estos compuestos en la alimentación de animales ha sido evaluado en forma limitada. Para desarrollar métodos de selección por presencia de taninos en leguminosas tropicales y diseñar técnicas de alimentación basadas en leguminosas, es necesario comprender mejor cómo estos y otros polifenoles afectan el consumo, y la digestibilidad y utilización del nitrógeno (N) por los rumiantes. Existe un conocimiento limitado del efecto de los factores ambientales (suelo, clima...) en la calidad de los forrajes. Los nuevos ecotipos de forrajeras se deben probar en ensayos de alimentación animal o en experimentos de pastoreo, para determinar su aporte potencial a la producción animal.

4. Objetivo

Determinar el valor alimenticio de las nuevas especies de gramíneas y leguminosa seleccionadas para suelos ácidos en los trópicos subhúmedo y húmedo.

5. Logros esperados

1. Desarrollo de procedimientos de selección por la presencia de taninos y otros compuestos secundarios en leguminosas forrajeras.
2. Cuantificación de la influencia del ambiente en el valor nutritivo de especies forrajeras seleccionadas.
3. Caracterización del valor nutritivo y la productividad de nuevos ecotipos forrajeros.

6. Resumen de los resultados en 1995

Aspectos sobresalientes

- Se encontró que las diferentes especies de *Calliandra* (i.e. *C. calothyrsus*, *C. houstoniana*, *C. magdalenae*) tienen taninos hidrolizables, entre ellos ácido gálico, además de TC.
- Se encontraron diferencias grandes entre leguminosas arbustivas por su distribución de los TC dentro del tejido foliar. Mientras que en *Senna velutinum* y *Acacia boliviana* todo los TC presentes fueron extractables, en *Gliricidia septium* estaban ligados a proteína y fibra.
- Se demostró:
 - Que en *D. ovalifolium* y *F. macrophylla* hay por lo menos tres tipos de taninos: no-reactivos con proteína, y con afinidad baja y alta a proteína.
 - Que la concentración de TC extractable en leguminosas ejerció mayor efecto sobre la utilización de N que el grado de astringencia de los taninos, o que nivel de TC ligado a fibra y proteína.
 - Que las mezclas de leguminosas arbustivas, con y sin taninos, utilizadas para alimentar ovinos como suplemento a gramíneas de baja calidad, aumentaron el flujo y la absorción aparente de N en el intestino delgado, pero la retención de éste no aumentó.
 - Variación genotípica en digestibilidad entre *Brachiaria* spp. y la estabilidad de este atributo a través de ambientes contrastantes.
 - Variación genotípica en lignocelulosa de las hojas de *Brachiaria* spp. que crecieron con baja aplicación de nutrimentos en un Oxisol franco-arenoso.
 - Variación en DIVMS de las hojas de genotipos de *Brachiaria* mayor que la inducida por el suministro de nitrógeno.
 - Alto incremento en la producción de leche en pasturas con *Stylosanthes guianensis* (híbrido) asociado con gramíneas.
 - Que la producción de leche en pasturas fertilizadas con N fue similar en ecotipos de *Panicum maximum* seleccionados para suelos ácidos y en *B.*

decumbens cv. Basilisk, y mayor que en *B. dictyoneura* cv. Llanero.

6.1 Desarrollo de Procedimientos de Selección por la Presencia de Taninos y otros Compuestos Secundarios

La investigación durante los últimos 2 años se ha concentrado en: (1) caracterizar por la presencia de taninos las leguminosas arbustivas en la colección del CIAT; (2) estudiar la distribución de taninos condensados (TC) en el tejido foliar de diferentes leguminosas tropicales provenientes de Colombia y Australia; (3) definir las interacciones del método de conservación de forraje de leguminosas y el nivel de polietilén glicol (PEG) agregado para reducir los TC en el forraje; (4) estudiar el efecto que el nivel y el tipo de TC en leguminosas tiene en la utilización de N por ovinos; y (5) estudiar el efecto de dilución de los TC a través de mezclas de leguminosas en la utilización de N por ovinos.

6.1.1 Selección por taninos

Leguminosas leñosas. Se estudió la presencia de taninos condensados e hidrolizables en diferentes géneros y especies de leguminosas leñosas sembradas en CIAT-Palmira y CIAT-Quilichao. Los resultados indicaron que *Senna spectabilis* CIAT 20823 y *Cassia* sp. CIAT 7975 no tienen taninos, lo que se relacionó con su mayor DIVMS comparada con la de otras leguminosas leñosas. En contraste, todas las especies de *Calliandra* analizadas presentaron taninos hidrolizables y condensados.

6.1.2 Distribución de taninos condensados en hojas de leguminosas tropicales

Con la colaboración de la Universidad de Massey, NZ, se midieron los TC extractables y ligados en hojas de leguminosas tropicales provenientes de Quilichao. Con excepción de *Senna siamea* CIAT 20698 todas las especies contenían TC. La mayoría de ellas contenían entre 65% y 95% de los TC totales como extractables, a excepción de *Flemingia macrophylla* que tenía del total de TC, 60% extractable y 40% ligado; y *Gliricidia sepium* en la cual todos los TC estaban unidos a proteína; mientras que en *Senna velutinum* todos los TC eran extractables. Los resultados de este estudio indican que el uso de métodos analíticos para medir sólo TC extractables puede conducir a conclusiones erradas cuando se evalúa la calidad de leguminosas tropicales, ya que pasan por alto el efecto de los taninos ligados a fibra y proteína.

6.1.3 Efecto del método de preparación de la muestra y el polietilén glicol (PEG) en la concentración y astringencia de taninos condensados

Para implementar un esquema efectivo de selección de especies forrajeras con bajo contenido de TC es necesario definir mejor cómo los diferentes niveles de estos compuestos afectan la nutrición de los rumiantes. Un enfoque de investigación útil es reducir los TC con PEG, ya que estos se unen a él en preferencia a la proteína de la planta. Por lo tanto, se realizó un estudio para determinar los efectos del PEG y el método de preparación de las muestras sobre la concentración y la astringencia —capacidad de los taninos para unirse a la proteína de la planta—. Para el estudio se utilizaron muestras de forraje de dos leguminosas tropicales contrastantes: *Desmodium ovalifolium* y *Flemingia macrophylla*. Los resultados de este estudio indican que el PEG agregado a los forrajes redujo los TC extractables en forraje fresco-congelado o en forraje secado al sol, y que no hubo diferencia si el PEG se agregaba antes o después del secado de la muestra al sol. Sin embargo, los resultados sí indicaron que la reducción de los TC extractables con PEG fue exponencial y que había una cierta porción de TC extractable que no reaccionó con PEG o proteína.

En general, el estudio sugiere que existe la necesidad de cuantificar la relación entre TC extractable y nivel de PEG en leguminosas forrajeras antes de su uso en ensayos de alimentación. Los resultados también sugieren que las especies de leguminosas evaluadas parecen tener, por lo menos, tres tipos de TC extractables con diferentes pesos moleculares y como resultado diferentes afinidades para proteína. También se deduce de los resultados que los métodos de conservación de forraje y procesamiento de muestras podrían afectar la actividad de los TC en una especie dada de leguminosa. Esto implica que en la selección de especies de leguminosas o ecotipos por bajo contenido de taninos hay necesidad de evaluar, no sólo la concentración de estos en el forraje, sino también la estructura de los taninos presentes en forraje preservado de diferentes formas.

6.1.4 Efecto de la concentración y astringencia de los taninos en el consumo de leguminosas y utilización de N por ovinos

Los resultados de laboratorio mostraron diferencias grandes entre especies tropicales de leguminosa en relación con la afinidad de TC extractable a proteína (astringencia) y en concentración y distribución relativa de TC extractables y ligados. Por lo tanto, se realizó un experimento para estudiar la influencia de estos últimos y la astringencia de taninos en el consumo, la digestión y la utilización de N por ovinos alimentados con dos leguminosas tropicales contrastes. Para el efecto, ovinos alojados en jaulas metabólicas se alimentaron con *D. ovalifolium* (17% de PC, 28% de pared celular) y *F. macrophylla* (23% de PC y 44% de pared celular), que tenían concentraciones similares de TC extractable, pero diferente concentración de TC ligado y astringencia. Los resultados indicaron

que el consumo de ambas leguminosas fue similar a niveles iguales de TC extractables en el forraje, pero aumentó en 8% y 15% para *D. ovalifolium* y *F. macrophylla* respectivamente, cuando los TC extractables se redujeron de 9% a 5% (con base en MS) en el forraje mediante la adición de PEG. El consumo de las leguminosas en este estudio parece que fue limitado, no sólo por taninos, sino también por la baja relación hoja:tallo (1.0) en *D. ovalifolium* y el alto nivel de pared celular indigestible (44%) en *F. macrophylla*. Por lo tanto, cuando se evalúa la calidad de las leguminosas tropicales con TC es necesario examinar la composición y degradabilidad de la pared celular.

6.1.5 Dilución de los taninos a través de mezclas de leguminosas

Una característica común en muchas leguminosas leñosas tropicales es la presencia de altas concentraciones de TC, lo cual como se sabe afecta el consumo y la ganancia de peso vivo. Sin embargo, los bajos niveles de TC pueden ser beneficiosos en dietas de rumiantes, ya que reducen la degradación de proteína en el rumen. En consecuencia, las mezclas de leguminosas arbustivas, con y sin taninos, podrían tener implicaciones prácticas en la alimentación de rumiantes en fincas de pequeños productores que involucran la suplementación de gramíneas de baja calidad con forraje de leguminosas leñosas.

Para probar esta hipótesis se utilizaron *C. argentea*, libre de taninos y *F. macrophylla*, alta en TC, solas o en mezcla como un suplemento para ovinos alimentados con una gramínea madura de baja calidad (*B. dictyoneura*, 60% de la ración básica). Los resultados mostraron que el N urinario se redujo a medida que *F. macrophylla* aumentó en la mezcla de las leguminosas, sugiriendo menos pérdidas de amonio del rumen, debido a la protección de la proteína por taninos. Sin embargo, este efecto positivo fue contrarrestado por el mayor N fecal a medida que el nivel de TC aumentó en la dieta, y como resultado la retención de N no fue afectada. En un segundo experimento se encontró un aumento marcado en los niveles de amonio en el rumen con la reducción de los niveles de *F. macrophylla* en la mezcla de las leguminosas; mientras que el flujo de N duodenal aumentó con los mayores niveles de *F. macrophylla* en la dieta. Esto se relacionó con una mejora pequeña, pero significativa, en la eficiencia de absorción aparente de N en el intestino delgado. Sin embargo, el N retenido como una proporción del N consumido no fue afectado por los diferentes suplementos de la leguminosa, posiblemente debido a deficiencias de energía.

En resumen, los resultados indican que las mezclas de leguminosas podrían ser una manera práctica de dilución de TC a un nivel donde pueden ser beneficiosos para el animal. Sin embargo, es necesario definir el efecto de la digestibilidad (i.e. energía) de leguminosas con y sin taninos que se utilizarán en las mezclas.

6.2 Cuantificación de la Influencia del Ambiente en el Valor Nutritivo de Especies Forrajeras Seleccionadas

La evaluación de la interacción genotipo x ambiente en la calidad de los forrajes es importante para definir las estrategias de mejoramiento de especies forrajeras y la identificación de nichos para especies seleccionadas.

6.2.1 Interacción genotipo x ambiente en la calidad de *Brachiaria* spp.

Se midió la DIVMS de 20 genotipos de *Brachiaria* spp. sembrados en tres sitios con suelos y clima contrastantes (Palmira, Quilichao y Carimagua). Los resultados mostraron que la variancia en DIVMS fue cuatro veces mayor que la variancia asociada con la interacción genotipo x ambiente y que había una alta variabilidad en la DIVMS entre accesiones dentro de especies. Estos resultados sugieren que existe un campo amplio para seleccionar genotipos de *B. decumbens* y *B. brizantha* con base en digestibilidad.

6.2.2 Suministro de nutrimentos a la planta y calidad de genotipos de *Brachiaria*

En condiciones de invernadero se realizó un ensayo para probar la relación entre oferta de nutrimentos al suelo y la calidad forrajera en 15 genotipos de cinco especies de *Brachiaria* (tres ecotipos de cada una de las especies: *B. decumbens*, *B. brizantha*, *B. ruziziensis*, *B. humidicola* y *B. dictyoneura*). Los resultados mostraron que la aplicación de nutrimentos afectó la calidad de ambas fracciones (hoja y tallo) en los genotipos dentro de cada especie. Sin embargo, los atributos de calidad de estas fracciones variaron más debido a genotipo que a nivel de aplicación de nutrimentos. En el futuro, los trabajos se deben concentrar en definir el efecto del suministro de nutrimentos y la edad fisiológica del tejido de genotipos de *Brachiaria* spp. en la composición de su pared celular y la digestibilidad.

6.3 Caracterización del Valor Nutritivo y la Productividad de Nuevos Ecotipos Forrajeros

El PFT adelanta en la estación CIAT-Quilichao ensayos de pastoreo para medir el potencial de producción de leche de genotipos seleccionados de gramíneas para suelos ácidos.

6.3.1 Producción de leche con híbridos de *Stylosanthes guianensis*

Dos líneas, *S. guianensis* CIAT 11833 y 11844 seleccionadas por tolerancia a

antracnosis, se evaluaron en mezcla con *B. dictyoneura* para determinar la producción de leche. Las vacas en la pastura asociadas produjeron entre 17% y 65% más leche que en la pastura de gramínea sola. Como se esperaba, el mayor efecto de la leguminosa en producción de leche ocurrió en períodos con escasa precipitación. Durante el período experimental el contenido de la leguminosa en la pastura varió entre 40% y 54%. Con esta alta proporción de leguminosa se presentó un impacto significativo de *S. guianensis* en el rendimiento de leche.

6.3.2 Producción de leche con *Panicum maximum*

En 1994, se evaluaron con vacas lecheras en Quilichao los ecotipos *Panicum maximum* CIAT 6799 y 6944 seleccionados para suelos solos y en asociación con *C. macrocarpum* o *S. guianensis*. Actualmente, se han completado dos experimentos de pastoreo a corto plazo con vacas en ordeño; en uno de ellos, las vacas pastorearon *P. maximum* solo y en asociación con leguminosas. En el otro ensayo se compararon *P. maximum* y dos especies de *Brachiaria* fertilizadas con N (100 kg/ha). Los resultados mostraron que la producción de leche, tanto con vacas cruzadas como Holstein fue similar en pasturas *P. maximum* solo o con leguminosas. los niveles de urea en la leche fueron altos (22 mg%) y similares en la gramínea sola comparados con los obtenidos en pasturas de gramíneas-leguminosa. Esto sugiere que la proteína no fue limitante en *P. maximum* y que las vacas seleccionaron poca leguminosa. Por otra parte, el rendimiento de leche de vacas con diferente potencial genético pastoreando *P. maximum* fertilizado con N fue mayor que en *B. dictyoneura* cv. Llanero más N, pero similar al registrado en *B. decumbens* cv. Basilisk más N.

Estos resultados iniciales confirman que *P. maximum* es una opción excelente para la producción de leche en el trópico. Hay varios cultivares de *P. maximum* —Vencedor, Tanzania, Centenario— liberados en Brasil que se adaptan marginalmente a suelos ácidos de baja fertilidad, principalmente como resultado del alto requerimiento de N y P. Aún está por comprobar si los ecotipos *P. maximum* seleccionados por el PFT para suelos ácidos tienen menores requerimientos por nutrimentos que los cultivares comerciales.

Cronograma de logros esperados (1996-2000)

- 1996 Validado un método rápido de laboratorio para evaluar efecto de taninos en degradación de proteínas.
- 1997 Cuantificada la interacción genotipo x ambiente en nivel de taninos y palatabilidad de *Desmodium ovalifolium* y en la calidad nutritiva de *Arachis* spp.

Definida variación genotípica en calidad nutritiva de *Brachiaria* spp. en función de edad del tejido y suministro de nutrientes.

1998 Definido el efecto de taninos de leguminosas en degradación de pared celular y actividad celulolítica y proteolítica de bacterias ruminales.

Definido el efecto de fertilidad de suelo y manejo poscosecha en contenido de taninos y de consumo de *Calliandra callothyrsus* y otras leguminosas arbustivas.

1999 Definido método de selección por calidad de leguminosas herbáceas y arbustivas con taninos y otros polifenoles.

Caracterizado el valor nutritivo y potencial de producción animal de genotipos de *Panicum maximum* para suelos ácidos.

2000 Caracterizado el valor nutritivo de híbridos de *Brachiaria* seleccionados por resistencia a salivazo.

1. Título: FIO1 - Mejoramiento de *Brachiaria*

2. Coordinador del Proyecto: John W. Miles

3. Justificación

El género *Brachiaria* es la fuente más importante de plantas forrajeras tropicales cultivadas. Solamente en el Brasil se estima que existen más de 50 millones de hectáreas con este género, y unos tres millones de hectáreas sembradas en Colombia.

El uso a gran escala de esta especie en pasturas empezó a comienzos de la década de los 70, y permitió un aumento sustancial en la productividad animal, tanto por unidad de área como por unidad animal. Desafortunadamente, *B. decumbens* es muy susceptible al ataque de salivazo (varias especies y géneros de la familia Cercopidae (Homoptera)). *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, liberado en Brasil, es altamente resistente a salivazo, pero no persiste en condiciones de baja fertilidad en el suelo.

Entre 1984 y 1985 se realizó una extensa misión de recolección de germoplasma y fue financiada por el IBPGR (actualmente IPGRI, en inglés). En esta misión se recolectaron casi 800 accesiones nuevas de más de 20 especies de *Brachiaria*, las cuales se están caracterizando por su adaptación edáfica, reacción a plagas y enfermedades clave, así como por otros atributos de la planta.

En un programa de fitomejoramiento de plantas del CIAT se busca combinar la adaptación edáfica y la persistencia de *B. decumbens* con la resistencia antibiótica a salivazo de *B. brizantha* en los nuevos cultivares apomícticos de *Brachiaria* con alta calidad forrajera. Este proyecto incluye actividades relacionadas que se complementan con la selección de accesiones nativas de *Brachiaria* y el programa de mejoramiento de plantas.

4. Objetivo

Mejorar la utilidad y la productividad de plantas forrajeras de *Brachiaria* mediante la utilización de los recursos genéticos naturales complementados por el mejoramiento de plantas.

5. Logros esperados

1. Recursos genéticos.
2. Los acervos genéticos nuevos de *Brachiaria*.

3. Genética de apomixis.
4. Evaluación de resistencia al salivazo.
5. Diversidad genética en *Brachiaria*.
6. Adaptación edáfica.
7. Resistencia al añublo foliar por *Rhizoctonia*.
8. Evaluación de resistencia viral.

6. Resumen de los resultados en el año 1995

- Las selecciones de accesiones avanzadas en ensayos agronómicos pasaron a ensayos de pastoreo en pequeñas parcelas en Carimagua y el Caquetá.
- Clones apomícticos seleccionados de poblaciones mejoradas se incluyeron en ensayos de pastoreo en pequeñas parcelas en Carimagua y el Caquetá.
- Se identificaron marcadores moleculares ligados con el gen de apomixis en una población híbrida.
- Se cuantificó, con el uso de marcadores moleculares, la diversidad genética entre y dentro de especies de *Brachiaria*.
- En la estación del CIAT en Popayán, se inició la multiplicación de semilla de accesiones e híbridos seleccionados para evaluación regional en 1996.
- Se demostró una variación genética marcada en producción de forraje y absorción de P, N, y Ca en un Oxisol franco-arenoso de Carimagua.
- Se desarrolló un método de cultivo en macetas para simular la fertilidad decreciente del suelo y para evaluar diferencias genotípicas en tolerancia a baja fertilidad.
- Se identificaron tres características de la planta: área foliar, longitud de la raíz y absorción de P por los rebrotes, como índices para adaptación edáfica.
- Se identificaron accesiones de *B. decumbens* y *B. brizantha* tolerantes a mal drenaje.

6.1 Recursos Genéticos

6.1.1 Ensayos de evaluación agronómica bajo corte en pequeñas parcelas

Carimagua: Entre 1991 y 1994, se evaluaron en pequeñas parcelas 186

accesiones de 10 especies de *Brachiaria*. Entre 1991 y 1994, en un ensayo aparte se evaluaron 53 accesiones de *B. humidicola* en parcelas pequeñas. Se seleccionaron 19 accesiones para avanzar a ensayos mayores y con pastoreo.

Caquetá: Entre 1993 y 1995, con base en las selecciones inicialmente hechas en Pucallpa, Perú, se evaluaron en el Piedemonte del Caquetá 58 accesiones de siete especies. Entre las mejores accesiones se seleccionaron ocho para evaluación adicional en asociación con *Arachis pintoi* bajo pastoreo.

6.1.2 Ensayos de pastoreo en parcelas pequeñas

En Carimagua y el Caquetá, las observaciones en los ensayos de corte en pequeñas parcelas permitieron seleccionar para evaluación adicional un número pequeño de accesiones que se mostraron promisorias en uno o en ambos ambientes. En 1995, se establecieron ensayos de pastoreo en pequeñas parcelas en los sitios anteriores, para evaluar la persistencia de las accesiones naturales y unos pocos híbridos seleccionados en el programa de mejoramiento.

6.1.3 Evaluación agronómica regional

En la estación CIAT-Popayán se están multiplicando semillas de las accesiones de *Brachiaria* y varios híbridos seleccionados en Carimagua. La semilla producida servirá para establecer en 1996 una serie de ensayos agronómicos regionales, en colaboración con CORPOICA y el Fondo Nacional de Ganado, en diferentes agroecosistemas de Colombia y otros países. El objetivo es evaluar la adaptación a una diversidad de condiciones ambientales e identificar genotipos ampliamente adaptados.

6.2 Los Acervos Genéticos Nuevos de *Brachiaria*

6.2.1 Mejoramiento de poblaciones

Actualmente se mantienen dos poblaciones mejoradas; una segregando por modo reproductivo (apomixis/sexualidad); y la segunda, sexual. Estas poblaciones se están mejorando mediante selección cíclica

En el Caquetá y en Carimagua se establecieron aproximadamente 1500 progenies obtenidas por polinización abierta en la población sexual. De la población se han seleccionado, en ambos sitios, aproximadamente 250 genotipos individuales con base en su vigor y ausencia de enfermedades foliares.

6.2.2 Ensayos agronómicos

En 1995, en Carimagua se establecieron 43 recombinantes agronómicos apomícticos, identificados como plantas individuales en 1994, en parcelas de un surco, junto con varias accesiones seleccionadas.

Los resultados de un ensayo agronómico en parcelas pequeñas, establecido en 1994, muestran que los recombinantes híbridos presentan segregación de atributos más allá del rango de los materiales paternos que formaron en las poblaciones de mejoramiento (Ver sección de Adaptación Edáfica).

6.3 Genética de la Apomixis

Los objetivos de la investigación en el genoma *Brachiaria* son:

- Marcar y completar un mapa de genes de apomixis en diferentes *Brachiaria* reconocidas;
- construir un mapa de *Brachiaria* con base en las sondas polimórficas provenientes de los mapas RFLP de arroz, maíz y trigo;
- integrar marcadores basados en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) en el programa de mejoramiento, utilizando poblaciones sexuales y apomícticas.

En una población híbrida los individuales fueron 'fenotipados' para el modo reproductivo mediante observación microscópica de la estructura del saco embrionario. Con marcadores RAPD y AFLP se identificaron algunos ligados al gen de apomixis. Una buena homología genómica se detectó entre *Brachiaria*, por un lado; y para arroz y maíz, por otro. Se ha iniciado la construcción de un mapa molecular utilizando cebadores AFLP y un conjunto de 75 polimorfismos de arroz y clones RFLP de maíz.

6.4 Evaluación de Resistencia a Salivazo

6.4.1 Confirmación de selección en el campo

Siguiendo con la evaluación y selección en el campo, 75 clones híbridos generados por polinización abierta entre accesiones de *B. ruziziensis*, *B. decumbens* y *B. brizantha* se evaluaron para resistencia a salivazo utilizando una metodología diseñada para uso en invernadero.

6.4.2 Posibilidad de usar marcadores moleculares en selección

En una población híbrida se está investigando la posibilidad de utilizar marcadores moleculares ligados con genes para resistencia al mión para aumentar la eficiencia de la selección para resistencia a esta plaga. Si se encuentran los marcadores ligados con la resistencia y ellos explican una proporción significativa de la variación en resistencia, se podrían utilizar para mejorar la eficiencia de los métodos actualmente utilizados para evaluar resistencia en poblaciones segregantes. Dependiendo del resultado de estos experimentos, se decidirá si se continua con los experimentos de marcación de genes.

6.5 Diversidad Genética en *Brachiaria*

Uso de marcadores RAPD para determinar relaciones genéticas

El entendimiento de las relaciones genéticas entre y dentro de especies contribuirá a diseñar mejores estrategias para la recolección y la conservación de la biodiversidad. Además, proporcionará a los mejoradores información sobre la base genética utilizada y permitirá la selección racional de progenitores para maximizar la expresión de la heterosis. Se ha iniciado un estudio de relaciones genéticas en especies de *Brachiaria* utilizando marcadores de RAPD basados en PCR. Las relaciones genéticas entre las especies de *Brachiaria* se compararon utilizando 'primers' de RAPD (Suárez, 1994). Las observaciones preliminares muestran la utilidad de los marcadores basados en PCR, como RAPDs, para discriminar entre diferentes especies de la colección de *Brachiaria* y para diferenciar genotipos dentro de especies.

6.6 Adaptación Edáfica

Las observaciones de campo en los Cerrados de Brasil y los Llanos Orientales de Colombia, indican que *B. ruzizensis* común y *B. brizantha* cv. Marandú están menos adaptadas a Oxisoles de baja fertilidad que *B. decumbens* cv. Basilisk, ampliamente cultivado. Las razones para estas diferencias en adaptación edáfica aún no son claras.

Los tres cultivares se están utilizando como progenitores en un programa de mejoramiento para desarrollar genotipos superiores de *Brachiaria*, que combinen la tolerancia a salivazo de *B. brizantha* cv. Marandú con la buena adaptación de *B. decumbens* a factores edáficos. Es necesario identificar atributos de la planta de *B. decumbens* que contribuyen a su adaptación a suelos ácidos de baja

fertilidad con el objeto de desarrollar un método confiable y rápido de selección.

Un genotipo ideal de *Brachiaria*, que sea productivo y persistente con aplicación limitada de nutrimentos en condiciones del campo, no sólo debe absorber mayores cantidades de los nutrimentos limitantes, por ejemplo P, N y Ca, mediante la producción de raíces finas, sino también utilizar los nutrimentos disponibles para producir mayores cantidades de área foliar. Junto con estos dos atributos, la capacidad de un mayor fraccionamiento de P y N hacia las hojas que a hacia los tallos, contribuirá a la producción de mayores cantidades de forraje verde.

Se evaluaron nueve accesiones de tres *Brachiaria* spp. y cuatro cultivares comerciales. Se encontraron variaciones significativas entre y dentro de *Brachiaria* spp. a tolerancia al anegamiento. Se confirmó la adaptación buena de *B. humidicola* y *B. dictyoneura* a condiciones de suelo saturado. Hay accesiones de *B. decumbens* (CIAT 16497) y *B. brizantha* (CIAT 26110) que mostraron buena tolerancia a condiciones a mal drenaje.

6.7 Resistencia al Añublo foliar por *Rhizoctonia*

Se desarrolló una metodología de campo e invernadero, basada en la inoculación artificial con esclerocios secos, para evaluar un grupo de 42 accesiones de *Brachiaria* (Kelemu et al., n.p.). Las más resistentes entre la muestra probada fueron, con una excepción, las accesiones de *B. humidicola*. Una accesión, *B. brizantha* CIAT 16320, se clasificó como moderadamente resistente. Hubo otras accesiones de *B. brizantha* o *B. decumbens* menos susceptibles que *B. brizantha* cv. Marandú.

6.8 Evaluación de Resistencia Viral

6.8.1 Caracterización de un potivirus que infecta *Brachiaria* spp.

Se demostró que este virus tiene una semejanza en un 97.3% en la secuencia nucleótida con el fragmento correspondiente analizado de la proteína de la cubierta de la cepa viral del mosaico del pasto Johnson (JGMV), anteriormente descrito en Australia.

6.8.2 Evaluación de la transmisión posible por semilla de la cepa *Brachiaria* del virus del mosaico del pasto Johnson a *B. brizantha*.

Se investigó la trasmisividad potencial por semilla de la cepa *Brachiaria* del potivirus del mosaico del pasto Johnson. Ni una sola de las 1433 plántulas fue

infectada por el virus; por lo tanto, la tasa de transmisión por semilla no puede ser mayor a 0.07%.

6.8.3 Selección del germoplasma de *Brachiaria* por su reacción a la cepa *Brachiaria* del virus del mosaico del pasto Johnson

Un total de 131 selecciones de *Brachiaria* spp. realizadas en el Caquetá y Carimagua, han estado en evaluación continua mediante rejuvenecimiento frecuente e inoculación manual de los propágulos vegetativos. Hasta la fecha, un total de 64 híbridos han probado ser susceptibles al virus, los restante 67 híbridos o bien son resistentes o han escapado a la infección en condiciones artificiales.

Cronograma de logros esperados (1996-2000)

1996 Líneas y accesiones seleccionadas entregadas a entidades nacionales para evaluación regional, a través de la Red Colombiana de Evaluación de *Brachiaria*.

1997 Iniciación de ensayos para producción animal.

1998 Germoplasma de *Brachiaria* evaluado por presencia y efecto de hongos endófitos.

1999 Nuevas líneas con potencial para nuevos cultivares identificadas y disponibles en forma de semilla básica.

2000 Nuevos cultivares de *Brachiaria* disponibles comercialmente.

1. Título: FI02 - Mejoramiento de *Arachis*

2. Coordinadores del proyecto: Peter C. Kerridge y
Esteban A. Pizarro

3. Justificación

Arachis pintoi es la primera leguminosa herbácea tropical con alta productividad y persistencia a largo plazo que es compatible con gramíneas vigorosas y estoloníferas, comunes en los trópicos húmedo y subhúmedo. Tiene alto potencial como planta de cobertura para controlar malezas y mejorar los suelos. Sin embargo, su desarrollo como leguminosa forrajera comercial actualmente se basa, casi exclusivamente, en un solo genotipo. Aunque es exitoso, tiene varias problemas para el establecimiento y su tolerancia a la sequía es limitada. Por lo tanto, es necesario desarrollar y evaluar accesiones adicionales con el objeto de extender el rango de adaptación de *A. pintoi* y asegurar la disponibilidad de genes de resistencia a enfermedades en un futuro y para la aparición posible de insectos. Es necesario evaluar la tolerancia a las enfermedades y la resistencia a los insectos de todas las accesiones potencialmente promisorias, especialmente a aquellos patógenos que afectan al maní común (*Arachis hypogaea*), así como también evaluar los problemas que pueden surgir con *Arachis* como planta forrajera a medida que su difusión es más amplia y mayores áreas se están sembrando con esta leguminosa. También es necesario adquirir y evaluar otras especies del género *Arachis* que tienen potencial como forrajeras y probabilidad de extenderse en el rango ambiental de *A. pintoi*. Es, asimismo, importante mejorar el conocimiento de la variabilidad genética en las especies potencialmente útiles con el objeto de desarrollar programas para conservación 'ex situ' e 'in situ', ya que muchas áreas donde este género ocurre naturalmente están actualmente amenazadas por el desarrollo agrícola.

Las especies silvestres de *Arachis* tienen alto potencial para uso en pasturas de gramíneas-leguminosa o como cultivos de cobertura en el trópico húmedo y subhúmedo y en el subtropico y pueden desempeñar un papel estratégico en sistemas agrícolas sostenibles, mediante la cobertura del suelo y la fijación de nitrógeno. Los estudios 'ex ante' sugieren una tasa de retorno social interna alta (58%) del uso de pasturas mejoradas, siendo beneficiarios los agricultores en todos los ecosistemas principales existentes en los trópicos, particularmente en sistemas intensivos como ganadería de doble propósito y frutales u otros cultivos de árboles.

4. Objetivo

Extender el rango de adaptación de las especies de *Arachis* mediante la ampliación de la base genética disponible. Esto se logrará con recolección y evaluación, estudios de diversidad genética para resistencia a enfermedades e insectos, y mediante el mejoramiento del establecimiento con prácticas más rápido y confiable.

5. Logros esperados

1. Nuevo germoplasma de *Arachis* adquirido.
2. Germoplasma de *Arachis* caracterizado para variación genética.
3. Nuevo germoplasma de *Arachis* evaluado para adaptación ambiental.
4. Tolerancia a enfermedades e insectos conocida.
5. Métodos para establecimiento rápido y alto rendimiento conocidos.
6. Condiciones óptimas para producción y almacenamiento de semillas conocidas.

6. Resumen de los resultados en el año 1995

Aspectos sobresalientes

- El germoplasma de *Arachis pintoii* se ha recolectado en áreas con menos de 1000 mm de precipitación.
- Hay un aumento en el número de accesiones de *A. pintoii* (total 113) y de *A. repens* (total 31) disponibles en el Banco de Recursos Genéticos .
- La caracterización morfológica e isoenzimática del nuevo germoplasma de *A. pintoii* mostró que el rango de variación ha aumentado a medida que se agregan nuevas accesiones. Existe una buena separación en grupos según su origen geográfico y no se han detectado genotipos duplicados en las accesiones mantenidas en el CIAT.
- La evaluación multilocacional del germoplasma recientemente introducido a Colombia, destaca el potencial agronómico de varias accesiones nuevas, entre ellas *A. pintoii* CIAT 22160, 18744, 18751 y 18747. Es posible en colaboración con CORPOICA liberar la nueva accesión CIAT 22160 en 1997/1998
- La calidad forrajera de las accesiones nuevas parece ser tan buena o mayor que la del cultivar comercial actual (Maní Forrajero) *A. pintoii* CIAT 17434.
- La siembra directa de semilla, la alta producción de éstas y la fertilización adecuada han aumentado la tasa de establecimiento.
- La calidad de la semilla depende del sitio de producción, la manipulación poscosecha y el almacenamiento; el deterioro de la semilla puede ser rápido

en condiciones húmedas, pero insignificante cuando la humedad ambiental es baja.

6.1 Adquisición del Germoplasma de *Arachis*

6.1.1 Recolección en Brasil

Durante 1995, se realizaron dos viajes de recolección con el liderazgo del Dr. J. F. M. Valls, de EMBRAPA/CENARGEN. En estos se dio especial importancia a la recolección de especies silvestres de *Arachis* con potencial forrajero. En Brasil, el germoplasma disponible de la sección Caulorrhizae es, actualmente, de 144 accesiones (*A. pintoi* = 113; *A. repens* = 31) y en la sección Rhizomatosae hay 72 accesiones de *A. glabrata*. Este material se está multiplicando actualmente. Siete accesiones nuevas, provienen de áreas con una precipitación anual entre 700 y 1000 mm.

6.1.2 Introducción de materiales al Banco de Germoplasma en el CIAT y seguimiento fitosanitario

Durante 1995, se agregaron 56 accesiones de *A. pintoi* y de otras especies de *Arachis* a la colección mantenida en el CIAT; aunque en su mayor parte provienen de EMBRAPA/CENARGEN, Brasil, también hay algunas de INTA, Argentina. El Banco de Germoplasma actualmente mantiene 106 accesiones de 20 especies silvestres de *Arachis*, incluyendo 61 de *A. pintoi*. Todas, excepto 14 de ellas, se han liberado después de un seguimiento fitosanitario para identificar posibles plagas, enfermedades y virus.

6.2 Caracterización de Germoplasma de *Arachis*

6.2.1 Brasil

La variación morfológica de 51 accesiones del género *Arachis*, pertenecientes a la sección Caulorrhizae, fueron evaluadas mediante un análisis multivariado. Se aplicó el análisis de conglomerados a los datos relacionados con 52 caracteres morfológicos de naturaleza cualitativa y cuantitativa. El fenograma resultante, basado en el coeficiente de distancia utilizando 51 OTU's, correlacionó bien con las características morfológicas. Este análisis también permite la separación de los grupos según las regiones geográficas: planos inundados de San Francisco, Minas Gerais, y el Estado de Bahía.

6.2.2 Colombia

Se caracterizaron 52 accesiones de *A. pintoi* y dos de *A. repens* mediante la aplicación de electroforesis de geles de poliacrilamida (PAGE, en inglés) a las isoenzimas α -esterasa y β -esterasa (EST), diaforasa (DIA), fosfatasa ácido- $\alpha\beta$ (ACP), oxaloacetato glutamato (GOT) y peroxidasa (PRX). Los resultados indicaron una alta variación intraseccional e intraespecífica, y no se detectaron duplicados genéticos.

El rango de variación morfológica aumentó a medida que se caracterizaron nuevas accesiones, con un rango amplio y continuo entre *A. repens* y *A. pintoi*. Estas dos especies de *Arachis* de la sección *Caulorrhizae* no se pudieron diferenciar por polimorfismo isoenzimático ni por rasgos morfológicos. Tampoco contenían patrones específicos que pudieran estar relacionados con el origen geográfico del germoplasma.

6.3 Evaluación para Adaptación Ambiental

6.3.1 Planaltina, Brasil

Ensayo en parcelas pequeñas. Se estableció un ensayo con 46 accesiones de *A. pintoi* asociadas con *Paspalum atratum* BRA-009610 en dos tipos de suelo en el CPAC, Planaltina, Brasil; uno, representativo de áreas bajas y; otro, de áreas bien drenadas del paisaje Cerrado.

Los promedios de rendimiento equivalente de materia seca (MS) a los 45 días en época seca (118 mm) y a los 180 de rebrote en época de lluvias (1054 mm) durante el primer año fueron similares en ambas áreas (1.7 t/ha vs. 1.5 t/ha a los 45 días, y 4 t/ha vs. 3.6 t/ha a los 180 días, respectivamente). En el segundo año, la proporción de *Arachis* disminuyó de 47% a 15%. Las asociaciones más productivas y estables en ambos sitios se obtuvieron con: *A. pintoi* CIAT 17434, 18748, 22159, 22160 y BRA-031828, 031844 y 031852.

La retención de hojas verdes fue menor en las áreas altas durante la estación seca. La retención de hojas verdes en septiembre, al final de la estación seca, ocurrió sólo en *A. pintoi* CIAT 17434, 18748 y BRA-031852 en la sabana bien drenada, mientras en las zonas más bajas sobresalieron *A. pintoi* CIAT 18750, 22160, 22159 y BRA-030082;-030449;-031861;-031828.

6.3.2 Colombia

Evaluación agronómica. En 1994, se sembraron 27 accesiones disponibles de *A. pintoii* y cinco de *A. repens* en seis sitios para evaluar la interacción de genotipo x ambiente. Como rango de ambiente en el trópico húmedo se escogió la estación experimental ICA-Macagual y en la hacienda La Rueda, Caquetá; en las sabanas se localizó en el CI. Carimagua, en un suelo franco-arenoso (Alegria) y en un franco-arcilloso (Alcancia); en la zona de laderas secas estacionales de Chinchiná en un suelo fértil franco-arcilloso y en un franco-limoso en Popayán. La leguminosa se estableció en asociación con una gramínea común (*B. humidicola* CIAT 6133). Después de un corte inicial de estandarización, el manejo ha consistido en pastoreos fuertes cada 30 días. En Popayán, donde no hay disponibilidad de animales, las parcelas se cortan con la misma frecuencia que se pastorean las demás.

En los seis sitios seleccionados el establecimiento fue diferente: En Chinchiná, la cobertura del suelo fue rápida, alcanzando un valor máximo en forma temprana, alrededor de los 120 días después de la siembra. Ciento sesenta días después de la siembra el crecimiento vigoroso de la gramínea dominó la asociación. La mayoría de las accesiones de leguminosa no cubrieron más del 50% de la parcela; sin embargo, *A. pintoii* CIAT 18747 y 22160 cubrieron más del 80%.

En Popayán, sucedió lo contrario debido al crecimiento lento de la gramínea y, aunque *Arachis* también creció lentamente, su crecimiento fue lo suficientemente rápido para invadir totalmente la parcela antes de que se iniciara la competencia de la gramínea. La máxima cobertura del suelo sólo se alcanzó después de 200 días con la mayoría de las accesiones.

En el Caquetá, en la hacienda La Rueda, el vigor y la cobertura fueron similares a las alcanzadas en Popayán, mientras que en Macagual, el vigor y el crecimiento fue muy variable entre accesiones.

En Carimagua, en ambos sitios —La Alcancia y La Alegria— los resultados fueron similares a los obtenidos en Chinchiná, aunque menos pronunciados. En estos sitios, el desarrollo de *Arachis* también fue limitado en gran medida por la presión de enfermedades, en particular la antracnosis.

En resumen, la tasa diaria de expansión de estolones de *Arachis*, 4 meses después de plantados, fue mayor en La Alcancia, seguida de Chinchiná, La Alegria y La Rueda, y más lenta en Popayán y Macagual. La producción total de MS y de la leguminosa reflejan la tasa de expansión y cobertura del suelo debido a la diferencia en condiciones ambientales en los sitios. Existe una alta variación dentro de accesiones de *A. pintoii* y entre ambientes. *Arachis pintoii* CIAT 18751,

18747, 22160 y 22155 tienen características de establecimiento superior en términos de vigor y crecimiento rápido, mientras que *A. pintoi* CIAT 22152, 22154, 22156 y 22158 tienen características inferiores.

Calidad de forraje del nuevo germoplasma de *Arachis*. En el Caquetá, bosque húmedo, se evaluó la calidad de diferentes especies y accesiones de *Arachis*; dentro de ellas, tres de *A. glabrata*, seis de *A. repens* y 21 de *A. pintoi*. Los resultados mostraron poca diferencia en el contenido de N y la DIVMS entre especies de *Arachis*. Las accesiones sobresalientes fueron *A. pintoi* CIAT 18744 y 18748 (con buena compatibilidad con gramíneas agresivas y persistentes bajo pastoreo) y *A. pintoi* CIAT 22160 (tolerante a la sequía) presentaron valores de DIVMS ligeramente mayores que el cultivar comercial *A. pintoi* CIAT 17434. Se debe notar que la alta DIVMS de *A. pintoi* CIAT 22154 se relaciona con una menor concentración de taninos. *Arachis glabrata* tiene menos taninos extractables y ligados en comparación con las otras especies. Estos resultados muestran que las accesiones de *A. pintoi* más avanzadas por razones agronómicas, tienen una calidad forrajera alta o mayor que el cultivar comercial *A. pintoi* CIAT 17434 cv. Maní Forrajero Perenne.

6.4 Tolerancia a Enfermedades e Insectos

En general, las enfermedades no se han considerado una limitación principal para la adaptación y utilización de *Arachis*. Sin embargo, las enfermedades comunes del maní (*A. hypogaea*) se encuentran muy difundidas y se han identificado algunos virus. También se ha observado una alta incidencia ocasional de antracnosis, en particular, en material sembrado vegetativamente.

Cyrtomenus bergi, un insecto polífago, subterráneo, puede atacar la semilla a través de la vaina y predisponer las plantas al ataque de patógenos y, a la vez, reducir el rendimiento de semilla. La producción de semillas está limitada en algunas áreas por la presencia de este insecto. Como el insecto es también común en yuca, papa, maíz, maní y caña de azúcar, es necesario tomar las medidas necesarias cuando se seleccionan áreas para producción de semillas de *Arachis*.

6.5 Manejo para Establecimiento Rápido y Alta Producción

6.5.1 Brasil

Se realizaron varios experimentos para determinar el efecto de diversos factores en la celeridad de establecimiento.

Tasa de siembra. En un suelo hidromorfo de Planaltina, se estableció un ensayo con *A. pintoi* CIAT 22160, colocando 2, 4, 6, 8 y 10 semillas por metro lineal, en surcos de 0.5 m de ancho (equivalente a 5, 10, 15 y 20 ó 25 kg/ha de semillas puras germinables (SPG))

Se encontró un efecto del aumento de la cantidad de semilla en el rendimiento de *A. pintoi* CIAT 22160 y en la competencia con las malezas. Durante el establecimiento (140 días, 800 mm y 70 días lluviosos), el rendimiento de MS de *Arachis* aumentó de 0.5 t/ha, con 5 SPG/ha, hasta 1.5 t/ha con 25 SPG/ha ($P < 0.001$), dando una relación de: $MS \text{ (kg/ha)} = 150 + 48 \text{ (SPG/ha)}$. La mayor tasa de siembra redujo el rendimiento de las malezas.

Se considera que 10 semillas/m es la cantidad mínima para el establecimiento de la mayoría de las leguminosas forrajeras, pero esto resulta relativamente costoso para *Arachis* debido al alto peso de la semilla de esta leguminosa; para comparación, el peso de 100 semillas de *A. pintoi*, *C. macrocarpum*, *S. guianensis* es, aproximadamente, de 24, 5 y 0.3 g respectivamente. El balance entre número de semillas y costo es, por lo tanto, muy crítica para *Arachis*.

Efecto de P, K y cal. Se investigó la importancia de la nutrición adecuada en el establecimiento de *Arachis*. Para el efecto se estableció un ensayo en un suelo no cultivado bien drenado en Planaltina. Se midió el efecto de la cal (0 y 75% de saturación de bases), el K (0 y 100 kg/ha) y el P (0 y 52 kg/ha) en el establecimiento de *A. pintoi* CIAT 22160. El P afectó en forma significativa ($P < 0.001$) el rendimiento y la cobertura del suelo, pero la cal y el K no influyeron en estas propiedades durante el establecimiento de la leguminosa. Sin la aplicación de P, la cobertura del suelo, 130 días después del establecimiento, fue de 20%, y con 52 kg/ha de P fue de 80%, siendo la producción de MS de 300 kg/ha y 1200 kg/ha, respectivamente.

6.5.2 Colombia

En un experimento de campo en el CI. Carimagua, se demostró nuevamente que el establecimiento de *Arachis* es más rápido con el uso de la fertilización adecuada de fósforo, bien sea en cantidades pequeñas colocadas debajo de la semilla o cantidades más grandes aplicadas a voleo.

Parece ventajoso establecer *Arachis* junto con otras leguminosas de rápido establecimiento, como *Stylosanthes* o *Centrosema*.

La investigación sobre el desarrollo de *Arachis* como un componente de pasturas ha demostrado claramente la necesidad de efectuar un pastoreo fuerte en forma temprana para reducir la competencia de la gramínea asociada.

6.5.3 Costa Rica

Establecimiento de *Arachis pinto* en asociación con *Brachiaria humidicola* utilizando diferentes métodos de propagación para la leguminosa. En un suelo ácido de San Isidro, Costa Rica, se estableció *Arachis pinto* CIAT 17434 utilizando: (1) estolones de 25 cm de largo, (2) semilla, y (3) plántulas de 1 mes de edad, en surcos alternos con *B. humidicola* cv. Llanero. El trasplante de plántulas de *Brachiaria* desde almácigo es un sistema ampliamente utilizado por pequeños agricultores de la región. La razón para esta práctica, según ellos, es económica, ya que se requiere menos semilla y es más segura para establecer pasturas en áreas de laderas pendientes. Treinta días después de siembra se encontró que el número de plantas establecidas fue igual en los tratamientos, pero aquellas plantas provenientes de semillas eran más vigorosas que aquellas de estolones o las plántulas trasplantadas.

6.6 Condiciones Optimas para Producción y Almacenamiento de Semillas

Colombia. En un estudio para determinar la viabilidad de cuatro lotes de semilla producida en diferentes regiones de Colombia, conservados bajo tres condiciones ambientales de almacenamiento: 25 a 30°C y 60% a 75% HR, 10 a 15°C y 50% a 55% HR (testigo A) y HR < 10% y 20°C (testigo B) se encontró, en pruebas de germinación 2, 4, 8, 10 y 14 meses después de la cosecha, que la dormancia produjo plántulas anormales y este efecto no desapareció completamente sino entre 6 y 8 meses después de la cosecha.

La semilla almacenada en las condiciones ambientales del CIAT Palmira, empezó a perder viabilidad 10 meses después de la cosecha, pero en las dos condiciones controladas no presentó disminución en la germinación, después de 14 meses de almacenamiento, cuando el estudio finalizó.

Bolivia. En Cochabamba, Bolivia, la empresa SEFO-SAM ha almacenado semilla de esta leguminosa durante 5 años con una pérdida de 10% en viabilidad. Por el contrario, semilla de buena calidad almacenada durante 2 meses en el ambiente húmedo del Caquetá, Colombia, perdió completamente su viabilidad después de 2 meses.

Las observaciones de campo sobre el manejo de semilla son también relevantes. Cuando la semilla se seca inmediatamente después de la cosecha se presentan pocos problemas con la germinación posteriormente. Sin embargo, el almacenamiento temporal en bolsas antes del secado favorece el ataque de hongos en las pruebas de germinación. Por lo tanto, es necesario investigar el efecto de la infestación fungosa en la viabilidad de la semilla.

Cronograma de logros esperados (1996-2000)

- 1996 Selección de nuevas accesiones de *Arachis* para multiplicación y liberación.
- 1997 Liberación preliminar de accesiones adaptadas a períodos largos de sequía y mayor persistencia bajo condiciones húmedas.
- 1998 Liberación de nuevos cultivares, semilla básica disponible.

Informe de la importancia del potencial comercial de plagas y enfermedades.
- 1999 Selección de nuevas accesiones resistentes a enfermedades.
- 2000 El programa de mejoramiento comienza a incorporar cultivares mejorados persistentes y resistentes a enfermedades con altos niveles de producción.

1. Título: FIO3 - Mejoramiento de *Stylosanthes*

2. Coordinadora del proyecto: Segenet Kelemu

3. Justificación

Las especies de *Stylosanthes* son leguminosas forrajeras tropicales y subtropicales con distribución natural en América Central y del Sur. Estas leguminosas están entre las más importantes de Australia, América Central y del Sur, África, Asia y partes del sur de EE. UU. Se utilizan como forrajeras, abono verde, producción de harinas integrales y mejoradoras de barbechos.

La antracnosis, causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc., es la enfermedad de *Stylosanthes* más importante y diseminada. En Colombia, se ha encontrado que la enfermedad ocasiona la pérdida completa de las plantas. El patógeno es una especie heterogénea que consiste en diversas poblaciones con especificidad de hospedante y amplio rango de variación, tanto en morfología como en patogenicidad.

El centro de origen del género *Stylosanthes* y, por lo tanto, el posible centro de diversidad genética del patógeno, es en América del Sur. Sin embargo, muy poco se conoce acerca de la composición fisiológica de las razas del patógeno en esta región, principalmente debido a la falta de cultivares y accesiones diferenciales apropiados. El conocimiento de la composición de razas de *C. gloeosporioides* y su distribución geográfica ayudarán en el desarrollo de programas de mejoramiento efectivos para resistencia a antracnosis y de estrategias para administrar los genes de resistencia.

4. Objetivos

- Aumentar y caracterizar la diversidad genética en especies de *Stylosanthes*.
- Seleccionar y desarrollar híbridos naturales y mejorados de germoplasma de *Stylosanthes* con alto rendimiento de semilla, buen vigor de plántula y resistencia a antracnosis.
- Determinar la variabilidad en el patrón de virulencia de aislamientos de *C. gloeosporioides* en Sur América y, seleccionar un conjunto de genotipos de *S. guianensis* que diferencien las razas fisiológicas del patógeno para determinar la diversidad genética de *C. gloeosporioides*.

5. Logros esperados

1. Especies de *Stylosanthes* caracterizados.

2. Genotipos naturales de *Stylosanthes* evaluados.
3. Nuevo acervo genético de *Stylosanthes*.
4. Rendimiento de semilla y persistencia de plantas conocidos.
5. Caracterización de *C. gloeosporioides*:
 - 5.1. Genotipos diferenciales de *Stylosanthes* identificados.
 - 5.2. Razas fisiológicas de aislamientos de *C. gloeosporioides* identificadas.
 - 5.3. Aislamientos de *C. gloeosporioides* caracterizados con base en marcadores moleculares.
 - 5.4. Aislamientos de *C. gloeosporioides* analizados bioquímicamente.
6. Estudios epidemiológicos.
7. Nuevas enfermedades identificadas.

6. Resumen de los resultados en el año 1995

Aspectos sobresalientes (1994-1995)

- Se identificó una amplia diversidad de germoplasma de *Stylosanthes* en grupos geográficos diferentes.
- Se identificaron genotipos de *Stylosanthes* con alto rendimiento de semilla.
- Se identificaron genotipos de *Stylosanthes* vigorosos y promisorios para resistencia a antracnosis.
- Se identificaron 17 genotipos diferenciales de *S. guianensis* con base en los patrones de virulencia de 45 aislamientos de *C. gloeosporioides*.
- Se determinaron 52 patotipos en aislamientos de *C. gloeosporioides* en América del Sur.
- Se encontró que los aislamientos de *C. gloeosporioides* de América del Sur son más complejos y diversos que los de Australia, según la prueba de patogenicidad y análisis de RAPD.
- Se demostró que el juego de cuatro diferenciales australianos de *S. guianensis* no son suficientes para la diferenciación de aislamientos sudamericanos del patógeno.
- Se encontraron patotipos "únicos" entre los aislamientos sudamericanos que pueden ocasionar infección cruzada de *Stylosanthes* spp.
- Se demostró que aislamientos provenientes de *Arachis pintoi* pueden causar síntomas de antracnosis en *Stylosanthes* spp.
- Se demostró que aislamientos que causan síntomas de antracnosis en *Stylosanthes* spp. producen enzimas que degradan la pared celular, lo que parece estar relacionado con virulencia.

6.1 Caracterización Bioquímica y Morfológica de Especies de *Stylosanthe*

En colaboración con estudiantes de pregrado de la Universidad del Valle, Cali, y

la Universidad Nacional de Colombia, Palmira, se están haciendo caracterizaciones morfológicas y bioquímicas de la extensa colección de *S. capitata* y *S. guianensis* (aproximadamente 300 y 1400 accesiones, respectivamente) existente en el Banco de Germoplasma la Unidad de Recursos Genéticos.

La caracterización morfológica de *S. capitata* mostró una gran variabilidad entre accesiones, con alguna relación al origen del germoplasma, no obstante, los datos generados aún se deben analizar. Los datos de *S. guianensis* muestran definitivamente una asociación de patrones de banda con el origen geográfico del germoplasma. Es necesario hacer algunos análisis adicionales para interpretar el significado en relación con la naturaleza de la diversidad y si hay significancia por evaluación de antracnosis.

6.2 Evaluación de Accesiones Naturales de *Stylosanthes*

En 1993 se sembraron 100 accesiones, y en 1994 se sembraron 135 accesiones del banco de germoplasma de *S. guianensis* en un suelo franco-arenosos del sitio Yopare, Carimagua, Colombia. Se evaluó la resistencia a antracnosis de las accesiones en condiciones naturales de infección. Inicialmente, la incidencia de la enfermedad fue leve en Yopare. Además, las accesiones sembradas en 1994 sufrieron una alta infestación por un barrenador del tallo (probablemente una especie de *Caloptilia*). Después de 18 meses de evaluación un alto número de accesiones *S. guianensis* var. *pauciflora* presentaban altas tasas de supervivencia. Se seleccionaron las accesiones de *S. guianensis* var. *pauciflora* CIAT 11415, 11645, 11671, 10929, 11413, 11646, 11682, 2996 y 10287, que fueron tan vigorosas como las líneas mejoradas *S. guianensis* CIAT 11844 y 11833. Estas accesiones y otras líneas mejoradas, se evaluarán bajo presión alta de antracnosis en parcelas grandes en Carimagua.

6.3 Nuevo Acervo Genético de *Stylosanthes*

6.3.1 Selección

Durante 1995, la mayoría de las poblaciones avanzadas progresó una generación adicional.

6.3.2 Evaluación de líneas mejoradas

Durante 1995, se estableció en el CI. Carimagua un experimento en parcelas pequeñas para evaluar los resultados del trabajo de mejoramiento con *Stylosanthes*. El ensayo incluye las 10 accesiones parentales originales del programa de hibridación iniciado en 1981, así como los productos de esta

actividad en la forma de dos líneas pedigree-derivadas (actualmente CIAT 11833 y 11844), y seis poblaciones avanzadas. Se espera evaluar los atributos forrajeros y de producción de semillas en estos materiales, así como la reacción a las enfermedades. La evidencia de los cambios genéticos, debidos a 12 generaciones de selección masal, puede evaluarse utilizando marcadores bioquímicos y/o moleculares apropiados

6.3.3 Evaluación a nivel de finca de líneas mejoradas

Los materiales del programa de mejoramiento de *Stylosanthes* son sometidos actualmente a pruebas intensas y muestran un buen comportamiento, por ejemplo, en los trabajos de sistemas de cultivo que se llevan a cabo a nivel de fincas en Puerto López, Llanos Orientales de Colombia, (J. I. Sanz, comunicación personal).

6.3.4 Poblaciones avanzadas de *S. guianensis*

La floración temprana y la resistencia a antracnosis de líneas *S. guianensis* fueron derivadas de poblaciones avanzadas provenientes del CIAT en las Filipinas y Brasil. Para crear poblaciones heterogéneas se mezclaron físicamente semillas de selecciones con fenología y características morfológicas similares. Seis de estas poblaciones se designaron como GC 1575, 1576, 1577, 1578C, 1579 y 1580; estas poblaciones se están reuniendo con otros 10 híbridos resistentes a antracnosis y altamente productivos (*S. guianensis* CIAT 11833, 11844, y poblaciones avanzadas no. 1 a 6) y dos controles estándar (*S. guianensis* CIAT 184 y 2312) para ensayos regionales extensos.

6.4 Estudios Sobre Rendimiento de Semilla y Persistencia de Plantas Forrajeras

Las plantas de *Stylosanthes*, en ausencia de enfermedades e insectos y con nutrición adecuada, pueden tener una vida finita. La vida media varía de 1 a 3 años y su duración depende de la especie y del manejo. Por lo tanto, además de la resistencia a enfermedades e insectos, la persistencia a largo plazo de esta leguminosa en asociaciones con gramíneas, dependerá de la capacidad para producir semilla suficiente bajo condiciones de pastoreo, seguido por el establecimiento exitoso de las plántulas de esta semilla en competencia con las gramíneas asociadas.

6.4.1 Rendimiento de semilla de líneas avanzadas

El incremento en la producción de semilla ha sido un objetivo principal en el mejoramiento de *S. guianensis*, además de la resistencia a antracnosis. Esto es

más importante en *S. guianensis* var. *pauciflora* de floración tardía, que en *S. guianensis* var. *vulgaris* de floración temprana, ya que el primero produce menos semilla que el segundo. Sin embargo, los tipos de *S. guianensis* var. *pauciflora* tienen, en general, mayor resistencia a antracnosis que los tipos *vulgaris*. La presión de selección por mayores rendimientos de semilla ha dado lugar a rendimientos relativamente grandes de semilla bajo condiciones de cero defoliación.

6.4.2 Supervivencia de plántulas en asociaciones con gramíneas.

La supervivencia de plántulas de leguminosas que crecen en asociación con gramíneas es afectada por la competencia de éstas por nutrientes y humedad y, en mayor grado, por luz. Las gramíneas estoloníferas, *B. dictyoneura* y *B. decumbens* se consideran más competitivas que las gramíneas erectas *A. gayanus* y *P. maximum*.

La supervivencia de las plántulas establecidas a través del tiempo se determinó mediante la distribución de semillas de la leguminosa en pasturas establecidas de gramíneas. Para evaluar la efectividad del procedimiento, se compararon dos líneas avanzadas de *S. guianensis* var. *pauciflora*, *S. guianensis* CIAT 11833 y 11844 con *S. capitata* cv. Capica en tres pasturas de gramíneas que fueron pastoreadas continuamente. Las gramíneas estaban en diferentes sitios, ambas especies de *Brachiaria* crecían en un suelo franco-arenoso y el *Andropogon* en un suelo franco-arcilloso. Los tratamientos se hicieron con y sin aplicación de P y K.

La germinación fue muy variable entre sitios, aunque la proporción de plantas sobrevivientes no fue afectada en el mismo grado que lo fue la germinación. La supervivencia de *S. guianensis* CIAT 11844 fue mayor que la de *S. guianensis* CIAT 11833, lo que sugiere una diferencia entre líneas en capacidad competitiva. No se encontró una diferencia consistente entre gramíneas en su efecto sobre la supervivencia de las leguminosas.

6.5 Caracterización de *Colletotrichum gloeosporioides*

6.5.1 Identificación de genotipos diferenciales de *Stylosanthes*

Las reacciones de 24 accesiones y líneas endogámicas de morfología diversa a aislamientos del patógeno recolectados en diferentes regiones, se utilizaron para seleccionar 17 genotipos diferenciales de *S. guianensis*. Aún no se conoce la identidad de los genes que confieren la resistencia a antracnosis en cada genotipo hospedante.

6.5.1.1 Desarrollo de las líneas endogámicas de *S. guianensis*. Las líneas endogámicas de *S. guianensis* se desarrollaron por descendencia a partir de semilla individual a través de varias generaciones, en número diferente según el genotipo, pero ninguno de ellos tuvo menos de cinco generaciones endogámicas, es decir, todos fueron esencialmente 100% homocigóticos.

6.5.1.2 Aislamientos de *C. gloeosporioides*. Se seleccionaron 45 aislamientos monoconidiales de *C. gloeosporioides* aislados de infecciones naturales en diversas accesiones y líneas avanzadas de *S. guianensis*. Treinta aislamientos eran del Caquetá (Amazonia colombiana), 11 de Carimagua (sabanas); 1 de Quilichao (Cauca, Colombia); 1 de Paragominas (Brasil); y 2 de Pucallpa (Amazonía peruana). Estos aislamientos se agruparon en 32 patotipos utilizando 17 genotipos diferenciales del hospedante.

Los aislamientos *C. gloeosporioides* CIAT 16093, 16094, 16135, 16162, 16176, 16133, 16140, 16134 y 13373 infectaron el cultivar Fitzroy de *S. scabra*, supuestamente resistente y no-hospedante. Estos aislamientos pueden representar un biotipo único. Exceptuando el aislamiento CIAT 13373, este grupo se recolectó en el Caquetá, en la Amazonía Colombiana. La significancia de la potencialidad de un biotipo nuevo se debe aún investigar.

En un experimento separado, cultivos del hongo aislados de plantas de *Arachis pintoi* con síntomas de antracnosis, fueron altamente virulentos en *Stylosanthes* en pruebas de invernadero.

6.5.2 Identificación de razas fisiológica de aislamientos de *C. gloeosporioides*

Se utilizaron dos juegos de diferenciales del hospedante para caracterizar la variabilidad patógena en 106 aislamientos de diversas regiones de América del Sur y Australia. Utilizando los 17 genotipos de *S. guianensis*, incluyendo cuatro diferenciales australianos, 72 aislamientos del Tipo B —específicos para *S. guianensis*— se agruparon en 52 patotipos. Sin embargo, utilizando sólo los cuatro diferenciales australianos, estos aislamientos se agruparon en 10 patotipos.

Los dendrogramas de estos aislamientos, con base en virulencia y avirulencia en los 17 genotipos del hospedante, reveló seis grupos al utilizar 80% de similitud. Los aislamientos caen, en general, en dos grupos principales por origen geográfico: las sabanas y la cuenca Amazónica de Colombia, con los aislamientos de otros orígenes dispersos dentro de estos grupos.

Ocho de 34 aislamientos Tipo A —no específicos para *S. guianensis*— *C. gloeosporioides* CIAT 12048, 11203, 10484, 10657, 14285, 13782, 16082 y 10738 fueron patógenos a *S. guianensis* cv. Endeavour. Estos aislamientos, originarios de América del Sur, pueden representar un cuarto grupo de patotipos que difieren de los Tipos A y B. El cultivar Fitzroy (*S. scabra*), supuestamente 'susceptible universal' a los aislamientos australianos de Tipo A, mostró resistencia a los aislamientos *C. gloeosporioides* CIAT 10471, 10484, 11203, 14285, 16084 y 16085. Ninguno de los diferenciales fue resistente a todos los aislamientos probados. Por otra parte, siete de los aislamientos: *C. gloeosporioides* CIAT 10351, 10480, 12048, 12414, 16086, 16088 y 16089 fueron patógenos en todos los diferenciales. Es importante notar que todos estos aislamientos, excepto CIAT 12048, son originarios de Brasil, uno de los centros de diversidad genética de las especies de *Stylosanthes*. Se identificaron 19 patrones de virulencia entre los 34 aislamientos similares al Tipo A en siete diferenciales.

6.5.3 Caracterización de aislamientos de *C. gloeosporioides* con base en marcadores moleculares

Se midió la diversidad genética de 138 aislamientos sudamericanos y australianos de *C. gloeosporioides* mediante RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA, en inglés) utilizando 11 iniciadores de 10 pares de bases (Kelemu, et.al., 1995). Las amplificaciones revelaron polimorfismo cuantificable entre aislamientos al evaluarse un total de 125 bandas.

No se encontraron correlaciones significativas entre diversidad genética y razas del patógeno. En general, los aislamientos se agruparon por su origen geográfico. Los aislamientos específicos de *S. guianensis* recolectados en el CI. Carimagua, un sitio en donde *Stylosanthes* se ha mejorado y seleccionado por varios años, mostraron un rango mayor de diversidad genética que los de Florencia, un sitio recientemente abierto para ensayos en la cuenca Amazónica de Colombia. En un experimento separado que involucraba aislamientos sudamericanos y australianos, los análisis de datos RAPD sugirieron que los antecedentes genéticos de aislamientos de patógenos sudamericanos son muy divergentes. Sin embargo, algunos aislamientos de *S. guianensis* del Caquetá fueron similares al biotipo B australiano.

6.5.4 Análisis bioquímico de aislamientos *C. gloeosporioides*

Los patógenos de plantas producen muchos tipos de enzimas que degradan la pared de las células, y en varias enfermedades estas enzimas desempeñan un papel principal en el proceso de infección y en el desarrollo de los síntomas. Se ha demostrado que varias especies de *Colletotrichum* producen enzimas que

degradan la pared celular de cultivos durante la infección de los tejidos de la planta. Sin embargo, no existe información sobre la producción de éstas por aislamientos de *C. gloeosporioides* que infectan especies de *Stylosanthes*. Se menciona aquí la detección de actividad de pectato liasa en *C. gloeosporioides* en tejidos infectados de *Stylosanthes*. La actividad detectada en geles de enfoque isoeléctrico ultrafinos de estas preparaciones revelaron la presencia de isoenzimas con pHs desde ácidos hasta alcalinos. El papel de cada una de estas isoenzimas en la patogenicidad debe ser investigada.

6.6 Estudios Epidemiológicos

En Carimagua y el Caquetá, Colombia, se sembraron 32 genotipos seleccionados de *S. guianensis* y *S. scabra*, en sitios próximos a las estaciones meteorológicas con el objeto de registrar los diversos parámetros del clima: temperatura del dosel, humedad del follaje, precipitación, temperatura del aire. Se evaluó la severidad de la antracnosis con el objeto de comprender el progreso de esta enfermedad y su relación con las condiciones del clima. Estudios similares se están realizando en Planaltina y Campo Grande, Brasil. Los aislamientos de *C. gloeosporioides* recolectados de los genotipos hospedantes se caracterizan utilizando diferenciales a nivel molecular. Estos estudios se realizarán durante un período de 2 a 3 años.

6.7 Identificación de Nuevas Enfermedades

6.7.1 Muerte descendente y marchitamiento de *Stylosanthes* spp.

En campos de *Stylosanthes* en Brasil y Colombia, se ha observado una enfermedad que se caracteriza por muerte descendente y marchitamiento. En 1995, en Campo Grande, Brasil, fue evidente un caso severo de la enfermedad en un lote de multiplicación de semillas de *S. guianensis* cv. Mineirao. La enfermedad, a menudo, se observa en Carimagua, Colombia. Se aisló de muestras de tallo infectados un hongo que produjo un número limitado de esporas en agar de jugo V-8 y agar extracto de levadura, después de 21 días de incubación a 28 °C. La identificación correcta del hongo se encuentra actualmente en progreso.

6.7.2 Quemazón por añublo

En parcelas de *Stylosanthes* en el Caquetá, Colombia, se observó quemazón por añublo, causado por *Botrytis cinerea*. Las condiciones húmedas en la región favorecieron el desarrollo de la enfermedad, caracterizada por quemazón severa en los ápices y muerte descendente. La enfermedad se detectó en 1979 en San

José del Nus, Colombia, atacando *S. guianensis* y *S. hamata*. En condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad, pueden ocurrir grandes pérdidas de rendimiento de semilla en genotipos susceptibles.

Cronograma de logros esperados (1996-2000)

- 1996 Determinada la diversidad genética y la variabilidad patogénica de una muestra representativa de la población sudamericana de *C. gloeosporioides*.
- 1997 Descrita la epidemiología de *C. gloeosporioides* en cuatro sitios de sudamérica.
- 1998 Liberadas accesiones y líneas de *Stylosanthes* con buena persistencia.
- 1999 Identificadas líneas con resistencia a antracnosis y a otras enfermedades con potencial de nuevos cultivares.
- 2000 Disponibles para incluir en un programa de mejoramiento nuevos cultivares persistentes de *Stylosanthes*.

1. Título: FS03 - Componentes para Sistemas de Producción

2. Coordinador del proyecto: Carlos E. Lascano

3. Justificación

Para asegurar la adopción de nuevos componentes forrajeros por productores es necesario evaluar su comportamiento en sistemas de producción conocidos, además, se debe asegurar su adaptación en un ambiente específico y desarrollar sistemas de multiplicación y distribución de semillas.

Este proyecto se considera como una interfase entre el desarrollo de germoplasma y la adopción por productores de los componentes forrajeros desarrollados por el Programa de Forrajes del CIAT en colaboración con otros programas del CIAT e instituciones nacionales.

4. Objetivo

Desarrollar y evaluar el impacto socioeconómico y ambiental de nuevos componentes forrajeros en diferentes sistemas de producción.

5. Logros esperados

1. Leguminosas arbustivas para suelos ácidos de baja fertilidad.
2. Leguminosas para mejorar sistemas de rastrojo.
5. Forrajes para cobertura del suelo, control de erosión y de malezas.
4. Asociaciones de gramíneas y leguminosas para tierras bajas.
5. Asociaciones de gramíneas con leguminosa para sistemas agropastoriles.
6. Multiplicación de semillas
7. Estudios socioeconómicos de adopción de especies forrajeras

6. Resumen de los resultados en 1995

Aspectos sobresalientes

- Se encontró que:

Cuando la leguminosa arbustiva *Cratylia argentea* se suministra a ovinos confinados y alimentados con gramíneas de baja calidad se logra un mayor consumo, y cuando se suministra a vacas que pastorean en gramíneas solas resulta en más producción de leche.

En las sabanas, *Arachis pintoii* CIAT 22160 es más competitivo que *A. pintoii* cv. Maní Forrajero (CIAT 17434) en sistemas cultivos-pasturas.

En un Ultisol de Quilichao se alcanza un buen control de la erosión y un alto rendimiento de la yuca cuando ésta se cultivó después de una rotación de 2 años de *Brachiaria decumbens* con *C. macrocarpum*.

Arachis pintoii está siendo difundido por las empresas de semilla comercial en muchas regiones de Colombia y que está en una fase temprana de adopción por los productores.

La rentabilidad marginal, según análisis ex-ante, para la producción de leche en pasturas asociadas con *A. pintoii* es mayor que en pasturas fertilizadas con nitrógeno, aun cuando las primeras se renueven periódicamente.

- Se demostró que:

Centrosema macrocarpum CIAT 5713 es una leguminosa útil para mejorar los suelos de ladera degradados por cultivos anuales.

La competencia de las leguminosas sobre el cultivo de la yuca en asociación varió entre especies debido a diferencias en sistema radicular siendo muy compatible la *Chamaecrista rotundifolia* CIAT 8990 en laderas de altitud media.

Las gramíneas y las leguminosas usadas para mejorar los rastrojos en laderas pueden introducirse directamente o durante la fase final del cultivo.

- Se identificó la gramínea elefante enano cv. Mott (*Pennisetum purpureum*) como una barrera excelente contra la erosión del suelo en laderas de altitud media.
- Se inició un proyecto colaborativo en el piedemonte caqueteño para recuperar pasturas degradadas en sistemas doble propósito mediante la introducción de leguminosas.

6.1 Leguminosas Arbustivas para Suelos Acidos

Las especies que han sido seleccionadas para estudios en estación experimental y de alimentación animal a nivel de finca son: *Cratylia argentea*, *Codariocalyx gyroides*, *Flemingia macrophylla* y *Desmodium velutinum*.

6.1.1 Utilización de *Cratylia argentea* como suplemento a gramíneas de baja de calidad

El arbusto *Cratylia argentea* tiene alto valor potencial como fuente de alimentación en sistemas tropicales de producción pecuaria, en áreas subhúmedas con suelos ácidos. Estudios con ovinos alojados en jaulas metabólicas y alimentados con gramínea sola, o con gramíneas + hojas de *C. argentea* en tres niveles (10%, 20% y 40%) mostraron que el consumo total de MS aumentó linealmente con el incremento en los niveles de leguminosa en la ración. Esto a su vez estuvo relacionado con mayor absorción de nitrógeno en el tracto posterior.

6.1.2 Suministro de leguminosas arbustivas y producción de leche

En la estación CIAT-Quilichao el uso de hojas marchitas frescas de *C. argentea* como suplemento en la época seca, resultó en un aumento, en promedio, de 13% en la producción de leche por vacas que pastoreaban *B. dictyoneura* cv. Llanero. En el mismo experimento cuando se suplementó *F. macrophylla*, de inferior calidad, no aumentó la producción de leche, en relación con el tratamiento testigo. Las diferencias en calidad entre las dos leguminosas se reflejaron en el consumo diario de MS (3 vs. 6 g/kg de PV) y en la urea presente en la leche (9 vs. 15 mg%), lo que indica degradación de proteína en el rumen.

6.2 Leguminosas para Mejorar Rastrojos

La mayoría de los pequeños productores en sistemas agrícolas de secano emplean un sistema rotacional, en el cual a un período de cultivo sigue un período de descanso de la tierra (rastrajo) de duración variable.

6.2.1 Efecto del rastrojo mejorado con leguminosas en el rendimiento de los cultivos

En el norte del Cauca los suelos se encuentran altamente erodados y disectados en laderas que han sido utilizadas para cultivar yuca, frijol y maíz, y para pastoreo intensivo. En esta zona se realizó un ensayo para observar si las leguminosas afectan el rendimiento siguiente de maíz y si la duración del rastrojo era importante. Se aplicaron diferentes niveles (kg/ha) y combinaciones de fósforo (P) (20, 100), de potasio (K) (20, 50) y azufre y magnesio, ú 800 kg/ha de gallinaza. Las leguminosas establecidas fueron *Centrosema macrocarpum* CIAT 5713; y Caupí seguido por *Cajanus cajan*, 6 meses después.

La introducción de las leguminosas fertilizadas en rastrojos aumentó el rendimiento del maíz, en comparación con el rastrojo natural. Este efecto fue mayor donde la leguminosa se fertilizó con 20 kg/ha de P. El rendimiento de maíz fue aún mayor cuando se aplicaron nutrientes adicionales o gallinaza. El efecto máximo de *C. macrocarpum* fue evidente en el primer cultivo de maíz; mientras que *C. cajan* presentó su efecto máximo en la segunda siembra de maíz, a los 18 meses. Los resultados demuestran que un sistema en el cual el rastrojo se mejora con leguminosas tiene el potencial para aumentar la productividad de estos suelos de ladera. El mejoramiento ocurre después de 6 meses de crecimiento vigoroso de las leguminosas.

6.2.2 Establecimiento de gramíneas y leguminosas en sistemas con yuca y rastrojo en el Cauca, Colombia

Tiempo de establecimiento. La introducción de leguminosas y gramíneas al final del ciclo de un cultivo anual dependerá de un método que pueda ser utilizado fácilmente por agricultores y que involucre un gasto mínimo de tiempo y dinero. En El Pital (1300 m.s.n.m., 1700 mm) se realizó un experimento para determinar si era posible establecer una pastura después de yuca fertilizada con gallinaza, sin necesidad de preparar el suelo. La siembra se hizo inmediatamente se cosechó la yuca (noviembre 4) ó 1 mes más tarde, con una mezcla de leguminosas y *P. maximum*. Se aplicaron cuatro niveles de fertilización: 0, 25 y 100 kg/ha de P y 4000 kg/ha de gallinaza.

Los resultados indicaron que es preferible sembrar la mezcla de gramíneas + leguminosas en el momento de la cosecha de la yuca y no en forma tardía. El establecimiento de las leguminosas durante la última deshierba de la yuca y de las gramíneas después de la cosecha, probablemente daría lugar a una proporción mayor de leguminosa. La supervivencia y vigor de la leguminosa también sería mejor si la gramínea se defolia en forma temprana mediante pastoreos estratégicos.

Métodos de establecimiento. Para probar la hipótesis sobre si tiene alguna ventaja en mejorar rastrojos con leguminosas en siembra directa, se evaluaron diferentes métodos de preparación de suelos, siembra y aplicación de fertilizantes en un rastrojo degradado. El suelo se preparó con "rotavator" y aplicación de Round-up, y la pastura establecida fue una mezcla de *B. dictyoneura* CIAT 6133 con *C. macrocarpum* CIAT 5713, *C. acutifolium* el CIAT 15249, *Vigna unguiculata* CIAT 4537 y *Stylosanthes guianensis* CIAT 11844. Los resultados mostraron un buen establecimiento de la gramínea, de *Vigna unguiculata* y *S. guianensis*, y que en una aplicación baja de P, conjuntamente con la aplicación de un herbicida o algún tratamiento de remoción del suelo, ayudan en el establecimiento de pasturas mejoradas en rastrojos degradados en zonas de ladera.

6.3 Forrajes para Cobertura de Suelos, Control de Erosión y de Malezas

6.3.1 Leguminosas forrajeras como cultivos de cobertura

La yuca se cultiva frecuentemente en laderas de baja fertilidad y puede causar niveles altos de erosión de suelo. Sin embargo, en laderas con pendientes de 10% a 15% la siembra de leguminosas forrajeras intercalada en la yuca reduce las pérdidas anuales de suelo, desde niveles de 10 a 20 t/ha hasta valores tan bajos como 1 a 3 t/ha. Debido al crecimiento inicial lento de la mayoría de las leguminosas, el control de la erosión es eficiente sólo en el segundo ciclo de crecimiento de la yuca, cuando aquellas se encuentran bien establecidas. Estas reducciones se compensan en parte, por los rendimientos entre 2 y 4 t/ha de MS del forraje. Como resultado de las actividades de selección de leguminosas por baja competencia a nivel radicular y cobertura rápida, se identificó a *Chamaecrista rotundifolia* CIAT 8990 como promisoría para intercalar con yuca en zonas hasta 1200 m.s.n.m.

6.3.2 Uso de gramíneas para la conservación de suelos

En estudios realizados en estación experimental y en fincas, el elefante enano (*Pennisetum purpureum*) cv. Mott presentó características excelentes como gramínea para plantar en barreras. En 1994, se establecieron parcelas de multiplicación para satisfacer la demanda de esta gramínea por organizaciones y comunidades de agricultores locales. Cuando esta gramínea se plantó como barrera viva cada 8 m ó cada 10 m en laderas en el norte del Cauca, Colombia, en sitios entre 1000 y 1600 m.s.n.m., mostró buena adaptación y superó el desarrollo de otras gramíneas de corte, comúnmente utilizadas en la región.

6.4 Asociaciones de Gramíneas y Leguminosas para Tierras Bajas del Trópico

Se está evaluando en fincas la productividad de las pasturas asociadas de gramíneas y leguminosas utilizando métodos participativos que permitan agilizar su adopción por los productores. Las actividades de evaluación a nivel de finca se encuentran actualmente en marcha en sistemas de doble propósito en los márgenes de bosque del Caquetá.

6.4.1 Pasturas con base en leguminosa en márgenes de bosques del Caquetá, Colombia

El Piedemonte caqueteño en Colombia, con suelos ácidos (Ultisol) y precipitación alta (3600 mm/año), ha estado sujeto a un proceso intensivo de colonización. Como consecuencia, existen aproximadamente 1 millón de hectáreas totalmente

deforestadas, en gran parte dedicadas a la producción pecuaria en sistemas de doble propósito.

Actualmente se desarrolla un proyecto colaborativo Nestlé-CORPOICA-U. de la Amazonia-CIAT en ajuste y validación de tecnologías de pasturas con énfasis en leguminosas. Este proyecto, de 4 años de duración, cuenta con el apoyo financiero de Nestlé de Colombia. El objetivo es demostrar la factibilidad de intensificar la producción en los sistemas de doble propósito de la región, mediante la rehabilitación de pasturas degradadas en zonas de bosque ya taladas. Los principales resultados esperados del proyecto en los próximos 4 años son: (a) nuevas opciones de forraje para los productores; (b) métodos alternativos para el establecimiento de pasturas de gramíneas-leguminosas; (c) establecimiento de pasturas de gramíneas-leguminosa en 10 fincas, mediante la asistencia directa del Proyecto y en 20 ó 30 fincas más, según iniciativa de los productores; (d) cuantificación del efecto de las pasturas de gramíneas-leguminosas en la producción animal y el mejoramiento de los suelos; (e) capacitación de profesionales en agronomía de forrajes y en métodos participativos de evaluación de pasturas a nivel de finca.

6.4.2 Establecimiento de pasturas asociadas de gramíneas con leguminosa

En 1995, se sembraron 40 ha de *A. pintoii* cv. Maní Forrajero (CIAT 17434) con *Brachiaria* spp. Un costo alto en el establecimiento de *A. pintoii* fue la semilla y mano de obra (3 a 5 jornales/ha), ya que la siembra se ha hecho en forma manual debido a falta de maquinaria en la región. El establecimiento inicial de la leguminosa fue excelente en todas las fincas. Sin embargo, en una de ellas se perdió poco después del establecimiento debido a la competencia intensa de *B. decumbens* y *B. brizantha*, que se establecieron en forma rápida. No fue posible hacer un pastoreo al inicio del establecimiento para eliminar la competencia, ya que el productor consideraba que esto sería perjudicial a las gramíneas. En otras fincas, el pastoreo temprano de pasturas de *A. pintoii* en asociación con *B. decumbens* resultó en el desarrollo excelente de la leguminosa.

6.4.3 Cursos técnicos cortos y días de campo

Un objetivo importante del Proyecto es intercambiar información técnica sobre factores relacionados con el establecimiento de pasturas mejoradas. En la estación experimental CORPOICA- Macagual se realizaron tres cursos sobre suelos, reciclado de nutrientes y biología de suelos.

En una de las fincas involucradas en el Proyecto se realizó un día de campo con la participación de 80 ganaderos. El programa incluyó información sobre establecimiento y los beneficios de *Arachis* en producción animal y una visita a pasturas asociadas de gramíneas y leguminosa recientemente establecida.

6.5 Asociaciones de Gramíneas y Leguminosas para Sistemas Agropastoriles

Cerrados

En el cerrado brasileño, el uso intensivo de algunas áreas para monocultivos y desarrollo de pasturas, ha incrementado algunas prácticas que no son ambiental ni económicamente sostenibles. Por lo tanto, se deben implementar sistemas alternativos de uso de la tierra para detener y recuperar la productividad y las pérdidas creciente del suelo y el agua. Entre las tecnologías con potencial para lograr este cambio, que viene probando el Programa de Trópico Bajo en colaboración con el Programa de Forrajes Tropicales, se encuentra la combinación de cultivos y pasturas en el espacio y en el tiempo.

6.5.1 Selección de leguminosas bajo cultivos

En Uberlandia, MG, Brasil, se realizó un experimento en parcelas pequeñas con suelo arenoso para probar la capacidad de establecimiento de tres accesiones preseleccionadas de *Calopogonium mucunoides*, *Pueraria phaseoloides* y *A. pintoi*. Como especies de referencia se utilizaron *S. guianensis* cv. Mineirao, *C. mucunoides* y *Neonotonia wightii*. Todas las accesiones se sembraron solas y en forma simultánea con maíz y *P. Maximum* cv. Tanzania en dos surcos de 2 m y cuatro repeticiones. Se encontró una disminución en la población de plantas y en el rendimiento de las leguminosas, cuando se sembraron con el cultivo o con el cultivo y la gramínea. Sin embargo, la reducción de la población de la leguminosa en el tratamiento cultivo-leguminosa+gramíneas fue menor en el caso de *A. pintoi* CIAT 22160 (BRA 031143) y mayor en *S. guianensis* cv. Mineirao.

6.5.2 Prueba a nivel de finca de sistemas agropastoriles mejorados

En 1992, en varias fincas de Uberlandia con suelos contrastantes (arenosos y arcillosos), se rehabilitaron pasturas degradadas de *Brachiaria* en sistemas de producción ganadera, mediante el cultivo de arroz y una mezcla de leguminosas forrajeras incluyendo *S. guianensis* cv. Mineirao, *C. mucunoides* y soya perenne. La misma mezcla de leguminosas se sembró con *P. maximum* cv. Vencedor y maíz en un sistema de rotación cultivos-pastos.

El establecimiento de las leguminosas en el sistema de producción ganadera con bajos insumos fue excelente, pero fue pobre en el sistema de rotación de cultivos-pasturas con altos insumos. Después de tres años de pastoreo, *S. guianensis* cv. Mineirao todavía estaba contribuyendo a la biomasa total de la pastura recuperada con arroz y leguminosas, tanto en los sitios de suelo arenoso como en los arcillosos. La proporción de la leguminosa verde, disponible para pastoreo en

la época seca, se ha mantenido alrededor de 50% a 60%. Los resultados del comportamiento de los animales indicaron un aumento de 50% en la ganancia de peso vivo en este sistema, en comparación con las ganancias alcanzadas en el sistema de recuperación con arroz pero sin leguminosa.

Carimagua, Llanos Orientales de Colombia

En sistemas de arroz-pastos en el cual el primero se fertiliza, proporciona un suelo más fértil para el establecimiento y la producción de gramíneas y leguminosas. En estos sistemas varias especies de gramíneas y leguminosas seleccionadas para los suelos más pobres de los Llanos Orientales de Colombia se establecen bien y son productivas en suelos que han recibido fertilización, entre ellas: *B. dictyoneura* y *B. humidicola*, *S. capitata* cv Capica, *C. acutifolium*, *D. ovalifolium* y *A. pintoii*. Sin embargo, existe una demanda por especies de leguminosas con capacidad para establecerse y persistir cuando se establecen con un cultivo como maíz que requiere una alta aplicación de fertilizante.

6.5.3 Establecimiento con maíz (1994)

Una accesión nueva de *P. maximum* se estableció con varias especies de leguminosas y con una mezcla de ellas bajo un cultivo de maíz que había recibido la fertilización normal (kg/ha) (60 P, 100 K, 120 N, 20 S, 10 Zn, 2 B). El suelo se había encalado y fertilizado un año antes para un cultivo de maíz similar. El establecimiento de la gramínea y las leguminosas fue bueno; y se cosechó 1.5 T/ha de grano de maíz. Después de la cosecha, la soca de maíz y la pastura resultante se utilizaron con cargas animales altas durante el resto de la estación lluviosa. La pastura no se utilizó durante la estación seca, siendo la recuperación de las leguminosas muy buena, excepto *N. wightii* que se había establecido de manera deficiente.

Durante 1995, el área ha estado sometida a pastoreo moderado cada 21 a 28 días y la persistencia relativa y productividad de las leguminosas han sido de buena a pobre, según el orden siguiente: *A. pintoii* CIAT 22160 > *P. phaseoloides* el CIAT 8042 > *C. pubescens* CIAT 438 > la mezcla de líneas de *S. guianensis* > *N. wightii* cv. Cooper.

6.6 Multiplicación de Semillas

6.6.1 Unidad de Semillas en el CIAT-Palmira

En 1995, el Programa de Forrajes Tropicales creó en CIAT Palmira una unidad pequeña de multiplicación con el mandato para producir y distribuir semilla de accesiones de forrajeras seleccionadas para experimentación interna y externa.

Las áreas de multiplicación están localizadas en CENICAFE, Chinchiná, y en campos de las estaciones CIAT-Quilichao y CIAT-Popayán.

La unidad estableció 127 parcelas en la estación CIAT-Popayán con un área total aproximada de 2.4 ha, principalmente de accesiones de *Brachiaria*. En este mismo año se establecieron en CIAT-Quilichao 0.7 ha con dos accesiones de *P. maximum*, y en Chinchiná 0.5 ha de *Arachis pintoii* (7 accesiones). La unidad recibió 598 solicitudes durante 1995, de las cuales se han entregado 457 y un total de 1.35 t de semillas experimental.

6.7 Estudios Socioeconómicos de Adopción de Especies Forrajeras

6.7.1 Estudio de aceptabilidad y adopción temprana de *A. pintoii* en Colombia

Se estudió la aceptabilidad de *A. pintoii* cv. Maní Forrajero (CIAT 1743) por productores a través de una encuesta telefónica en Colombia en la que se entrevistaron 50 productores que habían comprado semilla de *A. pintoii*. Los resultados indicaron que: (a) *Arachis pintoii* se está difundiendo en todo el país, aun en áreas con condiciones ecológicas no apropiadas para su crecimiento o que tienen una estación seca prolongada; (b) la leguminosa se estableció en 37 (39%) casos en asociación con gramíneas; como cobertura de suelo en cultivos de café, cítricos, palma y banano en 24 (26%) parcelas; y solo como semilleros para propagación vegetativa en 34 (36%) parcelas; La razón principal de los productores para adoptar *A. pintoii* es su expectativa sobre el aumento de la productividad de la pastura (42% de los productores entrevistados). Casi la cuarta parte (14) de los productores encuestados creen que *A. pintoii* es una alternativa nueva para cobertura del suelo; (d) aproximadamente la tercera parte (17) de los productores que sembraron *A. pintoii* informaron que tuvieron problemas durante el establecimiento. Las dificultades más frecuentes fueron el control de malezas (53%), el estrés por sequía (29%) y el lento establecimiento (24%); (e) para el 69% de los productores encuestados la experiencia con *A. pintoii* ha sido positiva, y un porcentaje igual esperan aumentar el área de siembra próximamente.

6.7.2 Análisis económico ex-ante de nuevas alternativas de pasturas a nivel micro

Se realizó un análisis económico ex-ante a nivel micro, utilizando como indicadores de productividad los resultados experimentales alcanzados en un bosque húmedo de Costa Rica, en los cuales se había obtenido 15% de aumento en producción de leche en pasturas de estrella + *A. pintoii* en relación a estrella + N. Para el análisis económico se asumieron: (1) un período de 10 años de

producción continua, (2) la pastura de estrella se fertiliza cada año con 100 kg/ha de N, (3) la pastura *Cynodon* sp. + *A. pintoí* se renueva después de 3 años de producción continua, y (4) se asumió que los costos relacionados con manejo del pastura asociada con *A. pintoí* eran 50% mayor que aquellos de la gramínea sola con N.

En términos de rentabilidad marginal, las dos alternativas son altamente atractivas. Sin embargo, aun con renovación periódica de la pastura asociada con *A. pintoí*, los retornos son ligeramente mayores con la alternativa de la leguminosa (73%) que con la aplicación de N (67%). La pastura de *A. pintoí* puede perder hasta 10% de su productividad por año y todavía continúa siendo más lucrativa que la pastura de gramínea sola fertilizada con N.

Cronograma de logros esperados (1996-2000)

1996 Cuantificada la producción de leche con suplementación estratégica de leguminosas arbustivas en función de oferta de forraje en áreas de pastoreo.

Iniciada la evaluación en fincas con participación de productores de leguminosas arbustivas como suplemento en sistema doble propósito.

1997 Iniciada la evaluación en finca de *Arachis pintoí* más tolerantes a sequía y más compatibles con cultivos y con gramíneas agresivas.

Cuantificado el efecto en producción de cultivos de pastoreo de gramíneas y leguminosas introducidos en rastrojos de ladera.

Cuantificado el efecto en erosión del suelo con gramíneas de corte como barreras.

1998 Cuantificado en fincas doble propósito del efecto de *Arachis pintoí* en producción de leche.

Cuantificado en fincas doble propósito el efecto de la suplementación estratégica en época seca de leguminosas arbustivas.

Disponibilidad de semilla básica de nuevos ecotipos de *Arachis pintoí* y *Stylosanthes* para validación y difusión.

1999 En marcha adopción de *Arachis pintoí* y otras leguminosas herbáceas y arbustivas por productores de ganado doble propósito.

Disponibilidad de semilla básica de genotipos de *Panicum maximum* y

Brachiaria para validación y difusión.

2000 Cuantificado el grado de adopción por productores de *Arachis pintoi* y leguminosas arbustivas en sistemas doble propósito de áreas húmedas y subhúmedas.

Cuantificado el grado de adopción de leguminosas para cobertura en cultivos y para mejorar rastrojos en laderas.

II. ACTIVIDADES DE INVESTIGACION EN ARROZ

RESUMEN

El Gobierno de Colombia, a través de su aporte directo a las investigaciones del CIAT, ha señalado como de alta prioridad, dentro del Programa de Arroz, cinco proyectos que en la actualidad son cofinanciados por el país y por el Centro. Estos proyectos son:

1. Mejoramiento de Arroz para incrementar volumen y eficiencia en la producción
2. Mejoramiento de Germoplasma para Arroz de Secano
3. Resistencia durable al Añublo
4. Mejoramiento para Control de Malezas
5. Manejo Integrado de Plagas y de Cultivos

Estos cinco proyectos conforman la base de la investigación arroceras en el CIAT y constituyen un dominio de investigación en el que todos los proyectos se complementan mutuamente. Ante la reducción de aportes por parte del CIAT al Programa de Arroz en los últimos años, el aporte del Gobierno a este Programa constituye una contribución definitiva para mantener una masa crítica mínima que garantice la continuidad del impacto notorio que este programa ha tenido desde su inicio en 1967.

La contribución de estos proyectos a Colombia se desarrolla en el marco de lo que fue el triángulo ICA-FEDEARROZ-CIAT que hoy se amplía con la colaboración de CORPOICA. Los principales resultados para Colombia de nuestras investigaciones se enumeran a continuación.

Proyecto: MEJORAMIENTO DE ARROZ DE RIEGO PARA INCREMENTAR VOLUMEN Y EFICIENCIA EN LA PRODUCCIÓN

El 16 de Enero de 1995, se firmó en el CIAT el Acta de Constitución del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego, FLAR, con la participación de cuatro países (Brasil, Colombia, Uruguay y Venezuela), del IICA y del CIAT. Este Fondo cuenta con el apoyo del Programa de Arroz, que se encarga de la función directiva y sirve de sede al mismo. Todos los materiales avanzados de las pruebas regionales y de rendimiento de FEDEARROZ y CORPOICA provienen del Programa de Arroz del CIAT. El Programa de Arroz continúa colaborando en la evaluación de estos materiales. En Agosto de 1995 se realizó en el CIAT un Taller para mejoradores de Arroz en el cual participaron 100 investigadores de 20 países. Por Colombia, participaron 21 investigadores en representación de CORPOICA, FEDEARROZ, Universidad de Córdoba y semilleristas de Semillano, la Esmeralda y el Zorro. En

el Taller, se exhibieron líneas del nuevo tipo de planta desarrollado por el IRRI (el "Super Arroz"). El Programa de Arroz viene trabajando con introducciones y evaluaciones de este promisorio material desde 1995. Dos variedades comerciales de Colombia (Oryzica 3 y O. Llanos 5) así como otras dos de la región (Morelos y BG90-2) se cruzaron con especies silvestres de arroz. Las plantas F1 resultantes se retrocruzaron con las variedades comerciales y se obtuvieron en 1995 un total de 100 y 180 semillas de F1BC1. Durante 1996, se hará un ensayo de rendimiento sobre los F2BC2 y se continuará enfatizando el trabajo con el nuevo tipo de planta. Así mismo, la colaboración con el mejorador del FLAR será prioritaria.

Proyecto: MEJORAMIENTO DE ARROZ DE SECANO

En 1995, se liberó la variedad Oryzica Sabana 10, especialmente adaptada a los suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia. Esta variedad es producto de cruzamientos hechos en CIAT y de las pruebas de evaluación que se hicieron conjuntamente con ICA y CORPOICA. La variedad supera a Oryzica Sabana 6, lanzada en 1991, tanto en calidad, como en resistencia a pyricularia y en rendimiento. El objetivo es ofrecer una nueva alternativa al ganadero para formación y/o renovación de sus praderas a través del cultivo del arroz. CORPOICA recibió del Programa de Arroz siete (7) líneas avanzadas que deberán ir a Pruebas Regionales en 1996 en diferentes localidades. La capacitación a técnicos colombianos en el área de arroz de secano continuó siendo una actividad primordial para fortalecer los trabajos de CORPOICA.

Proyecto: RESISTENCIA DURABLE AL AÑUBLO DEL ARROZ (*PYRICULARIA GRISEA*)

En 1995, se caracterizaron la estructura genética y las frecuencias de virulencia del hongo en áreas arroceras de secano de las sabanas de los Llanos Orientales y en las áreas de arroz de riego y secano favorecido del Meta. Los estudios sobre herencia y disección de genes de resistencia al añublo en la variedad Oryzica Llanos 5 (que es una variedad colombiana, obtenida por el triángulo ICA-FEDEARROZ-CIAT que tiene mayor resistencia estable a pyricularia en el mundo) permitieron producir durante 1995 un total de 248 líneas recombinantes. Los marcadores encontrados podrán ser utilizados para identificar germoplasma que contenga dichos genes de resistencia. Un estudiante de maestría (empleado de Fedearroz) y otro de Doctorado de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, iniciaron sus trabajos de investigación en pyricularia.

Proyecto: MEJORAMIENTO PARA CONTROL DE MALEZAS

En 1995, se condujeron experimentos con 10 variedades comerciales de riego, de las cuales cinco son colombianas (Cica 4, 8 y 9, Oryzica 1 y 3) en los que se permite la libre emergencia de malezas. Cica 8 y Cica 9, con Eloni son las más

competitivas. En 1996 se harán estudios sobre la heredabilidad de la competitividad para incorporarla en germoplasma de arroz de riego. En cuanto a la identificación de material con buen crecimiento y emergencia en condiciones anaeróbicas, se tienen 5 variedades con más del 90% de emergencia. Estos materiales permiten control de malezas mediante lámina de agua en la siembra. Un ecofisiólogo de CORPOICA recibió entrenamiento en este campo de investigación durante 1995.

Proyecto: MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS Y DE CULTIVOS

En 1995, continuaron los estudios de resistencia al Propanil en poblaciones de *Echinochloa colona*. Esta investigación contó con la colaboración de una catedrática de la U. Nacional (Bogotá), fue parte de la capacitación de un técnico de CORPOICA y fue tema de investigación de una tesis de grado en la U. Nacional (Palmira). El fisiólogo del CIAT es miembro del Comité Especial para la Detección y Manejo de la Resistencia a Herbicidas en Arroz creado por COMALFI. En cuanto a estudios de umbrales de daño, se tiene ya una función de pérdida que permite establecer umbrales bajo diversos escenarios de producción. Un ecofisiólogo de CORPOICA se está capacitando en este tema.

El Programa de Arroz continúa trabajando en estrecha relación con un gran número de entidades colombianas. En 1995, se incrementó el contacto directo con el sector privado al abrir el Taller de Mejoradores a todos los que quisieran costear su participación; esta nueva práctica incrementó el número de participantes y debe contribuir a mejorar la eficiencia y competitividad del sector arrocero de Colombia.

La creación del FLAR en Enero de 1995, a la que asistieron el Viceministro de Agricultura de Colombia, Dr. Juan José Perfetti del Corral, y el Director de la Unidad de Desarrollo Agrícola del DNP, Dr. Alvaro Balcázar, es un paso importante en la privatización de la investigación regional de arroz. La sede del FLAR está en el CIAT, lo que contribuye a fortalecer la capacidad de investigación de ambos con el evidente beneficio directo de Colombia, que es socio fundador del FLAR a través de FEDEARROZ.

La contribución de Colombia a este Programa ratifica el liderazgo regional del país en este exitoso y rentable campo de la investigación agropecuaria a nivel de América Latina y del Caribe. Es nuestro propósito garantizar que esta inversión continúe produciendo variedades y progresos científicos de gran relevancia para el país sede del CIAT y para toda la región. El presente informe constata los avances concretos realizados en 1995.

1. Título: RL01 - Mejoramiento de arroz para incrementar volumen y eficiencia en la producción

2. Coordinador proyecto: César P. Martinez

3. Justificación

La investigación se realiza dentro del marco del convenio ICA-CIAT-Fedearroz responsable, hasta la fecha, de la obtención de 18 variedades mejoradas adecuadas a las distintas modalidades del cultivo presente en Colombia. Gracias a la masiva adopción de estas variedades y de mejores paquetes tecnológicos la producción total de arroz se triplicó rápidamente favoreciendo en primer lugar a los consumidores especialmente a los sectores mas pobres a través de menores precios y en menor escala a los productores.

Pese a los esfuerzos realizados, la tendencia en la productividad promedia en el período 1972-1995 ha permanecido estable; por consiguiente se habla de haberse alcanzado un techo tecnológico en la productividad. Además, la base genética del cultivo es bastante estrecha, lo cual incrementa los peligros de ataques masivos de plagas y enfermedades. La estrategia seguida ha sido la de mantener los altos rendimientos logrados en la década de los setenta pero incorporando mayor resistencia a las plagas y enfermedades prevalentes en el país y mejorando la calidad del grano. Por último, el incremento en los costos de producción ha disminuído la rentabilidad del cultivo lo cual afecta en gran manera la competitividad del arroz en el mercado exterior. Por tanto, es necesario cambiar la estrategia pasada por otra mediante la cual se rompa el techo biológico de la productividad, se amplie la base genética del cultivo y se logren incrementos sostenibles en la producción de arroz.

4. Objetivo

Desarrollar poblaciones mejoradas con alto potencial de rendimiento y tolerancia a las principales plagas y enfermedades tales como sogatodes, hoja blanca, piricularia y escaldado de la hoja adecuadas a las condiciones de riego y secano mecanizado.

5. Logros esperados

- Obtención de líneas avanzadas mediante el mejoramiento convencional
- Desarrollo de poblaciones mejoradas mediante selección recurrente.
- Identificación y utilización de genes existentes en especies silvestres de arroz para mejorar el potencial de rendimiento y la calidad nutricional de las

- variedades mejoradas en Colombia.
- Evaluación y caracterización del nuevo tipo de planta desarrollado por el IRRI.

6. Resumen de los resultados obtenidos en 1995

6.1 Obtención de Líneas Avanzadas

Esta actividad se desarrolló en las estaciones experimentales del CIAT en Palmira y Santa Rosa, Villavicencio en estrecha colaboración con CORPOICA y FEDEARROZ. El objetivo específico es el desarrollo de germoplasma mejorado con alto potencial de rendimiento, tolerante a piricularia, hoja blanca, manchado del grano y a sogatodes, con buena calidad de grano y de ciclo precoz a intermedio. En CIAT-Palmira se evaluaron 4436 líneas segregantes (F4 - F6) incluyendo 1500 Dobles Haploides derivados del Cultivo de Anteras. El 50% de este material (1413 líneas) se seleccionó para nuevas evaluaciones en 1996 por parte del FLAR (Fondo Latinoamericano de Arroz Riego). En CIAT - Santa Rosa se evaluaron 2112 líneas (F2-F6) en las cuales se efectuaron 1410 selecciones, las cuales serán evaluadas por el FLAR en 1996. Colombia, a través de FEDEARROZ y CORPOICA, hace parte del FLAR.

En agosto de 1995 se realizó en CIAT un Taller Internacional de Mejoradores de Arroz, en el cual participaron mas de 100 investigadores de 20 países. Los objetivos fueron: a) evaluación y selección de germoplasma mejorado de interés para cada país. b) estimular el intercambio de ideas y experiencias entre los participantes y c) analizar y discutir los principales problemas en el mejoramiento genético del Arroz. Por Colombia participaron 21 investigadores en representación de CORPOICA, FEDEARROZ, Universidad de Córdoba y productores de semilla como Semillano, La Esmeralda y El Zorro. Cerca de 3000 líneas se sembraron en CIAT-Palmira y Santa Rosa, sitios que representan diferentes tipos de presión de selección. Entre los materiales en evaluación se encontraban variedades comerciales de diferentes países, líneas tolerantes a sogatodes y hoja blanca, viveros de Estados Unidos y del Asia y líneas avanzadas F5-F6. CORPOICA seleccionó 339 líneas en Palmira y 159 en Santa Rosa; FEDEARROZ seleccionó 407 líneas en Palmira y 347 en Santa Rosa; Semillano escogió 621 líneas en Palmira y 220 en Santa Rosa; La Esmeralda seleccionó 166 líneas en Palmira y 150 en Santa Rosa; El Zorro escogió 258 líneas en Palmira y 286 en Santa Rosa, en tanto que la Universidad de Córdoba seleccionó 313 líneas en Palmira y 145 en Villavicencio. Se distribuyó semilla de los materiales seleccionados a cada entidad participante.

6.2 Desarrollo de Poblaciones Mejoradas Mediante Selección Recurrente

Métodos de mejoramiento poblacional como es el caso de selección recurrente, facilitan la formación de "nuevas combinaciones de genes" los cuales se pueden recombinar gradualmente formando una población en evolución continua y con una base amplia. El objetivo específico de esta actividad es la formación de nuevas poblaciones para las condiciones de riego y secano favorecido. Tres poblaciones (PCT6, PCT7 y PCT8) y un pool genético (GPCT9) se formaron en 1994 y se sometieron al primer ciclo de recombinación en 1995 en CIAT-Palmira. Se sembraron 2000 plantas por población y se tomaron datos sobre el porcentaje de plantas macho-estériles, floración, altura y macollamiento. Una gran variabilidad genética se observó en todos los caracteres medidos. Además, las mejores plantas fértiles en cada población se cosecharon individualmente y serán evaluados en Santa Rosa en 1996; también se cosechó semilla de las plantas estériles con el fin de continuar el proceso de recombinación en 1996 y 1997.

6.3 Identificación y utilización de genes existentes en especies silvestres

Distintos caminos (arroz híbrido, selección recurrente, nuevo tipo de planta, etc) se están utilizando para tratar de aumentar el potencial de rendimiento y ampliar la base genética del arroz. Estamos trabajando en otra alternativa consistente en el uso de especies silvestres de arroz, un programa de retrocruzamiento hacia variedades mejoradas y marcadores moleculares. Los marcadores moleculares servirán para la identificación de QTL positivos asociados con rendimiento y calidad en generaciones tempranas con el fin de transferirlos selectivamente a variedades mejoradas. Una vez se implemente esta técnica podrá ser utilizada en forma corriente en un programa de mejoramiento. Este proyecto también incluye capacitación de científicos y transferencia de la metodología.

Cuatro variedades mejoradas (Morelos A88, BG90-2, Orizyca 3 y Orizyca Llanos 5) y cuatro especies silvestres (*O. rufipogon*, *O. glaberrima* y dos selecciones de *O. barthii*) se escogieron y cruzaron usando la especie silvestre como madre. Las plantas F1 resultantes se retrocruzaron hacia la variedad cultivada y se obtuvieron entre 100 y 180 semillas F1BC1. Se escogieron dos poblaciones, *O. rufipogon* /BG90-2 y *O. rufipogon*/Llanos 5, las cuales se sembraron en el campo; basados en el genotipo se seleccionaron las mejores plantas F1 (40-50) para realizar el segundo retrocruce hacia la variedad mejorada y se obtuvieron aproximadamente 300-400 semillas F1BC2. Por otra parte, en la Universidad de Cornell y en el laboratorio de Biotecnología del CIAT se realizó la evaluación de los progenitores con sondas y se identificaron las mas polimórficas, con el fin de usarlas después en la evaluación de los progenies F2BC2. Durante 1996 se hará un ensayo de rendimiento replicado con 300-400 familias F2BC2 en cada cruce y el análisis de QTLs con los marcadores moleculares con el fin de identificar

aquellas plantas con QTLs positivos derivados del arroz silvestre. Estas plantas serán utilizadas para el tercer retrocruce en 1997 y continuar con el desarrollo de líneas isogénicas, de donde se podrán derivar variedades mejoradas.

6.4 Evaluación y caracterización del nuevo tipo de planta

Experimentos en CIAT nos muestran que la falta de cambios sostenidos en nuestros rendimientos se asocian al estancamiento del índice de cosecha, y a la falta de modificaciones sustanciales en características relevantes de nuestros tipos de planta locales, con respecto a los cultivares semienanos introducidos por la revolución verde. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados preliminares de la evaluación del nuevo tipo de planta de arroz bajo condiciones de riego en CIAT-Palmira y secano favorecido en Santa Rosa, Villavicencio.

Se evaluaron 64 líneas (F5-F6) provenientes del IRRI en parcelas de observación tanto en CIAT-Palmira como en la Estación Experimental Santa Rosa en Villavicencio-Meta. De las 64 líneas, 20 correspondían a líneas obtenidas de un programa de retrocruzamiento entre la línea mejorada IR 31917-45-3-2 y *Oryza officinalis* realizado en el IRRI y mediante el cual transfirieron genes de resistencia a insectos chupadores (delfácidos) del arroz silvestre al cultivado. Estas líneas pertenecen al tipo indica. Las 40 líneas restantes corresponden a cruzamientos simples entre cultivares tipo javanica, no utilizados previamente en programas de mejoramiento del arroz. Estas líneas se agrupan dentro del llamado "nuevo tipo de planta del arroz (NTP) diferente en su arquitectura y caracteres morfológicos del ya conocido tipo de planta IR 8, característico de las variedades que dieron origen a la revolución verde.

Las líneas se evaluaron en CIAT-Palmira bajo condiciones de riego y trasplante, utilizando parcelas de 4 surcos y 5 m de largo; la distancia entre plantas fue de 30 x 30 cm. Se usó un diseño de bloques al azar con dos repeticiones. Los cultivares *Oryzica* 1, *Oryzica* 3, BR-IRGA 409, Perla y Bluebelle se incluyeron como testigos. La evaluación realizada en Santa Rosa se efectuó bajo condiciones de secano favorecido y siembra directa en surcos distanciados 17 cm. Cada línea se sembró en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo en un diseño de bloques al azar con una sola repetición. La semilla se trató con fungicida (tríciclazol - 300 gr/100 kg semilla); además, se realizaron varias aplicaciones de fungicidas (300 gr/ha de tríciclazol + 1 lt/ha de edifenfos) al follaje y a la panícula. No se aplicaron fungicidas en CIAT-Palmira.

En los Cuadros 1, 2, y 3 se presentan datos relativos al potencial de rendimiento, características fisiológicas, tolerancia a las principales plagas y enfermedades y calidad de grano de las líneas promisorias del nuevo tipo de planta (NTP) en las condiciones de CIAT-Palmira. Los datos preliminares (Cuadro 1) no indican una

ventaja en rendimiento de estas líneas sobre las variedades testigo, con excepción de Bluebelle. Esto no significa que el nuevo tipo de planta tiene un potencial de rendimiento similar al del tipo de planta de las variedades de la revolución verde sino que su mayor potencial de rendimiento se expresa bajo condiciones de una mayor densidad de plantas. La distancia de trasplante utilizada (30 x 30 cm) es más apropiada para variedades con buena capacidad de macollamiento (Oryzica 1 y 3) y no para germoplasma con baja capacidad de macollamiento. Por consiguiente, ensayos con distintas densidades, tanto en siembra directa como en trasplante, se están instalando en CIAT-Palmira con el fin de evaluar más críticamente cual es el potencial de rendimiento del nuevo tipo de planta.

Los datos obtenidos (Cuadro 2), indican que el nuevo tipo de planta posee varias características fisiológicas relacionadas con el potencial de rendimiento de suma importancia para un programa de mejoramiento varietal. Varias de las líneas del nuevo tipo de planta presentaron un índice de cosecha mayor que el de las variedades Oryzica 3 y Perla, lo cual es indicativo de una distribución más eficiente de la biomasa entre el grano y la paja. La variedad Oryzica 1 tuvo un índice de cosecha alto (0.59); sin embargo, en ensayos anteriores realizados en CIAT-Palmira en condiciones de siembra directa, tuvo un valor entre 0.46 y 0.50.

Por otra parte, varias de las líneas del NTP presentaron un mayor número de granos por panícula que Oryzica 3, mientras que otras tuvieron granos más pesados. No obstante, se observa la tendencia de las líneas con mayor número de granos a tener granos de menor peso (Cuadro 2). La línea IR 66159-2-3-2-1 tiene un período de llenado del grano mayor que el de Oryzica 1, lo cual representa una gran oportunidad para aumentar el rendimiento. Existe una variabilidad adecuada en cuanto a la capacidad de macollamiento, floración y altura de plantas, lo cual permite la selección de líneas para diferentes condiciones de cultivo. El porcentaje de macollas efectivas fue bastante similar al de los testigos, con excepción de Bluebelle.

Los mayores limitantes del NTP se refieren a la tolerancia a enfermedades y a la calidad del grano, lo cual se puede notar en el Cuadro 3. Todas las líneas del NTP son altamente susceptibles a Tagosodes, pero algunas son resistentes al virus de la hoja blanca; bajo las condiciones de Santa Rosa son susceptibles a piricularia, escaldado de la hoja y manchado del grano. En cuanto a la calidad de grano, presentan granos cortos o medios, gruesos con bastante centro blanco. No obstante, el porcentaje de granos enteros es alto en varias líneas y la temperatura de gelatinización es intermedia a baja; desafortunadamente, el contenido de amilosa de casi todas las líneas del NTP es bajo, lo cual indica mala calidad de cocina.

Las líneas de mayor rendimiento en Santa Rosa fueron IR 65598-27-3-1, IR 66155-2-1-1-2 E IR 66746-76-3-2, las cuales rindieron en promedio 4.6 ton/ha

en tanto que Oryzica 1 y BR-IRGA 409 produjeron 5.8 y 5.2 ton/ha, respectivamente. La gran mayoría de las líneas del NTP no tuvieron buen comportamiento en estas condiciones y en especial mostraron poco vigor, un crecimiento lento, macollamiento muy bajo, baja capacidad para competir con malezas y un porte muy bajo; mala ejerción de la panícula y esterilidad alta fueron defectos notorios en muchas líneas. A pesar del tratamiento con fungicidas, varias líneas fueron muy afectadas por piricularia y manchado del grano. El mal comportamiento de las líneas del NTP bajo las condiciones de secano favorecido en Santa Rosa era de esperarse ya que ese germoplasma ha sido concebido y seleccionado para las condiciones favorecidas encontradas en riego.

En relación con las líneas provenientes del retrocruzamiento con *Oryza officinalis* se encontró que todas son resistentes a sogata (*Tagosodes oryzae*). Estos genes de resistencia pueden ser de gran utilidad en un programa de mejoramiento ya que por provenir de *O. officinalis* podrían ser distintos a los ya disponibles en nuestro banco de germoplasma. Esto debe verificarse mediante una caracterización más rigurosa de dichos genes. Por lo demás, estas líneas tienen un tipo de planta, capacidad de macollamiento y tipo de grano similar al del germoplasma de las variedades de la revolución verde.

La evaluación preliminar, del nuevo tipo de planta desarrollado por el IRRI indica que: a) posee ciertas características fisiológicas y agronómicas importantes ausentes en el germoplasma ya existente en la región; b) ofrece la posibilidad de seleccionar líneas adecuadas para diversas condiciones del cultivo, y c) representa una fuente valiosa para ampliar y mejorar la base genética del germoplasma adaptado a la región. Sin embargo, este NTP constituye un prototipo el cual debe mejorarse en varios aspectos, especialmente en lo relacionado con la resistencia a plagas y enfermedades y la calidad del grano. Por consiguiente, este nuevo tipo de planta aún no está listo para siembras comerciales.

De todas formas es necesario hacer algunas precisiones. Este paradigma del tipo de planta para altos rendimientos, está concebido para **ambientes favorables**, sin estrés. En ambientes poco favorables, con riego intermitente en siembra directa, el menor número de macollas obligará al uso de densidades elevadas para cubrir espacios vacíos y competir con malezas. Por otra parte, el manejo del nitrógeno debe optimizarse, no solo en cantidad, sino que su suministro debe acompañarse a las necesidades de una planta que requiere un adecuado status nitrogenado después de la floración (Cassman et al., 1994). Es decir que las adaptaciones impuestas por las restricciones en los ambientes locales regularán qué tanto podremos aprovechar de este paradigma, e inevitablemente se deberán perder algunas características para ganar otras.

Cuadro 1. Progenitores y potencial de rendimiento de líneas promisorias del nuevo tipo de planta. CIAT-Palmira. Octubre 1995.

Pedigri	Progenitores	Rendimiento (ton/ha)
IR 66154-95-2-3-3	Shen-Nung 89-366/Nogo Belle 2	5.6
IR 66158-38-3-2-1	Shen-Nung 89-366/Bali Ontjev	5.6
IR 66159-131-4-3-2	Shen-Nung 89-366/Gundil Kuning	5.6
IR 65600-42-5-2	Shen-Nung 89-366/Ketan Lumbu	5.9
IR 65600-87-2-2-3	Shen-Nung 89-366/Ketan Lumbu	6.0
IR 66160-121-4-5-3	Shen-Nung 89-366/Jimbrug	6.2
IR 66738-118-1-2	Shen-Nung 89-366/Soponjono	6.2
IR 65600-61-3-1-3	Shen-Nung 89-366/Ketan Lumbu	6.5
IR 66160-134-1-3-1	Shen-Nung 89-366/Jimbrug	6.8
IR 65600-96-1-2-2	Shen-Nung 89-366/Ketan Lumbu	7.9
Oryzica 1	Testigo	7.6
BR-IRGA 409	Testigo	7.2
Oryzica 3	Testigo	6.8
Perla (Cuba)	Testigo	6.7
Bluebelle	Testigo	3.7

Cuadro 2. Características fisiológicas y agronómicas interesantes de líneas promisorias del nuevo tipo de planta. CIAT-Palmira. Octubre, 1995.

Pedigrí	IC ¹	Granos/ Panicula	Peso ² (gr.)	Macollas efectivas		Floración 50% (días)	Altura (cm)
				No.	%		
IR 66154-95-2-3-3	0.56	249	24	14	98	99	79
IR 6158-38-3-2-1	0.59	216	32	10	95	101	95
IR 66159-131-4-3-2	0.46	191	24	16	97	106	90
IR 65600-42-5-2	0.54	230	28	11	96	112	105
IR 65600-87-2-2-3	0.48	179	36	15	92	102	92
IR 66160-121-4-5-3	0.52	170	28	17	100	102	85
IR 66738-118-1-2	0.56	313	25	12	96	111	94
IR 65600-61-3-1-3	0.56	219	33	13	96	110	97
IR 66160-134-1-3-1	0.55	172	31	17	100	107	85
IR 65600-96-1-2-2	0.55	237	29	15	99	112	93
Orizyca 1	0.59 ³	177	26	23	100	106	92
BR-IRGA 409	0.57	190	23	21	99	105	89
Oryzica 3	0.51	229	21	17	99	112	96
Perla	0.54	193	25	19	93	100	94
Bluebelle	0.45	211	24	8	84	85	114

¹ Índice de cosecha con base en tres plantas por repetición.

² 1000 granos.

³ 0.46-0.50 en experimentos anteriores en siembra directa.

Cuadro 3. Reacción a enfermedades y calidad de grano de las líneas promisorias del nuevo tipo de planta. CIAT-Palmira. Octubre, 1995.

Pedigrí	Enfermedades ¹				Tagosodes oryzicolus	Calidad de grano ²				
	Bl	NBl	LSc	RHBV		Long	TG	CB	Excels o(%)	Amilosa (%)
IR 66154-95-2-3-3	6	9	5	1	9	4.8	Int.	2.6	63	18
IR 6158-38-3-2-1	3	5	5	9	9	6.0	I/A	2.4	64	20
IR 66159-131-4-3-2	7	5	7	5	9	4.9	Int.	2.4	67	24
IR 65600-42-5-2	3	5	5	1	9	4.9	B	3.0	62	19
IR 65600-87-2-2-3	3	5	5	1	7	6.1	B	3.0	67	19
IR 66160-121-4-5-3	6	3	5	9	9	5.1	B	1.6	65	19
IR 66738-118-1-2	5	5	7	3	9	4.8	B	3.2	63	21
IR 65600-61-3-1-3	6	3	5	1	9	5.0	B	3.2	61	18
IR 66160-134-1-3-1	3	5	5	9	9	5.9	I/B	2.8	66	25
IR 65600-96-1-2-2	7	5	7	9	7	5.0	B	3.2	61	20
Orizyca 1	7	7	3	5	3	7.0	B	0.8	60	30
BR-IRGA 409	8	7	5	5	0	6.8	B	0.8	66	29
Oryzica 3	5	7	3	3	1	6.8	I	0.8	65	26
Perla	1	3	3	5	0	7.0	B	0.8	56	20
Bluebelle	4	7	3	9	9	7.1	I/B	1.0	0.00	26

¹ Bl = Piricularia hoja; NBl = Piricularia cuello; LSc = Escaldado de la hoja; RHBV = Hoja blanca. Escala 0-9: 0-3 = Resistente; > 5 = Susceptible.

² Longitud de grano en cm; TG = Temperatura de Gelatinización (escala 1-7); CB = Centro o panza blanca (escala 0-5).

1. Título: RU01 - Mejoramiento de Germoplasma para Arroz de Secano

2. Coordinador del proyecto: Elcio Guimaraes

3. Justificación

Las sabanas de Colombia, Venezuela y Guyana constituyen una de las mayores extensiones de tierra inexploradas en América Latina y representan una gran reserva para la producción de alimentos como el arroz. En gran parte de esta región se combinan precipitación abundante y bien distribuida con suelos ácidos de baja fertilidad pero de buenas características físicas. Otros factores climáticos como la temperatura, humedad relativa y radiación solar son favorables para la producción de arroz, la cual debe hacerse de una manera sostenible. El arroz es más tolerante a las condiciones de suelos ácidos que otros cultivos y requiere menos calor; por consiguiente, debe ser un componente principal de los sistemas de producción de bajos insumos que se vienen desarrollando para los Llanos Orientales de Colombia. Existe una gran variabilidad genética en arroz seco, en cuanto a su adaptación a los suelos ácidos, tolerancia a plagas y enfermedades, ciclo vegetativo, calidad de grano, etc, lo cual puede utilizarse en el desarrollo de variedades de mejor potencial de producción pero tolerante a la acidez y a las principales plagas y enfermedades, lo cual mejorará la competitividad del cultivo preservando el medio ambiente.

4. Objetivo

Desarrollar germoplasma adaptado a las condiciones de sabanas con suelos ácidos. Las principales características buscadas en esos materiales son: tolerancia a la acidez del suelo; resistencia a enfermedades, principalmente piricularia; resistencia a insectos, principalmente *Tagosodes orizicolus*; buena calidad de grano (translúcido, largo y delgado); y precocidad (ciclo menor que 115 días).

5. Logros esperados

- Desarrollo de germoplasma mejorado
- Capacitación de técnicos

6. Resumen de los resultados en el año 1995

6.1 Desarrollo de Germoplasma Mejorado

Los ensayos fueron sembrados en la Estación Experimental de La Libertad (EELL), Villavicencio, Meta; en la Estación Experimental de Carimagua (EEC) y en la Finca Matazul (FMA), ubicadas en la Altillanura Colombiana. Se evaluó material genético en generaciones tempranas y avanzadas. En las 363 familias F2 evaluadas en la Libertad se hicieron 820 selecciones, en tanto que de las 238 líneas F3 evaluadas sólo se seleccionaron 112; éste material será evaluado nuevamente en la Libertad en 1996, conjuntamente con CORPOICA. Un total de 258 líneas avanzadas (F8) se evaluaron en la Libertad y en la Altillanura, lo cual permitió la identificación de 47 líneas promisorias para evaluaciones de rendimiento en 1996.

Se sembraron 32 líneas en la EELL (monocultivo), Altillanura (sabana nativa monocultivo y asociación) y EEC (monocultivo y asociación). Para las siembras en la Altillanura, se escogió un lote de sabana nativa que estuvo bajo pastoreo hasta el año anterior. Se seleccionaron 7 líneas, las cuales se entregarán a CORPOICA para ser evaluados en las Pruebas Regionales en el semestre 1996 en diferentes localidades. Estos ensayos fueron visitados por un grupo de agricultores, difusores de tecnología del CRECED de Puerto Lopez e investigadores de CORPOICA de Villavicencio. Sus observaciones fueron tenidas en cuenta en la selección final de las mejores líneas.

Como resultado de un continuo proceso de selección y evaluación de líneas el ICA, CORPOICA y CIAT liberaron la variedad *Oryzica Sabana 10* para los suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia. El objetivo principal de la liberación fue ofrecer una nueva alternativa al ganadero para formación y/o renovación de sus praderas a través del cultivo del arroz. La ventaja de este nuevo material está en la calidad de grano superior, la tolerancia a enfermedades y el aporte a la diversidad genética del sistema. Por otra parte conjuntamente con CORPOICA se identificó la línea CT 11891-2-2-7-M como muy promisorio; se purificó y multiplicó semilla de ésta línea, la cual será entregada a CORPOICA para producción de semilla básica.

6.2 Capacitación de Técnicos

En ese período se capacitaron técnicos del sistema colombiano de investigación (FEDEARROZ, CORPOICA y Universidades) en las técnicas de mejoramiento para el sistema de secano con suelos ácidos. En la mayoría de los casos el entrenamiento se hizo en el campo, o sea, ejecutando las labores de evaluación y

selección. En el caso de las universidades estuvo dirigido a preparación de tesis de grado.

**1. Título: RP01 - Resistencia durable al añublo del arroz
(*Pyricularia grisea*) en Colombia**

2. Coordinador del proyecto: Fernando Correa

3. Justificación

El añublo, causado por el hongo *Pyricularia grisea*, es la enfermedad del arroz de mayor distribución mundial, causando grandes pérdidas económicas en el cultivo. El control de la enfermedad en la mayoría de las áreas productoras de arroz está basado en la liberación de variedades resistentes, sin embargo, esta resistencia es en general efectiva por tan sólo uno a tres años. La pérdida en la resistencia conlleva a que el control de la enfermedad dependa principalmente del control químico, el cual no siempre es efectivo ni económico, además de que contamina el ambiente afectando la sostenibilidad de este cultivo. La extrema variabilidad en virulencia que presenta el hongo causante del añublo como también la falta de metodologías adecuadas para evaluar y seleccionar resistencia durable a dicho patógeno son considerados la principal razón de la pérdida de dicha resistencia en tan corto tiempo en los campos comerciales de arroz. Es por esto, que un gran número de investigadores en el mundo están realizando grandes esfuerzos dirigidos al desarrollo de variedades de arroz con una resistencia mas estable y duradera al añublo como un medio de disminuir los costos de producción del cultivo y tener un manejo de la enfermedad que no presente riesgos de contaminación al medio ambiente.

El presente proyecto ha venido caracterizando la variabilidad y diversidad presente en el agente causal del añublo del arroz en Colombia así como identificando nuevos genes de resistencia a dicha población del hongo con el objetivo de desarrollar una estrategia de mejoramiento a la resistencia a dicha enfermedad. La resistencia durable reducirá el uso de fungicidas y disminuirá los costos de los programas de mejoramiento, lo cual repercutirá económicamente en los agricultores de arroz, así como contribuirá a conservar el medioambiente. En un período de mas o menos 15 años, incluyendo los años con epidemias de la enfermedad con una incidencia por encima y por debajo de la media, el valor actual neto de los beneficios se estiman en unos 1,6 billones de dólares, procedentes de los incrementos de los rendimientos de los cultivos, de la reducción de las importaciones de arroz y de la disminución del uso de fungicidas en Latinoamérica.

4. Objetivo

El principal objetivo de este proyecto durante 1995 fue continuar estudiando varios componentes en el sistema arroz-pyricularia que nos puedan conducir al

desarrollo de estrategias de mejoramiento para obtener una resistencia estable al patógeno e implementar medidas efectivas para la liberación de dicha resistencia. Ha sido nuestro objetivo también trabajar con investigadores nacionales para asegurar la adopción de las nuevas tecnologías desarrolladas que ayuden a estabilizar la producción y calidad del arroz, reducir los costos de producción y el uso de pesticidas, mediante el uso de una resistencia mas estable a las enfermedades.

5. Logros esperados

Los principales logros del proyecto durante 1995 fueron:

5.1 Caracterización de la estructura genética y frecuencias de virulencia del hongo causante del añublo del arroz en áreas de secano de las savanas de la Altillanura Colombiana y áreas de secano favorecido y riego en el Departamento del Meta durante el año 1995.

5.2 Desarrollo de pruebas en campo e invernadero de la teoría de exclusión de linajes genéticos del patógeno para la obtención de resistencia duradera al añublo del arroz.

5.3 Estudios sobre herencia de la resistencia y disección de genes de resistencia al añublo en la variedad Oryzica Llanos 5.

5.4 Actividades de colaboración e intercambio de información con investigadores nacionales.

6. Resumen de resultados por producto en el año 1995

6.1 Caracterización de la Estructura Genética y Virulencia de *Pyricularia grisea*

Caracterización de la estructura genética de la población del patógeno causante del añublo del arroz en las savanas de la Altillanura Colombiana mediante la técnica dactiloscópica del ADN utilizando la sonda MGR-586 indica la presencia de familias genéticas del hongo nativas de este ecosistema además de algunas familias encontradas en las zonas arroceras de riego y secano favorecido del piedemonte llanero. Estudios realizados durante 1994 nos llevaron a recomendar que el mejoramiento y selección de líneas de arroz resistentes al añublo para este ecosistema deberían ser realizados directamente en esta zona y no en zonas tradicionalmente arroceras.

Un total de 245 aislamientos del patógeno de esta zona (Matazul y Carimagua)

fueron recuperados de 25 líneas de arroz y analizados durante 1995 (Tabla 1). Sólo cuatro familias genéticas fueron encontradas durante este año, predominando principalmente tres de ellas: SAL-6 (86 aislamientos), SAL-4 (75 aislamientos) y ALL-7 (79 aislamientos). Interesantemente, otras familias genéticas detectadas y reportadas en el año anterior no fueron encontradas. La familia ALL-7, a diferencia de las familias SAL-6 y SAL-4, solo se encuentra en la Altillanura, siendo compatible principalmente con germoplasma de arroz adaptado a este ecosistema, sugiriendo una vez más que el mejoramiento por resistencia al añublo para la Altillanura debe realizarse directamente en la zona. Es importante anotar también que la familia SAL-4, fue no solo altamente predominante en este ecosistema como también atacó el mayor número de variedades muestreadas (Tabla 1). Este aumento en importancia considerable, debe tenerse en cuenta para la selección de progenitores resistentes que se utilicen en los cruces del programa de mejoramiento haciendo inoculaciones controladas de invernadero con estos aislamientos.

Análisis de la virulencia de 38 aislamientos de las principales tres familias genéticas encontradas en la Altillanura fue realizado mediante inoculación de 48 líneas de arroz bajo condiciones controladas de invernadero. La única familia genética compatible con la variedad *Oryzica Sabana 6* fue ALL-7, aunque este linaje expresó un espectro de virulencia menor que los otros dos linajes. Aislamientos representativos de estos tres linajes fueron utilizados por los mejoradores para la inoculación de progenitores potenciales e identificación de fuentes de resistencia al patógeno bajo condiciones controladas de invernadero.

La caracterización de la estructura genética y virulencia de aislamientos del patógeno recuperados de las nuevas variedades de arroz liberadas en el país, *Oryzica Caribe 8*, *Oryzica Yacu 9*, y *Selecta 3-20*, indican que estas variedades son susceptibles a las familias genéticas SAL-2, SAL-4 y SAL-6 del patógeno causante del añublo y que epidemias de la enfermedad se pueden presentar en las próximas cosechas de estas variedades. Se observó que los aislamientos del patógeno recuperados de estas variedades han ganado virulencia comparado con aislamientos de los mismos linajes encontrados en años anteriores. Sin embargo, la variedad *Oryzica Llanos 5*, liberada en 1989, continua siendo resistente tanto en el campo como a estos nuevos aislamientos del hongo. Estos nuevos aislamientos con un amplio espectro de virulencia recuperados durante 1995 están siendo usados en inoculaciones de invernadero para identificar progenitores potenciales con resistencia al añublo para secano favorecido y riego.

6.2 Pruebas de la Exclusión de Linajes Genéticos para el Desarrollo de Resistencia Durable a *Pyricularia grisea*

La hipótesis de la exclusión de linajes esta basada en la obtención de resistencia mediante el cruzamiento de líneas de arroz que presentan resistencia

complementaria a las diferentes familias genéticas del hongo. Durante el año 1995 se analizó la generación F2 de varios cruzamientos entre progenitores que presentan resistencia complementaria mediante la inoculación de dichas poblaciones con aislamientos de las diferentes familias genéticas del hongo en condiciones de invernadero. Plantas susceptibles y resistentes fueron trasplantadas al campo para cosechar la semilla y analizar las poblaciones F3 durante 1996 con el objetivo de identificar líneas que combinen los genes de resistencia complementarios presentes en los progenitores utilizados en dichos cruzamientos. Las mismas poblaciones F2 fueron sembradas en condiciones de campo en la estación experimental de Santa Rosa donde se realizaron selecciones de plantas resistentes. Estas líneas seleccionadas seguirán siendo sembradas en campo para determinar la estabilidad de su resistencia.

El cruzamiento específico entre las isolíneas de arroz C101A51 y C101LAC, con los genes de resistencia Pi-2 y Pi-1, respectivamente, fue realizado con el objetivo de combinar dichos genes complementarios. La isolínea C101A51 es susceptible a las familias genéticas del hongo SAL-1, 2 y 6 pero resistente a la familia SAL-5. La isolínea C101LAC, es susceptible a la familia SAL-5, pero resistente a las familias SAL-1, 2 y 6. Análisis de la población F2 de dicho cruzamiento tanto en el campo como en inoculaciones del hongo en invernadero rindieron plantas resistentes sugiriendo que realmente la combinación de dichos genes de resistencia, Pi-1 y Pi-2, confieren una resistencia complementaria que excluye toda posible compatibilidad del hongo observada con los progenitores que dieron origen al cruce. La población F3 de dicho cruzamiento será analizada durante 1996 bajo condiciones de campo como de invernadero. Cruzamientos genéticos entre la F1 de Pi-1xPi-2 con varias de las variedades comerciales Colombianas fueron realizados con el propósito de incorporar dichos genes de resistencia en aquellos materiales y ser distribuidos a los investigadores nacionales para realizar selecciones en campo.

6.3 Estudios sobre Herencia y Disección de Genes de Resistencia al Añublo en la Variedad Oryzica Llanos 5

Estudios realizados bajo condiciones de campo e invernadero sugieren que la resistencia duradera y estable al añublo observada en la variedad de arroz Oryzica Llanos 5 se debe a la acción de varios genes de resistencia complementarios que excluyen la compatibilidad que el hongo muestra bajo las mismas condiciones con los progenitores de dicha variedad.

Con el fin de determinar el número de genes de resistencia a las diferentes familias genéticas del patógeno presentes en la variedad Oryzica Llanos 5, se realizaron doce cruces con otras líneas o variedades de arroz susceptibles al añublo. La segregación de resistencia: susceptibilidad en la progenie F2 del cruce entre Oryzica Llanos 5 x Fanny a seis familias genéticas del hongo

predominantes en Colombia fueron estudiadas durante 1995 bajo condiciones de invernadero.

Análisis de la población F2 de dicho cruce (Tabla 2) sugiere que la resistencia al añublo del arroz en Oryzica Llanos 5 a las familias genéticas SAL-1, SAL-2 y SAL-3 del patógeno esta controlada por cuatro genes independientes, dos dominantes y dos recesivos; tres genes, uno dominante y dos dominantes complementarios controlan la resistencia al linaje SAL-4; dos genes independientes y dominantes controlan la resistencia al linaje SAL-5; y dos o un gen de resistencia, dependiendo del aislamiento del hongo usado, controlan la resistencia a la familia genética SAL-6. La resistencia es controlada por dos genes a aislamientos de este linaje que se recuperaron del campo antes de 1995, mientras que sólo un gen fue efectivo contra aislamientos recuperados durante ese año, los cuales como se indicó anteriormente mostraron un mayor espectro de virulencia que los recolectados anteriormente. Todas las plantas susceptibles y resistentes fueron trasplantadas al campo para cosechar la población F3 la cual será usada para corroborar lo encontrado en la población F2.

Los resultados obtenidos en los estudios genéticos de la población F2 del cruce entre Oryzica Llanos 5 y Fanny sugieren que el patógeno causante del añublo puede estar a un paso del rompimiento de la resistencia de esta variedad, la cual ha durado desde 1989 bajo condiciones comerciales. Inoculaciones de diferentes líneas de arroz con los aislamientos mas virulentos del hongo presentes en la colección de CIAT están siendo utilizados para identificar progenitores potenciales con genes de resistencia a dichos aislamientos. Estos progenitores potenciales serán distribuidos a investigadores del programa nacional y FEDEARROZ para ser incorporados en sus programas de cruzamientos.

Con el objetivo de identificar marcadores moleculares asociados con los genes de resistencia a las diferentes familias genéticas del hongo, presentes en Oryzica Llanos 5, se produjeron un total de 248 líneas recombinantes (generación F5 de plantas descendientes de plantas individuales desde la F2) del cruce de esta variedad con la variedad Fanny. Esta población se comenzará a evaluar bajo condiciones controladas de invernadero con los mismos aislamientos del hongo utilizados en el análisis de la población F2 y F3 durante 1996. Los marcadores encontrados podrán ser utilizados para identificar germoplasma que contenga dichos genes de resistencia.

6.4 Actividades de Colaboración e Intercambio de Información con Investigadores Nacionales

Con el propósito de intercambiar información y realizar demostraciones prácticas sobre las nuevas tecnologías desarrolladas bajo este proyecto, se realizó durante el I Taller de Evaluación y Selección de Germoplasma de Arroz para las Zonas

Tropical y Subtropical de América Latina y el Caribe llevado a cabo en CIAT de Julio 31 a Agosto 4, 1995, diferentes charlas y prácticas de laboratorio e invernadero, en CIAT-Palmira, y en CIAT-Santa Rosa, Meta, para transferir los conocimientos desarrollados en los últimos años a fitopatólogos y mejoradores de Colombia como de otros países Latinoamericanos.

Los temas principales de discusión fueron sobre la importancia de la caracterización de la estructura genética y el estudio de la diversidad de la virulencia y sus frecuencias presentes en la población del agente causal del añublo del arroz para el desarrollo de una resistencia estable a *Pyricularia grisea*.

Durante el año 1995 se realizaron varias visitas tanto a las instalaciones de CORPOICA como de FEDEARROZ en Villavicencio para discutir aspectos relacionados con la caracterización del agente causal del añublo y sus implicaciones en el desarrollo de resistencia. Asimismo, varias visitas fueron realizadas por investigadores de las mismas instituciones a las instalaciones del CIAT-Palmira o Santa Rosa con el mismo propósito.

Entrenamiento de investigadores de dichas instituciones así como de la Universidad Nacional, en el área de Fitopatología y en particular al estudio de *Pyricularia grisea* fueron identificados durante el año de 1995. Por parte de FEDEARROZ, un investigador comenzó su entrenamiento y estudios de Maestría en 1995 caracterizando la resistencia al añublo en diferentes poblaciones de arroz del programa de mejoramiento de dicha institución. Dichos estudios continuarán durante el presente año. Un profesor del área de Fitopatología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, comenzó sus tesis de Doctorado en CIAT en 1995 sobre la caracterización de la diversidad de *Pyricularia grisea* en Colombia en diferentes especies de plantas y su importancia en el arroz en la generación de variabilidad en el patógeno. Un investigador del área de Fitopatología de CORPOICA ha sido identificado para recibir entrenamiento durante 1996 en CIAT.

Tabla 1. Frecuencia de linajes genéticos de *Pyricularia grisea* presentes en la Altillanura Colombiana.

Cultivar	Sitio	Aislamiento sProbados (No.)	Linajes Genéticos			
			SRL-6	SRL-4	ALL-7	ALL-10
Oryzica Sabana 6	Carimagua	4			4	
Guarani	Carimagua	9			9	
CT 9899-39-1-M-1-3-M	Carimagua	9		1	8	
CT 11240-20-7-M-M	Carimagua	8			8	
CT 11614-1-4-1-2-1-M	Carimagua	6			6	
CT 10598-52-6-4P-3-1-M	Matazul	6	3		3	
CT 10041-3-2-M-1-2-M	Matazul	6		6		
CT 11231-1-3-M-M	Matazul	9		9		
CT 11253-6-1-M-M	Matazul	1		1		
CT 11608-14-2-M-M	Matazul	6		6		
CT 11623-36-4-M-M	Matazul	3				3
CT 11236-1-2-1-M	Matazul	7		7		
CT 11620-7-1-MP-M	Matazul	4	3			1
CT 9899-32-5-1P-3-1-M	Matazul	8			8	
CT 9899-39-1-M-1-3-M	Matazul	9	9			
CT 9910-2-5-M-2-2-M	Matazul	8		8		
CT 11614-1-4-1-2-M-M	Matazul	9			9	
CT 11626-21-M-3-4-M	Matazul	3		3		
Vandana	Matazul	10	10			
Oryzica Sabana 6	Matazul	36	35		1	
CT 10037-9-7-M-1-M	Matazul	28	6	10	12	
CT 9997-5-3-M-4-M	Matazul	23	1	11	11	
IAC 165	Matazul	14	11	3		
L-201	Matazul	10	9	1		
IRAT 216	Matazul	9		9		
TOTAL		245	87	75	79	4

Tabla 2. Segregación de resistencia: susceptibilidad al añublo en la progenie F₂ del cruce Oryzica Llanos 5 x Fanny inoculada con aislamientos Colombianos de *Pyricularia grisea*.

Aislamiento	Lineaje Genético	F ₂ ^{1/}		Segregación Esperada F ₂	X ^{2/}	Probabilidad	Base Genética de la Resistencia
		R	S				
Isol 1-5-1	SRL-1	291	8	27:1	0.69	0.50-0.25	4 genes independientes; 2 dominantes, 2 recesivos
CICA 9-15	SRL-1	211	9	27:1	0.18	0.75-0.50	4 genes independientes.
CICA 9-37-1	SRL-2	293	7	27:1	1.33	0.50-0.25	4 genes independientes.
Isol 1-10-3	SRL-2	292	8	27:1	0.92	0.50-0.25	4 genes independientes.
Metica 1-33-18	SRL-3	291	9	27:1	0.28	0.75-0.50	4 genes independientes.
Isol 12-5-3	SRL-4	184	26	57:7	0.08	0.90-0.75	3 genes independientes; 1 dominante, y 2 genes dominantes complementarios.
Isol 6-7-1	SRL-5	284	16	15:1	0.43	0.75-0.50	2 genes independientes dominantes.
FN 47-1	SRL-5	273	27	15:1	3.87	0.05	2 genes independientes dominantes.
Isol 16-1-1	SRL-5	239	61	13:3	0.51	0.50-0.25	2 genes; 1 dominante y epistático y 1 recesivo.
CICA 8-104	SRL-6	182	13	15:1	0.05	0.90-0.75	2 genes independientes dominantes.
CV 19-1	SRL-6	150	10	15:1	0.00	1.0	2 genes independientes dominantes.
FN 54	SRL-6	173	59	3:1	0.03	0.90-0.75	1 gen dominante.
Selecta 3-20-1	SRL-6	53	46 ^{2/}	9:7	0.30	0.75-0.50	2 genes dominantes complementarios.
Selecta 3-20-1	SRL-6	85	22 ^{3/}	3:1	1.12	0.50-0.25	1 gen dominante.

^{1/} Agrupado de cruces recíprocos.

^{2/} Fanny es el progenitor materno en la F₁.

^{3/} Oryzica Llanos 5 es el progenitor materno en la F₁.

R = Número de plantas resistentes.

S = Número de plantas susceptibles.

1. Título: RP02 - Mejoramiento para Control de Malezas

2. Coordinador del proyecto: Albert Fischer

3. Justificación

Las malezas son la principal plaga del arroz, y con las actuales prácticas de manejo se pierde cerca del 20% de la producción de arroz en Latinoamérica por la competencia de las malezas. El costo del control de malezas es elevado, donde los gastos en herbicidas pueden representar un 45% del total invertido en pesticidas. Al contrario de los fungicidas e insecticidas, el consumo de herbicidas sigue en ascenso. Problemas crónicos de adecuación de tierras y de manejo del agua de riego, dificultan el uso de la inundación como herramienta para suprimir las malezas. Incluso con manejo adecuado del riego, el sistema de siembra directa no permite establecer una inundación permanente hasta tanto el arroz no esté bien establecido, esto requiere el uso de herbicidas para proteger al cultivo durante esa etapa crítica. Es así como los productores recurren sistemáticamente al empleo de herbicidas, que no sólo son caros, sino que también representan una amenaza para el medio ambiente. Una gran parte de los productores arroceros son arrendatarios para quienes el manejo de malezas son una de las causas principales de la rentabilidad marginal de su producción. Es primordial entonces, desarrollar alternativas de manejo de malezas que sean mas económicas y compatible con el medio ambiente, y de fácil adopción.

4. Objetivos

- 4.1 Desarrollar tipos de planta de arroz con características que le permitan competir favorablemente con las malezas. Tal incremento en la competitividad deberá lograrse sin sacrificar el potencial de rendimiento, este es el aspecto clave del proyecto.
- 4.2 Eliminar la necesidad de herbicidas pre-emergentes o de post-emergencia temprana en sistemas con buen manejo del agua. Se seleccionan cultivares con la capacidad fisiológica para emerger a través de una lámina de inundación que suprime la emergencia de las malezas. De esta forma el arroz podrá sembrarse sobre el lote inundado, sin necesidad de drenar luego para permitir la emergencia y establecimiento del cultivo.

5. Logros esperados

- 5.1 Se identifican cultivares de arroz altamente competitivos.

- 5.2 Se identifican las características específicas de las plantas de arroz que son responsables por su competitividad con las malezas.
- 5.3 Se identifican progenitores para uso en el mejoramiento de la capacidad competitiva de las variedades de arroz.
- 5.4 Se desarrolla una metodología para la selección de cultivares con la capacidad genética de emerger en la anoxia de una inundación permanente.
- 5.5 Se identifican progenitores para introducir tolerancia a la anoxia en variedades de arroz.
- 5.6 Se esclarecen las bases fisiológicas que confieren a las plántulas de arroz tolerancia a la sumersión.
- 5.7 Se podrán eliminar dos de las tres aplicaciones de herbicidas usuales en las áreas con problemas en el manejo del agua. Por otra parte si el manejo de la lámina de agua es bueno, los cultivares tolerantes a la inundación permitirían eliminar el uso de herbicidas casi por completo.
- 5.8 Se logra entrenamiento para científicos de CORPOICA y difusión técnica.

6. Resumen de resultados del año 1995

6.1 Logros 5.1-5.3, 5.7

Se condujo un experimento con diez variedades de arroz de riego (Inti, Eloni, IRGA 409, CICA 4, CICA 8, CICA 9, Oryzica 1, Oryzica 3, Ceysvoni, e IR 8) en condiciones de siembra directa con riego intermitente, permitiendo la libre emergencia de malezas desde el inicio del cultivo. Se sembró junto con el arroz una población saturante de *Echinochloa colona*, una de las peores malezas del arroz irrigado. Se hicieron evaluaciones secuenciales en arroz durante su crecimiento: biomasa, área foliar, altura, número de macollas, e intercepción de luz por el follaje.

Estudios de correlación entre las características medidas y la competitividad (expresada como reducción del crecimiento de *E. colona*, o pérdida de rendimiento de arroz por competencia con respecto al rendimiento de un testigo desmalezado para cada variedad) permitieron concluir que:

- a) Las características que confieren competitividad al arroz deben evaluarse después de los 60 días de sumergencia (dde), dado que las evaluaciones previas no muestran una correlación consistente con los efectos de la competencia (Tabla

1); b) CICA 8, Eloni y CICA 9 fueron las variedades más competitivas (Tabla 2); c) biomasa, índice de área foliar (IAF), número de macollas, y el bloqueo de la penetración de la luz solar hacia el suelo fueron las características del arroz responsables por su competitividad, no así su altura (Tabla 1); d) por lo tanto, medir con un fotómetro la luz que llega hasta el suelo través del follaje del arroz es una forma práctica y rápida de seleccionar líneas de arroz por su competitividad con malezas; e) en principio, la selección sería más eficiente si las evaluaciones se hacen sobre plantas de arroz creciendo en competencia, en lugar de hacerlo sobre el arroz libre de malezas (Tabla 3); la competitividad no estuvo asociada a efectos negativos sobre la productividad, medida ésta por el índice de cosecha (Tabla 2).

El próximo paso en esta investigación será el de efectuar cruzamientos para evaluar la base genética y la heredabilidad de las características del arroz que le confieren competitividad con las malezas, a fin de poder incorporar luego estas características en el germoplasma de arroz irrigado.

6.2 Logros 4-7

Semillas de arroz de una misma generación fueron pregerminadas, de éstas se escogieron plántulas con radículas de 1 a 0.3 cm, y se las ubicó en el fondo de celdillas plásticas. Se cubrieron las semillas con 2.5 cm de tierra y se las inundó hasta una profundidad total de 7 cm. Para cada cultivar se sembraron también celdillas con tierra pero sin inundar. El experimento se hizo según un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. A los catorce días después de sembrar (plantas con más de dos hojas) se contaron las plantas emergidas, y se evaluó la biomasa y la altura de todas las plantas. El potencial redox y la temperatura en el agua fueron de 1.24 mV y de 20-30 C, respectivamente; esto fue comparable a los valores registrados en el agua de los experimentos de campo en CIAT. Varias líneas presentaron una notable capacidad para establecerse bajo inundación, una característica que no se observó en CICA 8 ni en IR 50 (Tabla 4). De esta forma se obtuvo una metodología de selección y se identificaron progenitores donadores de la capacidad de crecer bajo inundación. Esto permitirá desarrollar líneas de arroz para siembra directa bajo inundación, lo que permitirá prácticamente eliminar el uso de herbicidas al establecimiento del arroz, si se dispone de buena nivelación y control de agua. Es en este tipo de ambientes donde los nuevos tipos de planta de arroz para altos rendimientos desarrollados por CIAT e IRRRI podrán realmente expresar su máximo rendimiento potencial. Estos nuevos tipos de planta, con menos macollas, habrán de requerir protección contra las malezas en sus etapas iniciales de crecimiento. La introducción de tolerancia a la sumersión en estos cultivares permitirá obtener altos rendimientos con menor costo de ontról de malezas y contaminación de las aguas de riego.

Las actividades futuras se enfocarán a un mayor esclarecimiento de las bases bioquímicas de esta característica, a fin de explorar las oportunidades de usar técnicas moleculares avanzadas en su incorporación a líneas de arroz. También se realizarán cruzamientos para evaluar la base genética y heredabilidad de esta característica.

6.3 Logro 8

Este proyecto formó parte de las actividades de entrenamiento especializado, ecofisiólogo de CORPOICA. Las líneas promisorias fueron expuestas en el Taller para Mejoradores del FLAR (Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego, del cual Colombia es miembro contribuyente) que tuvo lugar en CIAT en Agosto de 1995.

Tabla 1. Correlaciones entre parámetros de crecimiento del arroz y la *Echinochloa colona*, cuando ambas especies crecieron en competencia.

Y	X	dde ^{1/}			Floración	Cosecha
		20	40	60		
Rendim. rel. arroz	Biom. Maleza	-0.56NS ^{2/}	-0.32NS	-0.94**	-0.94**	-0.77**
Biomasa rel. arroz	Biomasa maleza	-0.34NS	0.33NS	-0.88**	-0.94**	-0.54NS
Biomasa maleza	Intercepción luz arroz	-0.34NS	0.06NS	-0.82**	-0.85**	-0.83**
Biomasa maleza	IAF arroz	-0.19NS	-0.40NS	-0.91**	-0.51NS	-
Biomasa maleza	Macollas arroz	-0.14NS	0.31NS	-0.87**	-0.71*	-0.89**
Biomasa maleza	Altura arroz	-0.29NS	-0.65*	0.14NS	-	0.09NS
Biomasa maleza	Biomasa arroz	-0.26NS	-0.19NS	-0.73*	-0.73*	-0.87**
Intercep. luz arroz	IAF arroz	0.09NS	0.31NS	0.88**	0.77**	-
	Macollas arroz	0.01NS	-0.80**	-0.87**	-0.58NS	-0.83**
	Altura arroz	0.62NS	0.71*	0.55NS	0.43NS	0.22NS
	Biomasa arroz	0.07NS	0.30NS	-0.52NS	-0.79**	-0.81**

^{1/} Días después de la emergencia del arroz.

^{2/} * = P < 0.05, ** = P < 0.01, NS = P > 0.05

Tabla 2. Biomasa de *Echinochloa colona*, intercepción de luz y parámetros de crecimiento de arroz a los 90 días^{1/}, y rendimiento de diez cultivares de arroz irrigado cuando ambas especies crecieron juntas en competencia.

Cultivar de arroz	Rendimiento Arroz sin Malezas	Rendimiento Arroz Enmalezado	Reducción de Rendimiento por Competencia	Altura	Macollas (No./m ²) ^{2/}	IAF	Biomasa <i>E. colona</i> (g/m ²) ^{2/}	Biomasa Arroz (g/m ²) ^{2/}	Intercepción de luz
Inti	9175	4763	52.6	88.75	508.71	6.18	337.50	1152.5	93.99
Eloni	4518	3308	73.0	96.25	568.75	6.77	270.00	1137.5	94.88
IRGA 409	8271	3134	37.9	99.75	389.44	5.22	436.25	780.0	87.69
CICA 4	8589	5224	60.9	93.75	539.65	5.19	295.0	1075.0	93.97
CICA 8	8250	6111	75.4	105.00	494.91	6.74	275.00	1260.0	95.65
CICA 9	8709	5622	65.3	106.00	631.000	6.56	277.50	995.0	93.97
Oryzica 3	9522	5641	59.4	90.50	591.75	6.72	302.50	895.0	95.00
Ceysvoni	7031	4410	63.0	86.00	447.29	5.25	292.50	920.0	93.68
Bluebelle	6052	3097	51.3	117.00	486.54	4.43	380.00	677.5	87.16
IR 8	8409	4121	50.9	77.50	465.88	6.4	380.00	795.00	92.68
LSD (0.05)	1174	1174	19.24	5.46	53.85	0.78	83.80	149.0	1.54
CV (%)	13.36	13.36	22.75	3.92	7.24	9.04	17.79	10.60	1.14

^{1/} Días después de la emergencia del arroz.

^{2/} Materia seca.

Tabla 3. Correlaciones entre parámetros de crecimiento de arroz, determinados en ausencia de malezas, con la biomasa de *E. colona* y el rendimiento relativo de arroz en competencia (90 dde^{1/}).

X	Y ₁	Y ₂
Arroz sin Malezas	Biomasa de la Maleza	Rendimiento selectivo de arroz
	----- r -----	
Intercepción de luz	-0.01 NS ^{1/}	0.21 NS
IAF	-	-
Macollas	-0.01 NS	-
Altura	-0.02 NS	0.06 NS
Biomasa	-0.07 NS	0.12 NS

^{1/} P > 0.05.

Tabla 4. Crecimiento y emergencia de arroz en condiciones anaeróbicas, a través de 2 cm de tierra y bajo una lámina de agua de 7 cm de profundidad, para cultivares con más de 50% de emergencia y cuatro testigos.

Cultivar	Emergencia (%)	Altura (%)	Materia Seca (%)
DD91	100	73	51
Karuthavan	100	89	69
JC 148	95	104	72
Khotkomua	92	66	24
Taothabi	91	83	55
FR 13 A	87	79	52
Amaghad	82	85	55
Rojofotsy	82	76	45
Guan-Yin-Tsan	82	105	41
Vellaivanan	77	82	40
B 2622E-TB5-4-4	75	57	20
Thavalu	75	66	34
JC 178	74	97	47
ASDI	73	108	78
Bansbog	68	64	27
Jawejan	60	73	34
Suduwe	59	70	25
Backoia	58	60	14
Awaria Katica	55	61	15
PT B1	50	73	22
Checks:			
O. Turipaná 7	17	47	5
CICA 8	11	57	7
IR 50	11	68	15
IR 49830-7-1-2-2	9	35	2

1. Título: RP04 - Manejo Integrado de Plagas y de Cultivo

RP04-1 - Resistencia al Herbicida Propanil en Poblaciones de *Echinochloa colona* en Arrozales Colombianos

2. Coordinadores: Albert Fischer y Cilia Fuentes

3. Justificación

El desarrollo de resistencia en poblaciones plaga como resultado del uso abusivo de pesticidas es un proceso bien identificado en insectos y para diversas enfermedades. El resultado es que las poblaciones plaga se disparan, los enemigos naturales desaparecen, y el uso de pesticidas se vuelve caótico. Afortunadamente a esta altura, el manejo integrado de plagas ha desarrollado metodologías para el uso racional de plaguicidas que permiten manejar estas situaciones. Por el contrario, la forma de reproducción, dormancia, plasticidad y aptitud ecológica de las malezas ha determinado que la evolución de resistencia a herbicidas sea más lenta que en el caso de otras plagas. El desarrollo de resistencia a un herbicida se manifiesta cuando ciertos individuos (biotipos) de una especie muestran tolerancia a un herbicida que anteriormente la controlaba eficazmente. El incremento en la de la proporción de individuos resistentes a ciertos herbicidas conduce a emplear mayores dosis y número de aplicaciones de herbicidas, y a menudo al uso de nuevos y más caros productos.

Echinochloa colona es una de las malezas más nocivas del arroz, y por muchos años se la ha controlado con aplicaciones de propanil en post-emergencia temprana. En Colombia el uso repetido de propanil por más de 10 años ha resultado en la proliferación de biotipos de *E. colona* resistentes a propanil, un herbicida relativamente seguro y económico. Varios de los herbicidas que pueden reemplazarlo son capaces de generar resistencia de forma aún más rápida. Para poder establecer pautas de manejo de esta resistencia es necesario conocer el mecanismo de ella, saber cuáles son las fincas donde el problema existe, y cuál es el nivel de resistencia en esos campos. La detección de resistencia en el campo a menudo implica conducir laboriosos bioensayos de laboratorio, cuyos datos deben interpretarse mediante regresión no lineal, ajustando funciones logísticas que brinden resultados biológicamente realistas. El uso de herbicidas marcados con C14 puede usarse para comprender el mecanismo bioquímico de resistencia, sin embargo el uso de esta técnica no es muy generalizado en nuestro medio, y requiere de medidas de seguridad estrictas. Es necesario pues disponer de una herramienta de monitoreo que sea rápida y segura de usar para detectar y cuantificar niveles de resistencia en muestras de campo.

4. Objetivos

Ensayar una forma alternativa para detectar y cuantificar la evolución de la resistencia a propanil en muestras de *E. colona*. Esta metodología debe ser capaz de cuantificar las concentraciones de propanil y sus metabolitos presentes en los tejidos de plantas asperjadas con las dosis comerciales de propanil. Se buscó también identificar la presencia de más de un mecanismo de resistencia que pudieran aparecer en distintas etapas del crecimiento de biotipos de *E. colona* resistentes a propanil.

5. Logros esperados

- 5.1** Criterios para la prevención y manejo de la resistencia a propanil en poblaciones de *E. colona* en arroz.
- 5.2** Herramientas para el monitoreo y detección de resistencia a propanil en fincas arroceras.
- 5.3** Participación de científicos colombianos y entrenamiento de técnicos.

6. Resumen de resultados del año 1995

Datos de respuesta a un rango de dosis de propanil, obtenidos anteriormente, fueron reinterpretados mediante el ajuste de modelos logísticos para estimar la GR50 de diversos biotipos de *E. colona* (Tabla 5). De esta forma se identificó el biotipo más resistente (R) y el más susceptible (S) para utilizar en los estudios siguientes.

Estudios de HPLC mostraron que en plantas jóvenes de *E.colona* (2-3 hojas) tratadas con propanil, la concentración de propanil en plantas R fue un 80% menor que en los tejidos de plantas S (Figura 1). Concomitantemente se observó en los cromatogramas de plantas R la aparición de otras sustancias, posiblemente metabolitos de propanil, los que estaban ausentes de los cromatogramas de plantas S. La elevada actividad de una aril-acilamidasa es considerada responsable por la inactivación de propanil en plantas R de *E.colona* y en arroz (propanil es selectivo a favor de este cultivo). Sin embargo en plantas de 30 días de edad no aparecieron evidencias de metabolización diferencial entre plantas S y R, por lo que es probable que en plantas adultas exista otro mecanismo de resistencia a propanil.

6.1 Logro 5.1

El uso repetido de propanil ha resultado en el incremento de biotipos

genéticamente resistentes a propanil en poblaciones de *E. colona*. El uso de herbicidas alternativos requiere de un estudio previo para explorar la resistencia que también pudo haberse generando para otros productos también usados con frecuencia. De lo contrario se estará ejerciendo presión de selección a favor de biotipos R de *E. colona*, lo que podría complicar grandemente el manejo de esta maleza. De modo que la rotación de cultivos sería la manera más eficaz de manejar el problema, dado que en otros cultivos pueden usarse herbicidas no selectivos para el arroz, pero que controlarían bien a los biotipos R de *E. colona*. El manejo de la lámina de agua (inundación) debe ser un componente fundamental en el manejo de biotipos resistentes. Es importante evitar la supervivencia y producción de semillas de plantas R que hayan escapado a una aplicación de propanil. La introducción de cultivares que puedan sembrarse en terreno inundado y crecer a través de la lámina de agua, sería sumamente útil para el manejo de resistencia.

6.2 Logro 5.2

El análisis HPLC puede usarse en el monitoreo de resistencia, siendo una herramienta valiosa en el seguimiento y evaluación de diversas alternativas de manejo. Esta técnica es útil para estudiar la base genética de la resistencia, así como para evaluar el flujo de genes de resistencia de una población a otra.

6.3 Logro 5.3

Esta investigación contó con la colaboración de la Universidad Nacional, Bogotá. Esta actividad, a su vez, fue parte del entrenamiento especializado de un investigador de CORPOICA, y fue tema de la investigación para una Tesis de Grado de la Universidad Nacional, Palmira. Resultados de este trabajo fueron presentados este año en el congreso de COMALFI (Asociación Colombiana De Malezas y Fisiología Vegetal), han sido publicados en la Revista ARROZ de FEDEARROZ y en la revista de COMALFI en Colombia. Actualmente CIAT es miembro de un Comité Especial para la Detección y Manejo de la Resistencia a Herbicidas en Arroz en Colombia, creado en el seno de COMALFI.

Tabla 5. Dosis de propanil que inhiben en un 50% el crecimiento de *Echinochloa colona*, y los coeficientes de determinación de las regresiones empleadas en estimarlas.

Accesión	GR ₅₀	R ²
1	0.53 (0.02) ¹	0.99** ²
2	0.37 (0.02)	0.99**
3	0.78 (0.05)	0.98**
4	1.71 (0.25)	0.98**
5	> 4 ³	0.89*
6	3.37 (2.62)	0.79*
7	2.22 (2.62)	0.79*

^{1/} Los valores entre paréntesis son los errores estándar de la estimación.

^{2/} *, P<0.5; **, P<0.01.

^{3/} La GR₅₀ queda fuera del rango de dosis estudiadas.

1. Título: RP04-2 - Desarrollo de Umbrales de Daño para la Toma de Decisiones en el Manejo de Infestaciones Multiespecíficas de Malezas

2. Coordinador: Albert Fischer

3. Justificación

Las malezas representan una pesada carga económica para el manejo del arroz; sin embargo, y a diferencia de otras plagas, para las malezas no se han desarrollado claras reglas de decisión que puedan emplearse en el campo de forma práctica para establecer estrategias de manejo. En Colombia, se hacen por lo regular entre dos y tres aplicaciones de herbicidas en cada ciclo de producción de arroz irrigado. En consecuencia, el uso de herbicidas en arroz en Colombia es elevado, costoso y representa una amenaza al medio ambiente.

4. Objetivos

Desarrollar una metodología para predecir pérdidas de rendimiento por la competencia de malezas. Ajustar un modelo matemático, y biológicamente racional que describa la relación entre niveles de infestación de malezas y pérdidas económicas de producción, que pueda usarse para definir la conveniencia económica de posibles estrategias de manejo de malezas.

5. Logros esperados

- 5.1** Una herramienta práctica que permita establecer entre las múltiples aplicaciones de herbicidas que hacen los arroceros en Colombia, cuáles son realmente necesarias.
- 5.2** Una metodología para establecer la carga competitiva que representan distintos niveles de infestación de malezas, consistentes en mezclas de diversas especies que aparecen en diversas densidades.
- 5.3** Un modelo matemático que pueda ser integrado a un sistema experto para la toma de decisiones en el manejo de malezas, y que permita cierta generalización de las predicciones en tiempo y espacio.
- 5.4** Capacitación en metodologías para obtener umbrales de daño por malezas a partir de estudios de competencia entre el arroz y poblaciones complejas de malezas.

5.5 Investigación participativa en el diseño y ejecución de pruebas de validación de los modelos de competencia.

6. Resumen de resultados del año 1995

6.1 Logros 5.1 a 5.3

Se condujeron experimentos de campo con niveles de infestación espontáneos de varias especies de malezas. Las poblaciones de malezas fueron registradas en el campo y descritas mediante diversos parámetros (número de plantas por área, área foliar, biomasa, cobertura). Análisis de regresión utilizando diversos modelos hiperbólicos permitió establecer buenas relaciones entre niveles de infestación y pérdidas de rendimiento, válidas para poblaciones de malezas compuestas por diversas especies. Estas funciones de pérdida permitieron hacer predicciones para malezas que emergen en distintos momentos de la vida de un cultivo, para distintas densidades de siembra del arroz, y para ambos semestres de siembra. Es decir que la metodología desarrollada mostró un interesante potencial para hacer estimaciones bajo diversos escenarios de producción. Este enfoque sustituye así al uso de complejos modelos de simulación cuya parametrización es costosa y requieren entrenamiento especial para el usuario, y no son necesariamente precisos.

6.2 Logros 5.4 y 5.5

El trabajo fue diseñado para uso de asistentes técnicos con buena formación agronómica, como lo son los técnicos de FEDEARROZ directamente involucrados en el trabajo con productores. Es así que CIAT y FEDEARROZ colaboraron en la conducción de ensayos de validación en las localidades de Neiva y Saldaña. Los resultados de estos experimentos están siendo procesados pero sugieren que una única aplicación de herbicidas inicial sería suficiente para evitar los efectos detrimentales de las malezas. Es decir que las aplicaciones repetidas y tardías que realizan usualmente los arroceros, serían causadas por la presencia de malezas que no fueron bien controladas con las aplicaciones anteriores. Esto se puede deber a) mala calidad de las aplicaciones o b) a que se ha desarrollado resistencia a cierto herbicida empleado repetidamente para el control de cierta(s) especie(s) de maleza. Vemos así cómo el concepto de umbrales económicos permite el esclarecimiento de las causas de ineficiencia económica en el uso de insumos para el manejo de malezas.

Este proyecto ha servido para el entrenamiento de un ecofisiólogo de CORPOICA que se está especializando en el manejo de hierbas malas. Resultados de este trabajo han sido transmitidos en los diversos Foros de Malezas organizados por

FEDEARROZ, quién también los ha publicado en su revista ARROZ. El trabajo futuro buscará la transferencia de esta tecnología a nivel de CORPOICA y FEDEARROZ, y utilizar sus resultados para promover acciones tendientes a reducir el número de aplicaciones de herbicidas a través de mejores aplicaciones y al manejo de la resistencia a herbicidas en especies de malezas.

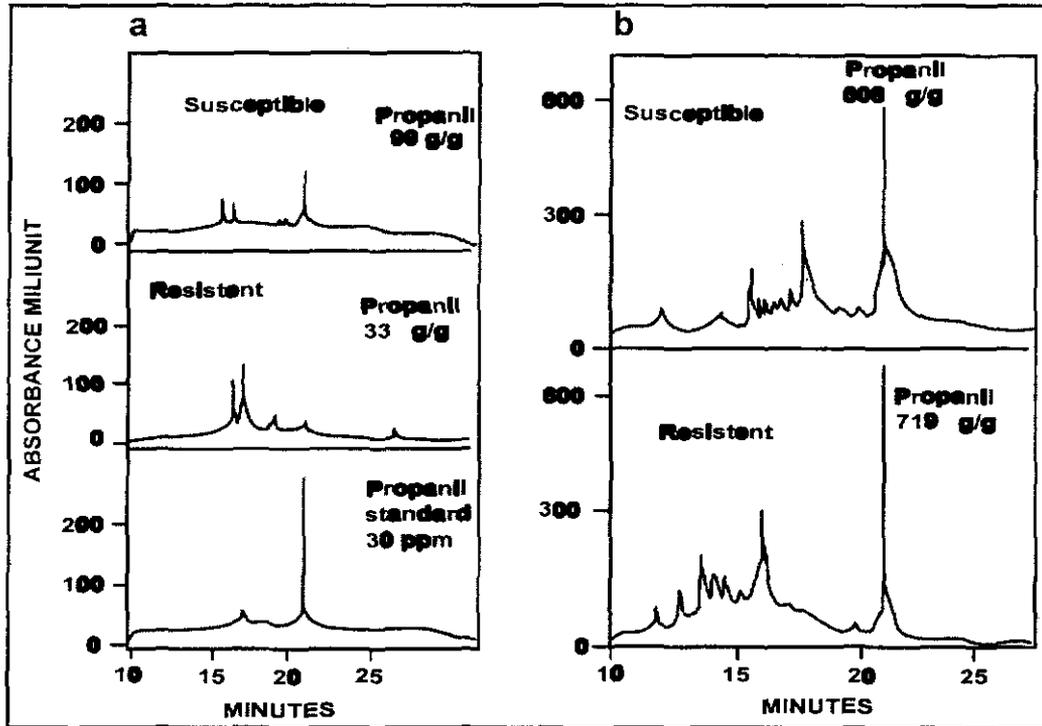


Figura 1. Cromotogramas de extractos foliares de *Echinochloa colona* de plantas asperjadas con propanil al estado de 2 a 3 hojas (a) y con 30 días de edad (b).

III. ACTIVIDADES DE INVESTIGACION EN MAÍZ

1. Título: Desarrollo de Tecnologías para Sistemas de Producción Sostenibles con Maíz en los Llanos Orientales de Colombia

2. Coordinadores: CIMMYT y CORPOICA

3. Justificación

El maíz forma parte de la identidad cultural del pueblo colombiano. Este cultivo se desarrolla en 800.000 ha aprox., y es el cereal más importante para la alimentación humana y animal en Colombia. Aproximadamente un 65% del maíz se consume directamente como alimento y el resto se usa para fabricar alimentos procesados y balanceados. Los rendimientos, los cuales crecieron en un 1% durante el período 1971-1980, disminuyeron a 0.3% anual durante 1981-1990, debido al desplazamiento del cultivo del maíz a tierras menos productivas, al poco uso de tecnologías apropiadas y a otras condiciones adversas.

Colombia ha comenzado a explorar el uso de sus vastas sabanas ácidas (Llanos Orientales con aproximadamente 17 millones de has.) con el fin de involucrarlas en la producción agrícola. Los suelos son bajos en materia orgánica, pH, P, Ca, Mg, K, B y otros nutrientes y altos en Al intercambiable. La mayoría de los Llanos perturbados se encuentra generalmente bajo ganadería extensiva. Cultivos anuales como arroz, soya, caupí, etc. han tenido éxito cuando se han producido cerca de los centros de procesamiento, pero han resultado anti-económicos cuando se han cultivado lejos de dichos centros. La falta de una infraestructura vial hace difícil y costoso en los Llanos el transporte de los productos agrícolas.

El maíz ofrece una opción atractiva para los agricultores de los Llanos, puesto que puede ser consumido directamente por humanos y animales en el sitio donde se produce, evitando los costos de transporte. Sin embargo, hasta ahora el maíz no ha sido sembrado extensamente en los Llanos debido a la falta de un sistema de cultivos apropiado y sostenible incluyendo una variedad tolerante a la acidez. La investigación tendiente al uso sostenible de los agroecosistemas de los Llanos, puede ayudar a aumentar la producción de alimentos en Colombia, permitiendo al país utilizar y desarrollar nuevas ventajas comparativas de la región.

4. Objetivos

- Desarrollar variedades e híbridos tolerantes a la acidez del suelo que tengan altos rendimientos.
- Generar información biofísica y agronómica en diferentes sistemas considerando al maíz como uno de sus componentes.
- Desarrollar materiales genéticos para marcar molecularmente los genes responsables de la tolerancia a la acidez del maíz.
- Producir información técnica de utilidad para la comunidad científica del mundo.

5. Productos

- I. Un ciclo de selección más en las poblaciones SA-3/SA-5, SA-4, SA-6 y SA-7/SA-8.
- II. Desarrollo de siete variedades de polinización libre, tolerantes a suelos ácidos.
- III. Desarrollo de aproximadamente 880 híbridos para suelos ácidos con base de aproximadamente 180 líneas tolerantes.
- IV. Ensayo internacional en 17 ambientes que muestra superioridad de nuevas variedades a la ICA V-110 en suelos ácidos.
- V. Uso de líneas tolerantes y susceptibles desarrolladas por el programa en estudios de posgrado de dos estudiantes colombianos.
- VI. Información que indica superioridad del sulcamag sobre la cal dolomítica en rendimiento, especialmente en los suelos arenosos ácidos.
- VII. Información que indica la superioridad de SIKUANI ICA V-110 sobre variedades no tolerantes en un rango de niveles de Al y P.
- VIII. Doce publicaciones/presentaciones en revistas/reuniones nacionales e internacionales.
- IX. Financiamiento de la participación de aproximadamente 10 científicos colombianos en tres reuniones nacionales y dos a nivel internacional y entrenamiento de dos profesionales de CORPOICA en un curso en Brasil.

6. Resumen de los resultados en el año 1995

6.1 Desarrollo de Germoplasma

Durante 1995, CIMMYT continuó sus esfuerzos para desarrollar y mejorar la tolerancia a la acidez del suelo del maíz tropical. La principales actividades en desarrollo de germoplasma fueron:

6.1.1 Reducción de seis a cuatro el número de poblaciones de ciclo completo. Se unieron las poblaciones SA-5 con la SA-3 y la SA-8 con la SA-7 para lo cual se evaluaron, por su capacidad de rendimiento en suelos ácidos de Colombia, Brasil y Tailandia, 331 líneas S1 de la población SA-3, 368 de SA-4, 365 de SA-5, 352 de SA-6, 324 de SA-7 y 289 de SA-8. Luego de la evaluación per-se se seleccionaron 96, 100, 47, 140, 73 y 121 líneas, respectivamente. Se hicieron cruzamientos entre las líneas seleccionadas y las correspondientes poblaciones heteróticas y los topcrosses así formados fueron evaluados en ensayos con repeticiones tanto en suelos ácidos como no ácidos en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guatemala, Ivory Coast, México y Tailandia. Las S1 fueron avanzadas a S2 en Colombia. Con base en la información de patrones heteróticos, las líneas S2 de las líneas S1 seleccionadas serán recombinadas durante 1996A a fin de completar el proceso de consolidación de las poblaciones.

Esta consolidación permitió disponer de recursos para poder manejar dos poblaciones precoces con tolerancia a suelos ácidos, para lo cual se evaluaron 571 líneas S1 en condiciones de suelos ácidos, habiéndose seleccionado 15 líneas blancas y 67 amarillas y simultáneamente se ha recombinado dentro de cada grupo para formar dos poblaciones.

6.1.2 Durante el presente año, se evaluaron 1,802 líneas de nuestro programa, 305 líneas del programa de México en condiciones de suelos ácidos y no ácidos de Brasil, Colombia y Tailandia habiéndose seleccionado 36 líneas blancas y 142 amarillas, para ser utilizadas en cruzamientos con 5-6 probadores y en cruzamientos tipo Diseño II para desarrollar aproximadamente 880 híbridos que serán evaluados en 1996 en coordinación con los programas nacionales.

6.1.3 Se evaluaron C0, C2 y C4 de la población SA-3, C0, C1 y C3 de SA-4, SA-5, SA-6 y SA-7 y C0, C1 y C2 de SA-8 en cinco ambientes con suelos ácidos, dos con suelos no ácidos pero de baja fertilidad y un ambiente con suelo fértil. En los ambientes con suelos ácidos se tuvo una ganancia para rendimiento que varía de 0.47 a 8.43% con un promedio de 4.75% por ciclo. Para los ambientes con suelo no ácido pero de baja fertilidad, las ganancias para rendimiento oscilan entre -0.18 y 9.43% con un promedio de 2.99 por ciclo. Para el ambiente con suelo fértil la ganancia oscila entre -7.35 y 7.10% con un promedio de 1.85 por ciclo. Los

datos sugieren que la selección ha sido efectiva en mejorar el comportamiento de las poblaciones a través de todos los ambientes y particularmente para suelos ácidos.

6.1.4 Se desarrollaron siete nuevas variedades experimentales utilizando líneas élite S1 a fin de ser evaluadas por los programas nacionales durante 1996-97.

6.1.5 Datos de 15 ambientes con suelo ácido, de un experimento con nuestras mejores variedades experimentales tolerantes a suelos ácidos, indican que la mejor de ellas (CIMCALI 93SA-4) rindió 3.11 t/ha, comparada con 2.97 t/ha, rendimiento del mejor testigo de los programas nacionales. La superioridad de nuestra mejor variedad experimental fue 9% pero en 11 de los 15 ambientes evaluados los programas nacionales incluyeron como testigos nuestras previas variedades experimentales. Datos de dos ambientes con suelo fértil muestran que nuestra mejor variedad (93SA-6) rindió 7.49 t/ha, comparada con 5.18 t/ha del mejor testigo.

6.2 Desarrollo de Metodología de Investigación

Se identificó un total de 49 líneas (29 altamente tolerantes y 20 altamente susceptibles a suelos ácidos), incluyendo 20 pares de líneas casi isogénicas que actualmente están siendo estudiadas utilizando la técnica de fragmentos amplificados de polimorfismo (AFLP) a fin de localizar marcadores moleculares para tolerancia a suelos ácidos. También estamos desarrollando material genético por cruzamiento entre líneas altamente tolerantes y altamente susceptibles para marcar genes responsables de la tolerancia a la acidez. Esperamos que esta información molecular incremente la eficiencia en nuestros programas de mejoramiento orientados al desarrollo de cultivares de maíz con tolerancia a suelos ácidos.

6.3 Investigación en Agronomía y Sistemas.

En estudios de interacción fósforo por cal, se comparó la variedad Sikuaní ICA V 110 tolerante a suelos ácidos, con la variedad Tuxpeño (susceptible). A un nivel de 31% de saturación de aluminio y 0 Kg/ha de P_2O_5 , Sikuaní rindió 3.98 ton comparado con 3.57 ton de Tuxpeño. Al mismo nivel de saturación de aluminio y 90 Kg/ha de P_2O_5 Sikuaní rindió 5.77 ton vs 4.80 ton de Tuxpeño (20% superior). Con 64% de saturación de aluminio y 0 Kg/ha de P_2O_5 Sikuaní rindió 79% más que la variedad Tuxpeño (3.05 vs 1.70 Tn/ha, respectivamente); al mismo nivel de aluminio y 90 Kg/ha de P_2O_5 , Sikuaní rindió 4.19 ton vs 3.20 ton de Tuxpeño (31% más). Estos resultados muestran la superioridad de Sikuaní sobre un rango de acidez, mostrando mayor superioridad al aumentar los niveles de estrés.

Para reducir la acidez del suelo se comparó cal dolomítica (57% CaCO_3 + 35% MgCO_3) y Sulcamag (25% CaO , 12% MgO y 8% S) y cuatro métodos de aplicación (banda, sitio, voleo, banda + voleo). Con Sulcamag la variedad Sikuaní ICA V 110 rindió 118% más que con Cal dolomítica (3.5 vs 1.6 ton/ha). Aunque el sulcamag cuesta un 50% mas que la cal, el rendimiento adicional cubre estos costos. Entre métodos de aplicación y métodos por enmiendas no se presentaron diferencias, siendo la aplicación al voleo la mas económica y práctica de utilizar.

En otro ensayo se evaluó la respuesta a las aplicaciones de P_2O_5 en la variedad Sikuaní y un híbrido experimental bajo 55% de saturación de aluminio. Cuando no aplicamos fósforo el híbrido rindió 1.58 ton y Sikuaní 1.47 ton. con aplicaciones de 80 K/ha de P_2O_5 el híbrido rindió 4.60 ton y Sikuaní 4.0 ton. Estos resultados muestran la superioridad y una mayor respuesta del híbrido sobre la variedad.

6.4 Reuniones y Entrenamiento

Del 16 al 20 de Enero de 1995 se organizó en Colombia una reunión con la finalidad de mostrar a los participantes los avances recientes de nuestro programa, discutir nuestros resultados de 1994 y planear las actividades colaborativas para 1995 y 1996. Los participantes fueron dos científicos de Bolivia, cuatro de Brasil, tres de Colombia, tres de Ecuador, uno de Perú, uno de IICA-PROCIANDINO, cuatro de CIMMYT-México y cinco de CIMMYT-Cali.

La III Reunión Latinoamericana y XVI Reunión de Maiceros de la Zona Andina fue desarrollada en Bolivia del 20 al 24 Noviembre de 1995. Participaron 88 científicos: 12 de Argentina, 40 de Bolivia, ocho de Brasil, siete de Colombia, tres de Ecuador, uno de Guatemala, uno de Honduras, uno de Italia, uno de Nicaragua, tres de México, tres de Perú, uno de Uruguay, tres de los Estados Unidos y cuatro de Venezuela. Los participantes presentaron sus propios resultados de investigación y participaron en las charlas magistrales de distinguidos científicos sobre tópicos de biotecnología, integración regional, educación agrícola, mejoramiento de maíz para ensilado y avances recientes del programa de maíz de CIMMYT.

Se apoyó a dos estudiantes Colombianos para que obtengan su grado de M.S. en la Universidad Nacional de Palmira y a un estudiante Ecuatoriano el grado de Ph.D. en la Universidad de Sao Paulo, Piracicaba, Brasil.

Los dos científicos que vienen trabajando en el Programa invirtieron durante el presente año 201 días visitando parcelas experimentales y trabajando conjuntamente con los científicos de los programas nacionales, además de publicar o presentar 12 artículos en revistas o reuniones nacionales e internacionales.

IV. ACTIVIDADES DE INVESTIGACION DEL TROPICO BAJO

RESUMEN

La contribución del Programa del Trópico Bajo al conocimiento y al desarrollo de alternativas de manejo y producción de las tierras de las sabanas de los Llanos Orientales, está enmarcada en el planteamiento que a continuación se detalla.

1. Importancia Socioeconómica

En la opinión de un experto como Norman Borlaugh, las sabanas neotropicales constituyen la última frontera agrícola importante en el mundo (Borlaugh and Dowswell, 1994). Para otros, es un recurso natural frágil y valioso, rico en fauna y flora y localizado en las cuencas más grandes del continente americano. Las sabanas de la América del Sur se extienden sobre 250 millones de hectáreas, incluyendo el Cerrado (180-205 mill. has) en Brasil y los Llanos de Colombia (17 mill. has), Venezuela (28 mill. has) y una porción de 14 millones de hectáreas en Bolivia.

Una fracción importante de estas sabanas ha sido colonizada e influenciada por asentamientos humanos durante los últimos 40 años (Vera, et al., 1992). Una parte importante de esta intervención ha sido hecha con tecnología inapropiada. Problemas comunes derivados de estas intervenciones son la degradación química y física de los suelos y el incremento de las plagas en áreas de monocultivo. El impacto del uso de la tierra en flora y fauna, a pesar de que se constituye en un problema mayor, ha sido tratado y estudiado muy sómeramente.

2. El Mandato

El mandato del Programa del Trópico Bajo (PTB) en Colombia es el de desarrollar y probar un conjunto de paquetes o formas de utilización sostenible de la tierra para las sabanas de suelos ácidos. Idealmente, estos usos alternativos de la tierra deberán incluir aumentos en la productividad con preservación e incluso, con mejoramiento de la base de recursos y con un aumento en la equidad. Se entiende que con base en esta imagen objetivo, se espera detectar los diferentes factores que lo afectan, su dimensión y todos aquellos detalles que permitan una toma de decisiones racional con base en información confiable y actual.

3. La Estrategia

La estrategia para alcanzar este objetivo descansa en tres proyectos interrelacionados, en los que se tratan los temas a tres niveles o escalas

geográficas de resolución diferentes.

Estos proyectos son:

- 3.1 *Estudio de la dinámica y la tendencia de los patrones de uso de la tierra que lleven a la caracterización biofísica y socioeconómica del agrosistema correspondiente, incluyendo la identificación de sitios contrastantes y representativos y espacios de extrapolación y posteriormente la modelación de escenarios alternativos.*
- 3.2 *Desarrollo y prueba de prototipos alternativos de sistemas agropastoriles y agrosilvopastoriles basados en la identificación de los problemas mayores y de las oportunidades y nichos identificados en el proyecto anterior y apoyados en un conocimiento de los procesos de interacción suelo-planta-animal específicamente tratados en el tercer proyecto.*
- 3.3 *Comprensión de los procesos biofísicos que afectan el manejo de los recursos para conocer los intercambios que internamente ocurren allí, siguiendo el enfoque holístico aplicado a varios niveles de resolución, dependiendo de los procesos específicos bajo estudio.*

4. Resultados

Con este paquete de proyectos, que en este documento se detallan individualmente en lo que respecta a las actividades de 1995, se espera obtener los siguientes resultados a mediano plazo:

- 4.1 Método para toma de decisiones técnicas y de política con base en la demanda desarrollado.

Actividades:

Identificación de los cambios en el uso de la tierra y sus factores causales.
Cuantificación de las consecuencias ecológicas y socioeconómicas de los cambios en el uso de la tierra.
Identificación de demandas, oportunidades y de prioridades técnicas y de política.

- 4.2 Tecnologías sobre sistemas de producción sostenibles para sabanas de suelos ácidos desarrolladas y adaptadas.
Presión sobre los recursos naturales reducida.

Actividades:

Identificación de componentes con potencial para conformar sistemas ecológicamente factibles.

Estimación cuantitativa del intercambio producción-conservación para diferentes prototipos de sistema.

Identificación de los conceptos y principios para el manejo integrado de producción y conservación para sistemas ecológicamente factibles.

Monitoría y evaluación de la dinámica de la biodiversidad y de la conservación de suelos y agua en sistemas ecológicamente factibles.

Mejoramiento de la capacidad institucional para desarrollar, organizar y transferir conocimiento de sistemas mejorados de uso de la tierra.

4.3 Productividad agrícola y conservación de los suelos mejoradas.

Actividades:

Identificación de procesos químicos, físicos y biológicos del suelo que sean limitantes.

Identificación de indicadores para agua y suelos.

Desarrollo de estrategias para mejoramiento de los suelos.

Prueba y adaptación de modelos de producción y de procesos.

1. Título: TL03-1 - Encuesta de diagnóstico y planeación de la investigación para la Amazonia y las sabanas bajas de América del Sur

2. Coordinador: Sam Fujisaka

3. Justificación

La contribución de la investigación científica a la toma de decisiones sobre el manejo de tierras requiere, por un lado, comprender los procesos a través de los cuales los productores definen sus acciones —así como su percepción de las consecuencias de las mismas— y, por otro lado, evaluar objetivamente los impactos producidos.

La metodología desarrollada en este proyecto utiliza una combinación de relevamientos a los productores y de verificación independiente con métodos de los sistemas de información geográfica (SIG). Puede ser de gran utilidad en las áreas sometidas a deforestación en Colombia, y puede usarse para desarrollar estrategias y políticas que contribuyan al uso sostenible de la tierra.

4. Objetivo del proyecto

Identificación y análisis de las estrategias de uso de la tierra de los colonos de la región amazónica y su impacto en el ambiente.

5. Logros esperados

- Análisis de las políticas gubernamentales
- Relevamiento de productores
- Análisis mediante los sistemas de información geográfica
- Evaluación del impacto del uso de la tierra sobre la biodiversidad

6. Resumen de los resultados obtenidos en 1995, por producto

La tala de bosques en la región tropical, debida en parte a la agricultura de tumba y quema, contribuye al calentamiento del planeta por la combustión y la liberación de CO₂ a la atmósfera. Brasil es el cuarto país que más carbono aporta a la atmósfera —después de Estados Unidos, la ex Unión Soviética y China. La tala de bosques conduce también a pérdidas de la diversidad genética y cultural.

Esta actividad ha sido mayor en América Latina que en Asia o África en cuanto a área (43,000 km²/año) y porcentaje de bosque desmontado. Imágenes recientes

de satélite indican que se han talado unos 230,000 km² de la Amazonia brasileña y que un área de 588,000 km² se encuentra afectada —si se consideran los "efectos de borde" de un km en áreas forestales adyacentes.

La comprensión de la dinámica de la tala de bosques, tanto a nivel regional como en las fincas, aportaría probablemente enfoques más útiles y eficientes para aquellos investigadores, organizaciones de desarrollo y formuladores de políticas que intentan lograr dos objetivos a menudo conflictivos: las tasas descendentes de tala y el mejoramiento del bienestar de los pequeños colonos y de otros moradores de escasos recursos radicados en los bosques.

Producto 1. Análisis de políticas gubernamentales

Se revisó la literatura sobre la política gubernamental que ha influido en la tala de bosques en la Amazonia con el transcurso del tiempo. Los datos recolectados suministraron información sobre el contexto y permitieron una mejor comprensión de lo que se observó en el campo, de lo aprendido en las entrevistas con los agricultores y de lo que se dedujo del análisis de imágenes de satélite.

Los factores que contribuyeron a la tala de bosques en el período 1960-1985 fueron: la construcción de vías, la transformación del paisaje en extensiones para el pastoreo y la ganadería (y las políticas relacionadas con estas actividades), la demanda de tierra por parte de la población rural de escasos recursos, las políticas de crédito y de tenencia que equipararon las mejoras de la tierra con el desmonte, y la especulación con los precios de la tierra (especialmente en los períodos de inflación alta).

Las vías expusieron la Amazonia a la colonización y la tierra a la tala de bosques. La construcción de la autopista Belem-Brasilia concluyó en 1960. La vía denominada BR364, entre Porto Velho en Rondônia y Cuiaba en el sur, se terminó de construir en 1965 y en 1969 se le hicieron mejoras. Entre 1972 y 1976 se completaron los tramos de la carretera transamazónica.

De 1960 a 1990, más de 10 millones de hectáreas de bosque se transformaron en pasturas. La Superintendencia de Desarrollo de la Amazonia (SUDAM, por su sigla en portugués), establecida en 1966, facilitó las inversiones privadas en la Amazonia mediante incentivos fiscales, otorgando el mayor apoyo a las grandes haciendas y corporaciones. Las haciendas ocupan actualmente 8.4 millones de hectáreas, con un promedio de 24,000 hectáreas cada una; sin embargo, apenas emplean una persona por cada 300 hectáreas y fueron rentables sólo cuando gozaron de ventajas fiscales totales.

Las "políticas relacionadas" que contribuyeron a la tala de bosques fueron: exenciones de impuestos a los ingresos agrícolas, normas que determinaban la

seguridad de los títulos sobre la tierra y fomentaban así el desmonte, impuestos progresivos a la tierra que estimulaban su transformación en pasturas, esquemas crediticios de subsidios para las haciendas ganaderas colectivas, y rebaja de impuestos para las industrias madereras.

La población rural de escasos recursos también se vio "empujada" hacia áreas fronterizas en búsqueda de tierra: el 4.5% de los propietarios de la tierra en Brasil posee el 81% de las tierras agrícolas del país, mientras que el 70% de las familias rurales carecen de tierra. En el período 1963-1973, la política brasileña apoyó la expansión de las áreas agrícolas, los insumos producidos en el país, la mecanización mediante el crédito, la concentración de las tierras y la erradicación de los cultivos de café. Durante el período 1971-1980, el país experimentó un aumento de las exportaciones agrícolas y de la concentración de la riqueza gracias a la inflación alta y a las bajas tasas de interés fijadas para unos pocos prestatarios. La mecanización de la producción de la soya, del trigo y de la caña de azúcar contribuyó a que la población rural de escasos recursos se desplazara fuera de la región populosa y desarrollada del centro-sur de Brasil. En esa región, la soya se convirtió en el principal cultivo y la agricultura en pequeña escala con uso intensivo de mano de obra fue reemplazada por las prácticas de cultivo con uso intensivo de energía y de maquinaria.

El Instituto Nacional de Colonización y Reforma Agraria del Brasil (INCRA, por su acrónimo en portugués) estableció en 1970 un Programa de Integración Nacional (PIN) para ayudar a la población rural de escasos recursos. Las altas tasas de migración hacia Rondônia —incluyendo la migración espontánea y las "invasiones" de tierras— dio lugar, en 1977, a la distribución de 5 millones de hectáreas (21% de la superficie del estado) para los colonos. Ese mismo año, la tala de bosques llegó al 17% del estado y los agricultores beneficiarios de crédito rural desmontaron 25% más de bosque que los que no recibieron crédito. Sin embargo, problemas como la falta de vías de acceso en cualquier época del año, semilla inadecuada, lluvias tempranas, falta de materiales de siembra para cultivos perennes y títulos de propiedad poco seguros, así como la crisis petrolera de 1973, llevaron al gobierno a sustituir, en 1974, los esquemas

de colonización para pequeños agricultores por la ayuda a los grandes empresarios.

Algunos de los principales incentivos proporcionados a las grandes corporaciones y haciendas ganaderas se eliminaron en 1985, año en el cual Brasil atravesó un período de recesión y de inflación descontrolada. El análisis reciente de los datos de teledetección indica que han ido disminuyendo las tasas de tala de bosques en la Amazonia, así: de 8.0 millones de hectáreas en 1987 a 1.8 millones de hectáreas en 1989, luego a 1.4 millones de hectáreas en 1990 y, por último, a 1.1 millones de hectáreas en 1991. Por otra parte, ha continuado la tala de bosques a causa de la ganadería, y dos tercios de esa tala se hicieron sin incentivos de la SUDAM. Parece que los factores que la favorecen son: a) la demanda reciente de tierras fronterizas (desmontadas) que ha surgido entre los especuladores de tierra de las ciudades porque el gobierno de la frontera se ha fortalecido en grado tal que puede proteger los derechos de propiedad (en contraposición con los hacendados que tienen que financiar ejércitos privados para mantener sus títulos sobre la tierra); y b) la ganadería es una actividad rentable económicamente dados los precios actuales de la tierra.

Se han eliminado, en general, muchos de los subsidios e incentivos que más directamente propiciaban la tala de bosques por parte de las grandes empresas y de los ganaderos; la tasa de deforestación en la Amazonia ha disminuido, aunque la transformación del bosque continúa en las áreas fronterizas.

Producto 2. Relevamiento de productores

Los agricultores colonos muestreados en los asentamientos que patrocinó el gobierno en Pedro Peixoto, Acre, y en Teobroma, Rondônia, fueron entrevistados utilizando un cuestionario desarrollado de una evaluación rural rápida hecho anteriormente y de las pruebas previas realizadas por los siguientes participantes en la encuesta: CIAT, IFPRI, EMBRAPA y PESACRE (una ONG local participante). El cuestionario versó sobre las prácticas de manejo de los cultivos y de los recursos empleados por los colonos y sobre las prácticas relacionadas con la tala de bosques. Los colonos tenían parcelas grandes (de 80 a 100 hectáreas) en las que practicaban la agricultura de tumba y quema. La mayoría de los agricultores no dejaban barbechos que permitieran la regeneración del bosque y una posible resiembra, sino que transformaron las tierras en pasturas después de cultivarlas durante uno o dos años; algunos agricultores transformaron la tierra en pasturas después de un período en barbecho y de un segundo ciclo de cultivo. Aunque los colonos produjeron arroz, maíz y yuca para el mercado, estaban fuertemente inclinados a transformar los bosques en pasturas debido a los aumentos tan grandes que adquirió el valor de la tierra para cubrir las "mejoras" —es decir, el desmonte, el establecimiento de pasturas, el cercado y los estanques de reserva.

Los colonos obtuvieron grandes parcelas de tierra forestal que desmontaron para uso agrícola. El promedio de las parcelas en Pedro Peixoto era de 88 hectáreas y en Teobroma de 76 hectáreas. Hacia 1993-1994, los colonos habían desmontado un promedio de 27 hectáreas (31%) de sus tierras en Pedro Peixoto y una extensión un poco mayor (35 hectáreas, o sea, 46%) en Teobroma. El 31% de las tierras desmontadas en Pedro Peixoto estaban repartidas, en promedio, así: 20% (de toda la parcela) en pasturas, 6% en barbecho y 4% en cultivos anuales. El 46% de las tierras desmontadas en Teobroma estaban repartidas así: 26% en pasturas, 8% en barbecho, 7% en cultivos anuales y 5% en cultivos perennes.

De 1994 a 1995, la parte de las parcelas que los colonos habían talado aumentó, en promedio, 2.0 hectáreas, es decir, pasó del 31% al 34% en Pedro Peixoto y, en promedio, 2.7 hectáreas, es decir, del 46% al 50% en Teobroma. Se ha talado, en total, un 40% de las tierras de los colonos en los dos asentamientos y más de la mitad del área desmontada se ha transformado en pasturas. Sólo el 7% de las tierras de los colonos estaban en barbecho.

Los agricultores cultivaron tierras en que habían sido talados bosques primarios durante un promedio de 2.1 años (Pedro Peixoto) a 2.5 años (Teobroma). Después de sembrar cultivos alimenticios, las dos terceras partes de los agricultores de Pedro Peixoto y casi mitad de los de Teobroma transformaron sus tierras en pasturas. Alrededor de la tercera parte de los agricultores, en ambas regiones, dejó alguna tierra en barbecho o en pasturas no mejoradas. El 20% de los agricultores de Teobroma también pasó algunas de sus tierras de cultivos anuales a cultivos perennes.

El ganado y la introducción de pasturas son quizás la principal fuerza motriz que impulsa la tala de bosques en los asentamientos. La mayoría de los colonos (el 91% en Pedro Peixoto y el 81% en Teobroma) tenían ganado de doble propósito. En promedio, el tamaño del hato era de 18 cabezas en Pedro Peixoto y de 26 en Teobroma. El principal "ingreso" de los colonos era la valorización de sus tierras debida a su transformación en pasturas: el 93% de los colonos de Pedro Peixoto y el 97% de los de Teobroma se dieron cuenta de que el precio de sus tierras aumentaba (los valores se manejaron en términos de cantidades de ganado equivalente), a una tasa anual de 74% en el primer sitio y de 157% en el segundo. El incremento total que declararon los agricultores a partir del momento en que ocuparon sus parcelas alcanzó un valor cercano al 800% en Pedro Peixoto y al 950% en Teobroma. La adición de áreas de pasturas o desmontadas, las cercas, los estanques y los corrales fueron las principales razones a las que se atribuyó este incremento.

Los agricultores habían transformado, en promedio, 19 hectáreas y 30 hectáreas de bosque primario en Pedro Peixoto y Teobroma, respectivamente, al momento de las entrevistas. Se había desmontado un promedio de 3.3 hectáreas y 8.5

hectáreas en Pedro Peixoto y en Teobroma, respectivamente, al momento de la llegada a la parcela cuando ésta fue ocupada. El promedio de ocupación de parcelas por los agricultores fue de 9 años en Pedro Peixoto y de 8 años en Teobroma. En consecuencia, la tasa de tala de bosques primarios fue de 1.8 hectáreas por año en Pedro Peixoto y de 2.8 hectáreas por año en Teobroma —cifras muy cercanas a las calculadas para el periodo 1994-1995.

En ambos asentamientos, las áreas desmontadas del agricultor individual y el área en pasturas se correlacionaron con el tamaño total de la parcela; además, la correlación entre el área en pasturas y el área desmontada fue alta. Para Teobroma, los agricultores que no desmontaron la tierra cubierta de bosque a finales de 1994 tenían significativamente (al nivel del 5%) más tierra en barbecho (8.6 hectáreas) que los que la desmontaron (4.0 hectáreas), lo que indica que algunos agricultores de Teobroma dejaron tierra en barbecho. Aunque los agricultores de Pedro Peixoto que desmontaron el bosque a finales de 1994 tuvieron también menos tierra en barbecho (5.6 hectáreas) que los que no desmontaron (4.5 hectáreas), esta diferencia no fue significativa.

Producto 3. Análisis por sistemas de información geográfica

Se obtuvieron las imágenes Landsat TM de sitios registrados en diferentes épocas, se superpusieron a los mapas catastrales y a otros mapas disponibles y luego se analizaron para comprobar las tasas de conversión forestal reportadas por los agricultores y para estudiar dos aspectos: a) las relaciones entre las tasas de tala del bosque; b) las distancias desde las vías principales y secundarias, el acceso a los mercados en la estación lluviosa, la tenencia de la tierra y el tamaño de las parcelas. Se utilizaron los análisis del SIG hechos sobre mapas catastrales y de suelos para estratificar las diferentes áreas según la productividad potencial de la tierra.

El análisis de las imágenes Landsat TM de 1984, 1987 y 1992 de Pedro Peixoto confirmaron las tasas calculadas a partir de los datos reportados por los agricultores. El área que cubrían las imágenes era de 357,000 hectáreas, de las cuales 276,000 correspondían a parcelas de los colonos, 22,000 a haciendas y 56,000 a "otros" usos.

En general, los porcentajes de área desmontada dentro del área cubierta por las imágenes de Pedro Peixoto fueron de 8.8% en 1984, 12.1% en 1987 y 25.0% en 1992. Las áreas desmontadas de los colonos aumentaron de 8.1% en 1984 a 13.1% en 1987 y, en 1992, hasta 26.4%. Esta última cifra y el área desmontada, que se calculó para 1993-1994 en un 31% a partir de las entrevistas con los agricultores, se sustentan mutuamente: ambos análisis proporcionan tasas anuales cercanas al 3% y una tala total de bosques 30% en 1993 en los lotes de los colonos de Pedro Peixoto.

Los haciendas aumentaron el área desmontada de 16.8% a 32.4% entre 1984 y 1992. El área desmontada en las haciendas se duplicó durante ese período de 8 años (1984-1992); entretanto, el desmonte en las parcelas de los colonos aumentó en más del 300% durante el mismo período.

Para la tala del bosque por parcela en Pedro Peixoto, las imágenes indican que aumentó de 22,388 hectáreas desmontadas en 1984 a 72,970 hectáreas desmontadas en 1992, en las 3,141 parcelas de los agricultores. Es decir, se desmontó un total de 6,323 hectáreas por año durante ese período de 8 años, lo que equivale a una tasa de desmonte de 2.0 hectáreas/parcela por año. Esta tasa corresponde, una vez más, al cálculo basado en los datos reportados por los agricultores.

Se aplicó el análisis de las imágenes de satélite para determinar el rango y la distribución de la tala de bosques por deciles en Pedro Peixoto. Los deciles toman la frecuencia de lotes que presentan de 0 a 9.9%, de 10% a 19.9%, y así sucesivamente hasta el nivel de 90% a 100% de tala de bosque, y esto para 1984, 1987 y 1992. En 1984, el 70% de las parcelas de los colonos tenía menos del 10% de su área talada, y sólo el 3% de las parcelas habían sido desmontadas en un 40% o más. Para 1992, sólo el 22% de las parcelas seguía conservando menos del 10% de su área talada, mientras que otro 22% se había talado en un 40% o más.

Profundizando en el análisis, se confirmó que la tala del bosque no sólo aumentó en forma sostenida con el transcurso del tiempo en los asentamientos, sino que fue mucho mayor y uniforme en los siguientes sitios: a) cerca de las vías y b) cerca de las vías primarias versus las secundarias. Se analizó la tala del bosque como una función de la distancia desde las vías para las áreas muestreadas que aparecían en las imágenes del satélite de Pedro Peixoto de 1984, 1987 y 1992. De 1984 a 1992, la tala del bosque aumentó: a) del 58% al 84% en las áreas que distaban hasta 250 m de las vías principales; b) del 25% al 48% en las áreas que distaban entre 2 km y 3 km de las vías principales; y c) a niveles intermedios para las distancias intermedias. Para las vías secundarias, durante el período 1984-1992, la tala del bosque aumentó, en forma similar, del 10% al 51% en las áreas que distaban hasta 250 m de la vía principal y del 4% al 13% en las áreas que distaban entre 2 km y 3 km de las mismas vías. Las distancias intermedias (y la imagen intermedia de 1987) de las vías secundarias proporcionaron de nuevo valores intermedios.

La tala de bosques en Pedro Peixoto fue un poco menor en las áreas de difícil acceso en comparación con las áreas más accesibles. Los investigadores de EMBRAPA identificaron, en el mapa catastral, las áreas que quedaban aisladas por ríos, por inundaciones o por vías y puentes deficientes o inexistentes durante la estación húmeda. La superposición del mapa catastral a las imágenes de satélite permitió analizar la tala del bosque como una función de la accesibilidad

durante la estación húmeda. En 1984 se taló el 5% de las áreas de difícil acceso, en comparación con el 9% de las áreas accesibles. Sin embargo, para 1992 se había reducido la brecha: en las parcelas de difícil acceso se talaba el 25% y en las parcelas accesibles, el 27%.

Producto 4. Evaluación del impacto del uso de la tierra sobre la biodiversidad

Se realizó un reconocimiento de la cantidad de especies vegetales y de plantas individuales en relación con el uso de la tierra en un asentamiento agrícola de la Amazonia brasileña. La tierra se usaba como bosque y para cultivos después de la tala del bosque, barbechos, cultivos después del barbecho y pasturas. Estos usos correspondían, aproximadamente, a los cambios introducidos en el uso de la tierra por los agricultores con el transcurso del tiempo. Como era de esperarse, la diversidad de especies fue superior en el bosque. También fue mayor en los barbechos que llevaban más tiempo, lo que se explica tanto por la supervivencia y el restablecimiento de las especies forestales como por la emergencia de plantas que no se encontraban en el bosque. Sin embargo, con dos excepciones, y teniendo en cuenta sólo los árboles, las especies que representaban la mitad de los individuos en el bosque no eran las mismas que aquéllas que representaban la mitad de los individuos hallados en los barbechos. Las tierras cultivadas mediante la práctica de tumba y quema conservaron cantidades moderadas de especies —tanto forestales como no forestales. Prescindiendo de las pasturas, las tierras cultivadas durante 3 años después de talar el bosque y durante el primer año después del barbecho presentaron la densidad más alta de especies vegetales, lo que refleja las infestaciones de malezas. La mayor parte de las tierras no cubiertas con bosque en Pedro Peixoto estaba "enmalezada" con arbustos (especialmente *Vernonia ferruginea*, *Solanum rugosum* y *Eupatorium laevigatum*), con plantas herbáceas (especialmente *Heliconia pendula*, *Erigeron bonariensis* e *Imperata brasiliensis*) e inclusive con árboles como *Cecropia sp.*, *Acalypha sp.* y *Trema micrantha*. Las especies forestales útiles (por ejemplo, para construcción, alimenticias y medicinales) disminuyeron a medida que ocurrían transformaciones en el uso de la tierra, aunque también aparecieron especies nuevas. En las pasturas se encontró la menor cantidad de especies arbóreas y de plantas útiles, y la mayor pérdida de especies forestales. La transformación del bosque en pasturas, seguida por la agricultura de tumba y quema, contribuyeron en gran medida a la pérdida de la biodiversidad.

1. Título: TL03-2 - Causas y consecuencias socioeconómicas y ecológicas del cambio en el uso del suelo en la altillanura colombiana.

2. Coordinadores del proyecto: Joyotee Smith y Vicente Cadavid

3. Justificación

Los investigadores biofísicos, los planificadores de políticas y los ONGs podrían obtener retroalimentación con información a nivel de fincas sobre tecnologías y políticas necesarias; Los productores en medios desfavorables podrían obtener tecnologías más apropiadas a sus condiciones locales; La población urbana de escasos recursos económicos podrían obtener alimentos más baratos; y, en el largo plazo, la sociedad podrá beneficiarse de la conservación de la biodiversidad.

4. Objetivo del proyecto

Analizar las consecuencias socioeconómicas y ecológicas por el cambio en el uso del suelo, y establecer prioridades de tecnologías y de políticas gubernamentales a través de investigaciones de campo y análisis de GIS (Sistema de Información Geográfica).

5. Productos (outputs) del proyecto

5.1 Cambios en el uso del suelo e identificación de los factores determinantes de éstos.

5.2 Consecuencias socioeconómicas y ecológicas por los cambios cuantificados en el uso del suelo.

5.3 Identificación de demandas, oportunidades y tecnologías, además de la definición de prioridades de políticas de investigación.

6. Resumen de los resultados en el año 1995

Para lograr los objetivos del proyecto, en 1995 se inició con la investigación en una muestra representativa de 98 fincas localizadas en las sabanas de la Altillanura Oriental de Colombia (municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, Depto de Meta). La muestra de fincas seleccionadas al azar, representa cerca del 12% de la población total de predios en esta región. Los dos municipios cubren un área total de 2'4 millones de hectáreas.

6.1 Cambios en el Uso del Suelo y Factores Determinantes

El cambio más importante se registra en la evolución del sistema de producción extensivo tradicional hacia el sistema semi-intensivo mejorado en la producción de bovinos. La encuesta muestra que la adopción de las pasturas se ha incrementado desde un 2% del área en 1979 al 20% en 1995, con una tasa de crecimiento en la adopción de 14% anual (cuadro 1).

Con los resultados encontrados se efectuaron distintos análisis de simulación con un modelo de finca ganadera proyectada a 15 años. Se concluyó que la fuerza dominante en la intensificación del uso del suelo ha sido el significativo incremento en la valorización de la tierra, estimulado por la inversión en infraestructura y por la especulación en el mercado de tierras. No obstante, la inversión en tierra para la producción bovina pastoreando sabanas nativas es inferior a la tasa real de interés (15%). Sin embargo, con el 20% de la finca en pasturas mejoradas, las inversiones podrían ser rentables (Figura 1).

Las investigaciones ya han mostrado que las asociaciones de gramíneas con leguminosas forrajeras son significativamente más productivas y además, mejoran los suelos. Sin embargo, solamente el 2% del área contiene este tipo de asociación y el 88% de los productores han reportado dificultades por la falta de persistencia y de manejo de las leguminosas. El análisis económico muestra que en, el mejor de los casos, se obtiene una mayor rentabilidad que con gramíneas puras; Por ejemplo, con el 20% del área mejorada, en la leguminosas asociadas se obtiene solamente un 4% de tasa interna de retorno mayor que la lograda con una gramínea pura. Esto es el resultado de los mayores costos de la semilla de leguminosa, además por las labores de renovación y resiembra requeridas para estas pasturas mixtas. Los distintos resultados finalmente muestran que son los cambios en los precios de la tierra, la fuerza dominante en la determinación del nivel de rentabilidad y del uso del suelo.

6.2 Consecuencias Socioeconómicas y Ecológicas

Con la adopción de los pastos mejorados, la carga animal media se incrementó de 0.09 a 0.28 unidades animales por ha entre 1979 y 1995. Se estima que la producción media de carne al año por ha es de 16 kgs con el 2% en pastos mejorados (1979), y alrededor de 50 kgs de carne con el 20% del área con pasturas mejoradas (1995)(cuadro 1). Con la adopción de esta tecnología, se estima que el tamaño del hato potencial se incrementa en 80% con una carga media de 1.0 U.A./ha en las sabanas bien drenadas de los Llanos Colombianos. Otra de las consecuencias relacionadas con el incremento de la productividad lograda con la introducción de pastos, es que el precio de la tierra mejorado puede ser 2.5 a 5 veces mayor que en sabanas nativas.

Pero con los impactos positivos antes reportados, se registran efectos indeseados para la conservación de los recursos naturales, especialmente en la degradación de pasturas y bosques de galería.

El 64% de los productores reportan degradación de sus pasturas establecidas y de las sabanas nativas. La presión sobre las sabanas nativas es menor en aquellas áreas con un mayor porcentaje del suelo en pasturas mejoradas. Los datos muestran que en las regiones cercanas a Puerto López con el 50% de proporción de adopción, el 37% de los productores reportan degradación de sabanas nativas. Por el contrario, en las regiones alejadas donde la adopción de pastos es mucho menor, el 83% de los productores informan sobre la degradación de las sabanas. Para el caso de los bosques de galería, la degradación reportada (pérdida de especies nativas y disminución del área en bosques), es mucho mayor en las regiones cercanas a Puerto López. En estas áreas, el 89% de los productores reportan degradación de los bosques de galería comparado con el 52% registrado en regiones más alejadas.

La degradación de las pasturas por la pérdida de cobertura y de los bosques de galería, tiene efectos negativos sobre el suelo al tener una mayor exposición facilitando la erosión, la compactación, la pérdida del nivel de fertilidad, además de cambios desfavorables en las condiciones físicas y químicas del suelo. Estos cambios, afectan adversamente tanto las fuentes de aguas y los caudales de los ríos como también, la biodiversidad de los ecosistemas naturales de la región.

6.3 Identificación de Demandas, Oportunidades, Tecnologías y Definición de Políticas

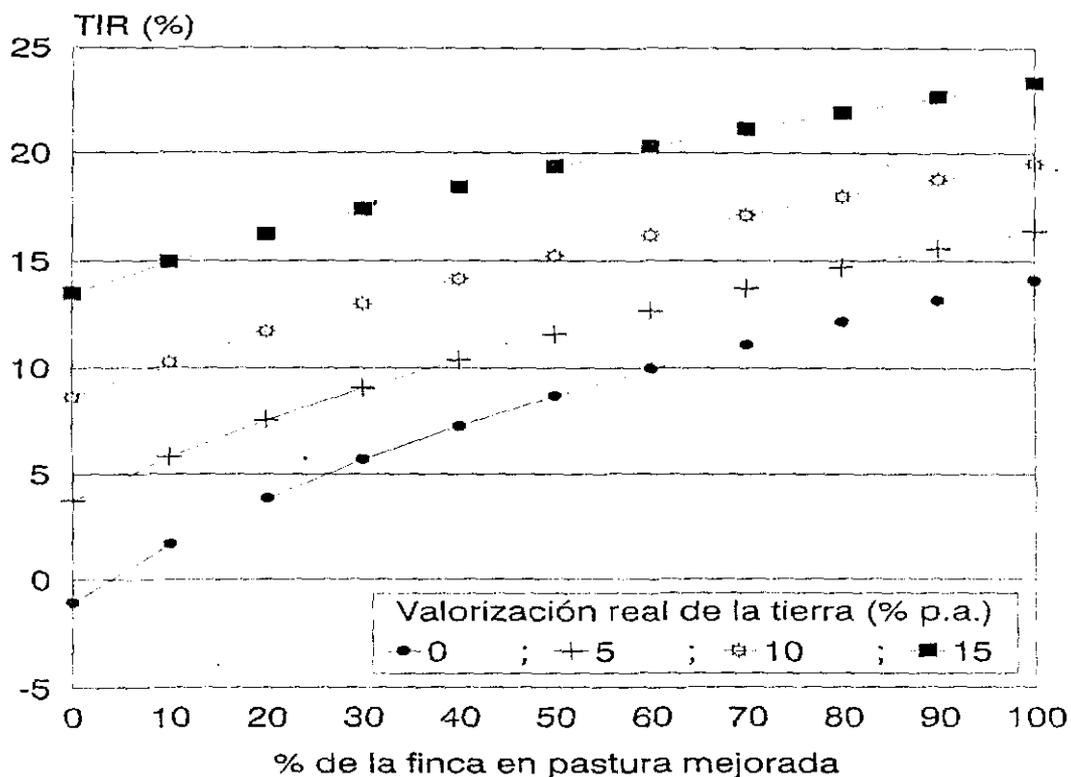
El análisis del proyecto de investigación en marcha, implica que en las regiones de frontera donde el precio de la tierra es muy bajo, las tecnologías que aumentan la productividad de la tierra tienen poca probabilidad de ser adoptadas. Esta ha sido la situación de los Llanos colombianos en la década del setenta cuando la totalidad del área tenía solamente sabanas nativas. Cuando la infraestructura mejora, el precio de la tierra se incrementa muy rápidamente. Esta es la situación actual en Colombia. Durante esta fase, la adopción de tecnología ocurre, pero a un menor ritmo. Esto se produce porque la inversión se puede recuperar con el aumento del precio de la tierra. En una tercera fase, el precio de la tierra se estabiliza a un nivel alto. La adopción de tecnología se acelera durante esta fase, pues solo con la tecnología se logra recuperar las inversiones en la tierra. En esta tercera fase se tiene la mayor probabilidad de adopción de tecnologías como las leguminosas asociadas y los sistemas agropastoriles. En la segunda fase, que se da actualmente en Colombia, las tecnologías más apropiadas serían aquellas que logran la recuperación de las gramíneas degradadas y que permiten disminuir la presión de uso y la degradación de las mismas.

Con los resultados de esta investigación se está generando retroalimentación para el proyecto de investigación sobre prototipos de sistemas sostenibles de producción, y además ayuda a identificar dónde se produce el más inmediato impacto y su cuantificación.

Cuadro 1. Adopción de pasturas mejoradas en los Llanos colombianos: 1979-1995.

Características	1979	1995
Pasturas mejoradas (% del área)	2	20
Carga Animal (U.A./ha)	0.09	0.28
Producción anual media de carne (kg/ha)	16	50
Tamaño de hato potencial (000 cabezas) en las sabanas bien drenadas.	959	1,726

Figura 1. Tasa Interna de Retorno (TIR) de pasturas mejoradas:
 Valores de un modelo de simulación de un sistema de
 producción ganadera, 1995.



Tamaño finca: 1500 ha; Horizonte: 15 años.
 Precios en área de infraestructura moderada y suelos planos
 Fuente: Lascano, 1995. Carimagua, Suelos bien drenados; B.dec, P. phaseol.

1. Título: TL01 - Prototipos de sistemas sostenibles de cultivos para los Llanos.

2. Coordinador del proyecto: Jose Ignacio Sanz

3. Justificación

Los Llanos Orientales de Colombia han sido tradicionalmente dedicados al pastoreo extensivo. Sin embargo, esta situación ha venido cambiando en los últimos años, con la introducción de cultivos y sistemas más modernos de producción animal.

Estudios de sensoramiento remoto y su comprobación en tierra muestran un aumento de la degradación ambiental, en aspectos tales como la erosión de los suelos y pérdida de especies nativas. Esta degradación es el resultado de un uso más intensivo de los recursos, así como también de la adopción de formas inapropiadas de preparación y manejo de suelos.

4. Objetivo del proyecto

El objetivo de este proyecto es el de generar tecnologías que permitan un aumento duradero en la eficiencia de uso de los recursos y que controlen la degradación del suelo y del agua. Se busca reconciliar la producción agropecuaria más intensiva con la conservación y mejoramiento de los recursos naturales para la diversidad de condiciones que se encuentran a lo largo de los Llanos Orientales de Colombia.

5. Enumeración de los productos del proyecto

5.1 Efectos sobre los parámetros de suelo cuando se realizan experimentos a largo plazo de prácticas de sistemas prototipo: agropastoriles, rotacionales y monocultivos.

5.2 Efecto de prácticas de manejo de la vegetación nativa: estudios ecológicos, manejo de sabana nativa, dinámica de la vegetación.

5.3 Estudios a nivel de cuenca en el Departamento del Meta.

6. Resumen de los resultados en el año 1995 por producto

6.1 Sistemas Prototipo

En los últimos siete años de experimentos a largo plazo hemos evaluado varios sistemas contrastantes de producción prototipo en los Llanos Orientales. Los beneficios de sistemas integrados cultivos-pasturas han sido documentados así

como también lo han sido los resultados negativos de la producción de un monocultivo continuo o de sistemas integrados manejados en forma deficiente, principalmente en aspectos de producción del cultivo y balances nutricionales. En este momento, se justifica hacer un corte a través de estos manejos diferentes del suelo y observar el efecto que ellos han producido sobre el uso actual de la tierra así como en las propiedades físicas y biológicas (micro y macro) del suelo.

El Cuadro 1 resume la relación entre las diferentes variables para estos experimentos a largo plazo. Las diferentes variables reflejan el efecto de los diferentes usos de la tierra. En la pastura de gramínea-leguminosa renovada la materia seca (MS) en oferta es baja debido a un pobre restablecimiento del pasto después de la renovación; no se adicionó semilla extra del pasto. A pesar de esto, y teniendo una cantidad de materia seca en oferta igual que la sabana nativa, los datos para capacidad de carga, contenido de proteína y ganancias de peso animal por día son mucho mayores, siendo los dos últimos aún mayores que en el pasto solo renovado.

Los parámetros del suelo reflejan estas condiciones tanto para las pasturas como para la pérdida continua de rendimiento en el arroz monocultivo a largo plazo (3.7 t ha⁻¹ en 1989 y 1.7 t ha⁻¹ en 1994). Los suelos antiguos y naturalmente compactados de la sabana nativa y la pastura no renovada de *Brachiaria dictyoneura* pastoreada intensivamente presentan una alta resistencia a la penetración y densidades aparentes más altas mientras que las pasturas y el arroz que han sido preparados más recientemente o más frecuentemente presentan valores más bajos. Sin embargo, cuando la labranza es tan frecuente como se necesita en el caso de la producción de arroz como monocultivo continuo, los agregados grandes del suelo (>4 mm) se reducen considerablemente y los pequeños (<1 mm) se aumentan también considerablemente. Los agregados grandes están cementados principalmente por sesquióxidos y la labranza continua prácticamente destruye la agregación en estos Oxisoles.

Cuadro 1. Relación entre diferentes variables en experimentos a largo plazo con pasturas de *Brachiaria dictyoneura*, sabana nativa, y monocultivo continuo de arroz. Matazul, Llanos Orientales, Colombia. 1989-1995

Variable	Sabana	<i>B. dictyoneura</i>			Mono-cultivo continuo de arroz
		Sin renovar ^{1/}	Pasto renovado ^{2/}	Pasto-leguminosa renovado ^{2/}	
Pastura en oferta (MS kg/ha)	1300	2118 a*	2615 a	1300 b	-
Crecimiento (MS kg/ha/día)	-	14.40 b	27.60 a	21.00 a	-
Capacidad de carga (UA/ha)	0.35	1.50 a	2.17 a	1.79 a	-
% proteína en oferta	3.70	3.70	5.00	8.10	-
Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	35.00	63.40	62.40	65.30	-
Ganancias de peso (g/an/d)	74	71 c	302 b	552 a	-
Penetrabilidad (0-17.5 cm)	16.30	18.70	12.00	12.00	11.9
Tamaño de agregados del suelo (0-2.5 cm) (%)					
>4 mm	37.5	24.8	-	32.1	13.6
1-4 mm	27.8	31.6	-	29.6	29.8
<1 mm	34.7	43.6	-	38.3	56.6
Densidad aparente (0-12.5 cm) (g/cm ³)	1.41	1.35	-	1.33	1.29
Biomasa de lombrices de tierra (0-30 cm) (g/m ²)	3.41	3.93	4.61	6.03	1.46
Biomasa de termitas (0-30 cm) (g/m ²)	2.35	7.14	3.26	2.17	1.88
N Microbial (µg/g)	53.1	-	-	62.2	34.3
P Microbial (µg/g)	9.6	-	-	12.8	9.6

* Letras iguales en la misma línea no difieren significativamente ($P \leq 0.05$)

1/ Establecido con arroz en 1989

2/ Establecido con arroz en 1989 y renovado con arroz en 1993

En el monocultivo continuo de arroz, los suelos son menos agregados y por lo tanto menos porosos (poros grandes y medianos), tienen una menor retención de agua y una aireación más baja. La biomasa de lombrices y termitas (macrofauna) se reduce, así como también el N y el P de origen microbial, en comparación con la pastura de gramínea-leguminosa renovada con arroz, la cual es hasta ahora el mejor sistema propuesto para el manejo a largo plazo de los suelos ácidos de la sabana.

El monocultivo continuo de arroz se está presentando como deletéreo para el ambiente, tal como se puede apreciar en los datos presentados, los cuales están siempre por debajo de los valores obtenidos en los suelos altamente meteorizados de la sabana nativa.

También estamos llevando a cabo estudios ecológicos de poblaciones de malezas dentro de los sistemas prototipo de producción. Sistemas diversos de producción tienen una necesidad diversa de nutrientes. El efecto de los niveles de nutrientes del suelo sobre la composición de especies de la flora de malezas muestra una fuerte asociación con niveles altos o bajos de un nutriente. Aparecen especies en general a frecuencias bajas, indicando un rango estrecho de adaptación, y por lo tanto como potencial a ser usadas como indicadores de fertilidad si su comportamiento es consistente a través de experimentos y estaciones.

De acuerdo con nuestro Análisis Canónico Discriminante (CDA) algunas especies de malezas ya han aparecido asociadas con los mismos nutrientes (y niveles) en más de un experimento, como es el caso de *Hyptis* sp (bajo P), *Juncus dichotomifolius* (alto P, Fe, Mg), *Croton trinitatis* (alto Mg y Ca), y *Colocasia esculenta* (bajo Ca). En el largo plazo, además de establecer asociaciones entre malezas y variables de manejo de cultivos, así como con niveles de nutrientes, el reto futuro es el de tratar de entender las bases ecofisiológicas para tales asociaciones, y así poder extrapolar conclusiones más allá del ambiente de trabajo.

6.2 Estudios Ecológicos y de Manejo de la Sabana Nativa y de Dinámica de la Vegetación

6.2.1 Estudios fitosociológicos

Entre un 80% a 90% de los Llanos Orientales de Colombia está constituido por amplias formaciones de pastos naturales. Estas amplias extensiones de sabanas presentan un potencial enorme para la producción extensiva de ganado y albergan gran diversidad de especies nativas cuyas características son poco conocidas. Desafortunadamente, estas pasturas naturales tienen baja productividad y calidad, debido a la baja fertilidad de los suelos con deficiencia de fósforo y alta acidez.

En relación a la importancia de la ganadería para la región, se hace esencial conocer las características de las sabanas con el fin de optimizar su utilización. Con este propósito, llevamos a cabo estudios cualitativos de la vegetación en la región, tanto en la zona de Altillanura como en la Serranía.

Resultados iniciales fueron reportados en informes del Programa del Trópico Bajo del CIAT en 1992-93 y 1994. En 1995 hemos llevado a cabo un nuevo estudio en la región entre Puerto López y Puerto Gaitán, tanto en Altillanura como en Serranía, con el fin de caracterizar los principales grupos de vegetación para mapeo futuro.

Hemos realizado un Análisis Factorial de Correspondencia, con 104 reconocimientos florísticos elaborados durante la investigación de 29 sitios. Esto nos permitió caracterizar ocho grupos de vegetación (o comunidades). Para explicar estos grupos, hicimos reconocimientos y encuestas sobre las condiciones de utilización (frecuencia del fuego, número de animales por hectárea...).

Ahora tenemos que considerar hacer un estudio cuantitativo con el fin de clasificar el potencial de las pasturas de la sabana.

6.2.2 Diversidad de la vegetación

Durante este estudio, colectamos 190 especies de 114 géneros y 41 familias (algo más que en estudios anteriores). Estos estudios ecológicos en la Altillanura y en la Serranía de Colombia han mostrado una alta diversidad de la vegetación, especialmente para las gramíneas (géneros *Panicum*, *Paspalum* y *Axonopus*).

La humedad y la textura del suelo son los factores más importantes afectando la diversidad botánica.

Un estudio estadístico con los datos de vegetación que obtuvimos en Carimagua ha mostrado que la "Estadística Q" (Kempton y Wedderburn, 1978) puede discriminar mejor la diversidad de vegetación que otros índices.

6.2.3 Dinámica de la vegetación

Estudios experimentales con ganado han mostrado un cambio rápido en la composición botánica de la sabana nativa, aún con bajas cargas animales. Se presenta un incremento general y marcado de *Axonopus purpusii*, *Andropogon leucostachyus* y *Trachypogon vestitus*, tres pastos importantes, y una disminución de *A. bicornis*, *Leptocoryphium lanatum*, *Paspalum pectinatum* y *A. selloanus*.

La quema frecuente de la vegetación también ha mostrado una disminución lenta pero constante de la fitomasa, probablemente como una consecuencia de los

cambios botánicos (Cuadro 2).

6.3 Estudios a Nivel de Cuenca

Para el área de estudio del Meta se dispone de gran cantidad de información digitalizada, incluyendo suelos y topografía. Se han analizado algunas imágenes históricas de LANDSAT TM en forma no supervisada. Estas brindan algunos conocimientos interesantes en cuanto a la extensión del bosque de galería y el acceso al agua.

El obstáculo que hay que superar ahora es el de producir una imagen actualizada y verificada en tierra desde la cual se pueda volver en el tiempo. En Febrero de 1995 se llevó a cabo una misión grande de verificación en campo. Usando el Sistema Wilde 200 GPS, se colocaron 35 puntos muy precisos de fotocontrol para georeferenciar imágenes TM y aerofotografías. En el proceso se obtuvo una cobertura muy buena de verificación en tierra actualizada. Siete funcionarios de CIAT pasaron dos semanas en el campo.

Algunos meses antes habíamos pedido una imagen TM actualizada. Sucede que CLIRSON, la Estación Receptora en Cotopaxi (Ecuador), no puede procesar imágenes debido a fallas de equipo. También es muy difícil obtener imágenes EOASAT en los Estados Unidos. El satélite LANDSAT actual está en sus últimos momentos.

Todavía se espera rescatar algunos datos del ejercicio de verificación en tierra, pero la única imagen disponible tiene algo de cobertura de nubes. Queda por ver si ésta va a interferir mucho con el análisis.

A pesar de lo anterior se tiene una base de datos georeferenciada que permite superponer los antiguos estudios de clasificación de tierras de Cochrane et al. con información actualizada de pendientes, estudios de clasificación de suelos, análisis químico-físicos de suelos, topografía, vías de comunicación y red hídrica.

Cuadro 2. Dinámica de la producción de la sabana nativa quemada cada año. Biomasa anual y un mes de rebrote después del fuego

Semanas de descanso	8			4			2			0		
	Baja	Med	Alta									
<i>Andropogon bicornis</i>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<i>Paspalum contractum</i>			+	-		-			+		-	-
<i>Elyonurus candidus</i>	+	-	-							+	-	-
<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	+++	+++		+++	++	---	++	---	---	+++	---	---
<i>Leptocoryphium lanatum</i>	-	--	---	-	---	--	---	---	---		---	---
<i>Andropogon leucostachyus</i>	+++		+++	+	+++	-	---	+++	++	---	++	++
<i>Mesosetum loliiforme</i>	+++	--	+++	+++		+++			+++	+	-	+++
<i>Panicum parviflorum</i>	+++	--		+++	---	+			+++	+	--	+++
<i>Panicum versicolor</i>	--	---		--	--		--	--		--	--	
<i>Paspalum pectinatum</i>	---	---	+++	---	---	---	+++	---	---	---	---	
<i>Axonopus purpusii</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Panicum rudgei</i>	++		+++		++		+++	++	-		-	-
<i>Andropogon selloanus</i>	---	---		---	---	--	--	--	---	---	---	---
<i>Trachypogon vestitus</i>	+++	+++		-	+++	+++	+++	-		+++	+++	
<i>Trachypogon plumosus</i>	-	-			+			+		-	++	+

+++ Incremento alto

++ Incremento medio

+ Incremento bajo

--- Disminución alta

-- Disminución media

- Disminución baja

1. Título: TL02 - Comprensión de los mecanismos y modelos de los procesos químicos, físicos y biológicos del suelo en sistemas de producción agropastoril y de cultivos

2. Coordinador del proyecto: R. J. Thomas

3. Justificación

Las sabanas que se encuentran en uso agrícola en América Latina están experimentando grados variables de degradación que resultan en erosión y compactación del suelo, pérdida de materia orgánica (M.O.) y agotamiento de nutrimentos. Los Oxisoles y Ultisoles, principalmente, son frágiles en su potencial de degradación rápida cuando se manejan en forma inadecuada. Por tanto, es necesario desarrollar opciones de producción más sostenibles que conserven o mejoren este recurso natural y reduzcan al mínimo los efectos nocivos causados al medio ambiente.

4. Objetivo del proyecto

Mejorar la calidad del suelo y reducir el impacto ambiental de las actividades agrícolas en las sabanas de suelos ácidos mediante una comprensión de los mecanismos claves que intervienen en los procesos químicos, físicos y biológicos del suelo.

El objetivo principal del Proyecto es mejorar la eficiencia de la producción, la cual se optimiza con el uso eficiente de mínimos insumos; a la vez que se busca reducir al mínimo los efectos nocivos sobre el medio ambiente.

Para asegurar la máxima eficiencia es necesario conocer dónde están las ineficiencias, es decir, en cuáles procesos. La investigación en el Proyecto deja de lado el enfoque de la revolución verde, por medio de la cual se corrigen las deficiencias del suelo mediante el uso excesivo de insumos y, por el contrario, utiliza los enfoques de germoplasma adaptado, uso eficiente de insumos externos y producidos en la finca, y maximización del reciclado de nutrimentos.

5. Productos del proyecto

- i) Identificación de los procesos químicos, físicos y biológicos limitantes en el suelo y desarrollo de indicadores de la calidad del mismo.
- ii) Modelos integrados de sistemas suelo-planta, mejoramiento del reciclado de nutrimentos, prevención, y recuperación de suelos degradados.

6. Resumen de los resultados en 1995

6.1 Logros Principales

Se han obtenido avances significativos en la identificación de los procesos claves del suelo que intervienen en los sistemas de producción agropastoril y de cultivos, mediante una combinación de experimentos de campo a largo plazo y experimentos satélite complementarios en los Llanos Orientales de Colombia. Entre los problemas comunes en los principales sitios experimentales en Colombia se encuentran la infestación de malezas en áreas de cultivos en secuencia; la falta de persistencia de las leguminosas forrajeras; especialmente de *Stylosanthes* sp. en pasturas de gramíneas y leguminosas; la compactación del suelo en sitios donde se ha utilizado maquinaria; la perturbación de los macroagregados causada por las prácticas de cultivo y la reducción en la macroporosidad en suelos cultivados en comparación con las sabanas o las pasturas.

Los estudios sobre reciclado de nutrientes han demostrado el uso ineficiente de los fertilizantes y de los abonos verdes los cuales, cuando se soportan con los resultados de investigaciones previas que muestran la pobre recuperación de nutrientes a partir de la hojarasca y los excrementos de los animales, indican que existen numerosos puntos donde la investigación puede resultar en el mejoramiento de los sistemas.

Cada vez es más evidente el importante papel que desempeñan la flora y la fauna del suelo, en particular las lombrices de tierra, tanto desde el punto de vista del mejoramiento de la estructura del suelo como del reciclado de nutrientes, especialmente durante una fase de pastura mejorada de gramínea-leguminosa.

Cuando se incluye una fase de gramínea-leguminosa se incluye en la rotación, el potencial de acumulación de carbono (C) de las gramíneas de raíz profunda resulta en incrementos en la actividad biológica y la biomasa de la fauna del suelo, en infección por micorrizas vesículo-arbuscular (MVA), en el mejoramiento de la fertilidad, de la calidad de la M.O., y de algunas propiedades físicas del suelo. Algunos modelos sencillos han indicado el contenido básico de la leguminosa en la pastura que asegura un balance positivo en el ciclo del nitrógeno (N). La descomposición de la hojarasca en el suelo se aproxima a la que pronostica el modelo CENTURY. También se han logrado avances metodológicos en la definición del papel del fósforo orgánico en el ciclo del P, incluyendo la identificación de aspectos del submodelo P de CENTURY que necesitan un mayor desarrollo en el futuro.

6.2 Estudios en los Llanos Orientales de Colombia

El papel de las pasturas mejoradas en la dinámica de la materia orgánica del suelo

Utilizando una combinación de técnicas de fraccionamiento del tamaño de las partículas del suelo y cromatografía de gases, se encontraron cambios significativos de las fracciones de la M.O. del suelo principalmente en aquella que se relaciona con fracciones del tamaño de la arena (20-2000 μm). En las pasturas mejoradas se encontró que la cantidad de C en las fracciones del tamaño de la arena era dos veces mayor que en la sabana nativa. Resultados similares se obtuvieron en los sistemas de cultivo arroz-pasturas y en arroz, en estudios separados realizados a nivel de finca.

La evidencia derivada de la presencia de productos de la degradación como el hidrato de carbono y la lignina indican, aún más, que las pasturas aumentan en la M.O. del suelo las cantidades de material recientemente derivado de la planta, principalmente al enriquecer la fracción de arena en comparación con las fracciones de arcilla y limo. Las relaciones entre los hidratos de carbono derivados de la planta (arabinosa y xilosa) y los derivados de la actividad microbiana (galactosa y manosa, ramnosa y fructosa) indican que los primeros predominaron en las fracciones del tamaño de la arena, mientras que la mayor proporción de los segundos se relacionaron con las fracciones de arcilla y limo (datos no publicados). Se considera que la M.O. asociada con las fracciones del tamaño de la arena es equivalente a la fracción liviana de la M.O. Esta última por lo general no está asociada con los minerales del suelo y es más susceptible a la mineralización que la M.O. del suelo unida a la arcilla o al limo. Esto explicaría la mayor tasa de mineralización de N en la pastura mejorada gramínea-leguminosa, presentada anteriormente. En las pasturas mejoradas el mayor enriquecimiento de los hidratos de carbono derivados de la planta en comparación con la sabana nativa, puede ser un indicativo del mejoramiento de la calidad del suelo y complementa estudios anteriores que mostraron que la mayor concentración de hidratos de carbono en el suelo está asociada con el mejoramiento de la estabilidad de los agregados húmedos (Gijssman y Thomas, 1995a; TLP Ann. Rep., 1994). El trabajo también sugiere que el análisis del tamaño de la arena o de la fracción liviana de la M.O. puede ser un mejor indicativo de los cambios en la calidad del suelo, que el contenido total de M.O.

Estudios previos revelaron un aumento marcado en las poblaciones y en la actividad de las lombrices de tierra en pasturas mejoradas vs. sabana nativa (Decaens et al., 1994; TLP Ann. Rep., 1994). Los trabajos colaborativos con la Universidad de Bayreuth confirmaron el efecto notable que pueden ejercer las

lombrices en la M.O. del suelo. En los desechos de éstas se encontraron aumentos en los contenidos de agregados estables en agua y mayores concentraciones de C, en comparación con el volumen de suelo. Este efecto fue más pronunciado para las fracciones del tamaño de la arena que equivalen a la materia macro-orgánica o a la fracción liviana, tal como se afirmó anteriormente (Guggenberger et al., 1995b). El C en las fracciones del tamaño de la arena fue el elemento que predominó en los residuos ligeramente descompuestos de la planta.

La mayor actividad de las lombrices en una pastura asociada gramínea-leguminosa también puede explicar algunas diferencias en la estabilidad de los agregados (Gijsman y Thomas, 1995a) entre las pasturas de gramíneas solas y las asociadas, y en las tasas de infiltración del agua (Gijsman y Thomas, 1995b).

6.3 Acumulación de Carbono

En el suelo, bajo la condiciones de la sabana nativa de Carimagua, se encontró una relación C:N de 22.5, la cual es muy superior a la encontrada en muchos suelos (de 10 a 12) y que es comúnmente aceptada. Después de 9 años de la introducción de las pasturas, cinco de ellas con una leguminosa, esta relación se había ampliado considerablemente a 33.2. Se sabe que en las gramíneas introducidas la descomposición de las partes aérea y de las raíces es muy alta y fluctúa entre 75 y 224, lo que indica que la M.O. en el suelo derivada de esta descomposición puede ser estable y permanecer durante largo tiempo, con implicaciones importantes para el almacenamiento a largo plazo de C en los suelos con estas pasturas.

6.4 Física de Suelos

Para evaluar la degradación e identificar los indicadores de la calidad del suelo utilizando parámetros físicos, en los Llanos Orientales de Colombia se establecieron varios experimentos a nivel de finca y en estación experimental. Para el efecto, se aprovecharon los ensayos sobre sistemas cultivo-pastura existentes en las fincas Matazul y La Primavera, y que aparecen registrados en TPO1. Además, se tomaron muestras en la estación experimental La Libertad de CORPOICA y en San Carlos de Guaroa para establecer los factores físicos del suelo que son limitantes para la producción de arroz de secano.

El trabajo en Carimagua incluye un estudio de la distribución del C a través de la profundidad en el suelo y en diferentes clases de tamaños de los agregados; aún se tiene pendiente la financiación de un proyecto presentado a Global Environment Facility.

Observaciones generales. Los detalles del diseño y los tratamientos de este experimento se encuentran en el Informe Anual de 1994 del Programa de Forrajes Tropicales. En 1995, en el experimento a largo plazo en sistemas de cultivo CULTICORE (Un experimento a largo plazo en sistemas de cultivo) de Carimagua, se sembró por tercer año el experimento con aplicación de una cantidad baja de cal en los sistemas basados en arroz y, por segundo año el experimento con aplicación de altos insumos de cal en los sistemas basados en maíz. En este año, los problemas agronómicos anteriormente encontrados en los estudios de los sistemas prototipo en la finca Matazul y en Carimagua, volvieron a manifestarse en forma más evidente en el CULTICORE. Entre estos problemas sobresalieron las infestaciones con malezas que redujeron significativamente el rendimiento de la semilla de arroz en los sistemas con bajo uso de insumos, inclusive en las rotaciones con caupí y abono verde que habían sido menos afectadas en 1994. Durante 1995, las malezas no fueron un problema grave en los sistemas con maíz, ya que se controlaron con aplicaciones de herbicidas preemergentes, además, se alcanzó una población más uniforme y la densidad de plantas proyectada, cerca de 53.000 ha⁻¹, siendo el rendimiento aproximado de 4.5 t ha⁻¹ de granos de maíz. Los cultivos de soya o abono verde de la estación anterior no influyeron en los rendimientos del maíz en 1995.

Por otra parte, los resultados deficientes en el control químico de las malezas en el tratamiento de maíz sin labranza, obligaron a la revaluación de este tratamiento y se decidió, entonces, sembrar en 1995 *Arachis pintoii* como cobertura en el cultivo de maíz con el objeto de establecer directamente el maíz entre la leguminosa en los años siguientes. Aunque en este tratamiento la emergencia y el crecimiento inicial de *Arachis* fueron buenos, ocurrió un desarrollo denso de las malezas cuando el cultivo maduró, disminuyendo el rendimiento de granos de maíz y retardando el establecimiento de la cobertura de *Arachis*. Queda aún por evaluar si las prácticas efectuadas durante el segundo semestre de 1995 y en la estación seca posterior, serán efectivas para controlar las malezas y permitir el desarrollo de la cobertura de *Arachis*. Sin embargo, estas observaciones y experiencias demuestran la necesidad de desarrollar medios más efectivos para el control de malezas, así como la necesidad de identificar y desarrollar coberturas con un establecimiento más rápido para los sistemas que involucran la labranza reducida.

La pastura asociada de *Brachiaria humidicola*-*Centrosema acutifolium*/*Stylosanthes capitata*/*Arachis pintoii*, establecida en 1993 en cultivos de arroz del experimento CULTICORE, tenía al inicio de la época de 1994-1995 una población alta de *Stylosanthes* y una capacidad de carga animal de 4 animales ha⁻¹, aproximadamente. Inicialmente, el 100% del *Stylosanthes* originalmente cultivado se perdió durante la época seca y la pastura inició la época lluviosa actual con un contenido bajo de *Arachis* y *Centrosema*. Afortunadamente, el contenido de

leguminosas —especialmente de *Centrosema*— ha aumentado a lo largo de esta última época y se están haciendo esfuerzos para favorecer un mayor contenido *Arachis* mediante una mayor tasa de carga animal.

La pastura de *P. maximum* cv. Centenario/*A. pintoi*/*Glycine wightii*, sembrada en forma tardía en 1994 en cultivos de maíz, no se estableció satisfactoriamente. En consecuencia, en 1995 se araron nuevamente las parcelas y se resembraron con *P. maximum* y *Arachis* en cultivos de arroz. La fertilidad residual de la estación anterior, conjuntamente con los fertilizantes aplicados al arroz, en esta estación contribuyeron a un establecimiento vigoroso de la pastura de *Panicum*, la cual virtualmente dominó el cultivo de arroz, a tal punto que no habían granos para cosecha. *Arachis*, aunque estaba presente, presentó un establecimiento deficiente debido a la sombra del *Panicum*. Por lo tanto, los potreros se cercaron de inmediato, al final de septiembre, y se sometieron a una carga animal alta para reducir la biomasa y facilitar el desarrollo de *Arachis*.

6.5 Dinámica y balance del N de los fertilizantes

Se calcularon los balances de N en los fertilizantes utilizando urea ^{15}N -marcada en microparcels establecidas en los tratamientos de arroz y maíz en monocultivo del CULTICORE, y en los sistemas de arroz en monocultivo y agropastoriles con arroz iniciados en 1994 en un campo de la finca Matazul anteriormente sembrado con soya. En todos los sistemas de este último sitio se registraron pérdidas muy altas de N. El promedio de recuperación de N del fertilizante en la biomasa aérea fue apenas del 10%, mientras que en el perfil del suelo hasta 80 cm de profundidad se recuperó un 7% adicional. El N de la urea se puede perder por lixiviación, volatilización como amoníaco o denitrificación como óxidos nitrosos. En el CULTICORE, las mediciones periódicas durante 1995 de las concentraciones de N mineral en el perfil de los suelos en monocultivo de arroz y de maíz, mostraron el movimiento rápido de una banda de N inorgánico (principalmente en forma de nitrato) a una profundidad entre 40 y 60 cm, después de 8 semanas de la primera aplicación fraccionada de urea.

6.6 Efecto de las Lombrices en la Dinámica del Fósforo en los Sistemas Pastoriles

En dos sistemas pastoriles de la sabana tropical de suelos ácidos, se estudió el efecto de las lombrices de tierra sobre el tamaño de los compuestos de P en el suelo. Los desechos que produjo la lombriz *Martiodrilis* sp. en el laboratorio y en el campo con Oxisoles de sabana nativa y pasturas fertilizadas de *B. decumbens*-P, *phaseoloides*, se incubaron en condiciones de humedad o ambientales de campo

durante períodos de 1 a 64 días, respectivamente; luego se fraccionaron utilizando el procedimiento modificado de Hedley. También se determinó el P microbiano. Se encontró que las lombrices aumentaron significativamente los contenidos de P inorgánico inestable (Pi), P orgánico (Po) y P microbiano (Pm). Los efectos fueron generalmente mayores para el Pi que para el Po, y en la pastura en comparación con el suelo de la sabana nativa, siendo más transitorios en las fracciones más inestables de H_2O y $NaHCO_3$. La actividad del Pm aumentó rápidamente en los desechos en el suelo de la pastura y fue muy lenta en los desechos del suelo de la sabana. Además, los efectos fueron mayores en los desechos producidos en el campo que en los del laboratorio debido, posiblemente, a la incorporación y al metabolismo de la hojarasca presente en condiciones de campo. Conjuntamente con una actividad de la fauna mucho mayor en los sistemas de pasturas mejoradas, los datos muestran que las lombrices pueden influir sustancialmente el ciclo biogeoquímico del P y en la disponibilidad de este elemento en los Oxisoles de baja fertilidad.

V. IMPACTO POTENCIAL Y MONITOREO DE LOS PROYECTOS EL CONVENIO

El CIAT es consciente que debe garantizar al país, que los fondos que invierte en éste Convenio tienen una retribución económica, social y ambiental. Dada ésta premisa, el Centro ha comenzado un importante esfuerzo en la ejecución de estudios que documenten el impacto ex-ante (socio-económico y ambiental) de los proyectos en marcha y estudios complementarios de seguimiento a la adopción de las nuevas tecnologías de producción que se liberen. El objetivo de los estudios ex-ante es documentar y verificar que los proyectos en ejecución tienen un alto impacto potencial y el de los de seguimiento a la adopción es identificar, en fases tempranas, los limitantes técnicos económicos y sociales que condicionan la adopción de las nuevas tecnologías. Si se identifican y priorizan en fases tempranas de la adopción los factores que la limitan, es posible diseñar estrategias que permitan eliminar tales restricciones bien mediante ajustes técnicos si los limitantes son de ese orden, o bien a través de sugerencias para formulación de políticas si los limitantes son de naturaleza socioeconómica.

A más largo plazo, es necesario elaborar estudios de adopción y de impacto ex-post, una vez concluidos los procesos de difusión y adopción, para documentar el impacto real logrado.

Impacto Ex-ante de los Proyectos Cofinanciados por Colombia ¹

Entre los estudios de evaluación que ha efectuado la Unidad de Estudios de Impacto del CIAT se encuentra el de evaluación del impacto ex-ante de los proyectos que adelantan los Programas que intervienen con proyectos del Convenio Colombia-CIAT y a nivel de América Latina Tropical en conjunto. En ese estudio se estima que el valor presente neto de los beneficios sociales esperados, para el período 1994/2029, de los proyectos que adelanta el CIAT para los agroecosistemas de Sabanas, Márgenes de Bosque y Laderas de América Latina Tropical, se aproxima a US\$4 billones y que la tasa interna social de retorno en conjunto es de 55% anual (Rivas y Pachico, 1994).

Aunque no se efectuado un estudio de impacto ex-ante por país, sino para América Latina Tropical en conjunto, es posible elaborar estimativos de los beneficios por país, asumiendo que estos se distribuyen de acuerdo a la participación de cada país en la producción total de carne y de leche. Colombia participa con un 9% en la producción de carne y con un 13% en la producción de

¹ Para mayor información metodológica véase Rivas y Pachico (1994) y Rivas et al., (1992).

leche de América Latina Tropical. (FAO, 1995). Un promedio ponderado de la participación de los dos productos se sitúa alrededor del 11 %.

Por otra parte, es necesario establecer diferentes dimensiones para la evaluación de los proyectos: 1) Eficiencia económica, que se relaciona con conceptos como productividad, competitividad, incrementos en la producción, consumo, comercio e impacto directo o indirecto sobre la actividad económica general (crecimiento económico). 2) Equidad, relacionada con la distribución de los beneficios sociales del cambio tecnológico, especialmente en lo que tiene relación con los beneficios que reciben los grupos sociales mas pobres, y 3) Impacto ambiental, asociado con la evaluación de los efectos positivos o negativos de las nuevas tecnologías agropecuarias, sobre la base de recursos naturales y el medio ambiente.

Eficiencia Económica. En el Cuadro 1 se presentan los estimativos del beneficio social potencial estimado para los proyectos del CIAT para América Latina Tropical en conjunto y para Colombia en particular.

Los proyectos cofinanciados por el Convenio: *Brachiarias* mejoradas resistentes a salivazo y con mayor productividad, Sistemas de pasturas basados en *arachis*, Sistemas de pasturas basados en *stylosanthes*, Sistemas integrados de pastos-cultivos, presentan los mayores niveles de beneficio potencial y la relación beneficio/costo de la inversión hecha por Colombia, en todos los casos, es superior a la relación 1:100.

Es importante anotar que esta evaluación solo incluye los proyectos que pueden evaluarse en términos de producción de bienes finales que se comercializan en un mercado, en este caso carne y leche. Existen dentro del Convenio proyectos que generan productos intermedios, dentro del proceso de investigación, los cuales sirven de apoyo o complementan a otros proyectos. Tal es el caso del proyecto de Mejoramiento de la base de recursos genéticos de forrajes, el cual no solo supe las las necesidades de proyectos actualmente en ejecución, sino las de otros proyectos en el futuro. El proyecto sobre Componentes de Sistemas de Producción permite, a nivel de finca, ensamblar y ensayar materiales forrajeros, identificados y evaluados por otros proyectos del Convenio, para elaborar los ajustes técnicos necesarios, antes de la liberación de los nuevos materiales. Esto permite liberar tecnologías mas ajustadas a las condiciones reales de la finca y en consecuencia se incrementa la probabilidad de su adopción por los productores.

Los proyectos cofinanciados por el Convenio Colombia-CIAT están entre los de mayor impacto potencial, lo cual garantiza una alta rentabilidad social para los fondos invertidos por el país.

Cuadro 1.

1) Eficiencia Económica.

Beneficios Sociales Esperados de la Investigación en pasturas para América Latina Tropical y para Colombia								
Valor Presente Neto Beneficios Esperados *								
Tipo de Pastura		América Latina Tropical	Colombia 1/	Valor presente Inversión de Colombia 1994/1998	Relación Beneficio/costo para Colombia	Proporción del Proyecto financiada por Colombia 1995	Año estimado de liberación a productores	Período estimado de difusión años
		US\$ \$ millones de 1994						
Pasturas de Brachiarias Mejorada	**	1014	112	0.5	224.3	23.4	2000	25-27
Pasturas Basadas en Arachis	**	1228	135	0.4	318.5	29.7	2001	25-30
Pasturas Basadas en Stylosanthes	**	313	34	0.3	113.8	25.6	2002	25-30
Pasturas Basadas en Centrosema & Desmodium		247	27				2002	25-30
Sistemas de Pasturas y Cultivos	**	1023	113	0.3	366.8	34.2	2000	25-27
Sistemas Basados en Mezclas de Leguminosas		11	1				2002	25
Sistemas Mixtos : Cultivos + Leguminosas Arbustivas y no Arbustivas + Gramíneas		211	23				2002	25
Total		4047	445.2	7.6	2/ 58.2			

* Valor presente de los beneficios netos calculado para el período 1994/2029. Tasa de descuento: 10%

** Proyecto cofinanciado por el Programa COLOMBIA-CIAT

1/ Estimado Distribuyendo los beneficios totales de América Latina, entre países, según su participación en la producción total regional. Colombia participa con el 11% en la producción total de carne y leche.

2/ Valor presente de la inversión total de Colombia en CIAT

Equidad. Los consumidores al producirse un cambio tecnológico reciben beneficios, excedentes al consumidor, como consecuencia de la reducción de los precios reales al consumidor e incrementos del consumo. Al distribuir los excedentes al consumidor, según la participación de los diferentes estratos de ingreso en el consumo, se encuentra que el 40% de los consumidores, los dos quintiles de población de menor ingreso, como consecuencia del cambio tecnológico en producción de carne y leche, reciben cerca de 23% de los beneficios totales, como resultado de la adopción de las nuevas tecnologías de producción. Para Colombia se estima que el valor presente esperado se aproxima a US\$100 millones (Cuadro 2).

Se calcula que en Colombia los productores de menor tamaño, reciben un beneficio neto cuyo valor presente neto se estima en US\$ 21 millones. En conjunto los grupos sociales de menor ingreso de Colombia recibirían, como consecuencia del cambio tecnológico en producción de carne y leche, aproximadamente US\$122 millones, equivalentes a casi a un tercio del total de beneficios potenciales que recibiría el país (Cuadro 2.)

Sostenibilidad. La idea central del programa de investigación Colombia-CIAT es la desarrollar nuevas alternativas tecnológicas, basadas en la implementación de sistemas de producción sostenibles en términos económicos, sociales y ambientales. Específicamente se quiere desarrollar componentes forrajeros que contribuyan a mejorar las condiciones físico-químicas y biológicas de los suelos y a contrarrestar procesos de degradación mediante la selección de gramíneas y leguminosas de múltiple uso (alimentación de animales y conservación de los suelos), que sean atractivas económicamente para los productores.

Además ésta tecnología estaría dirigida a diversificar los sistemas actuales de producción, mediante incrementos de la capacidad de carga de las pasturas y reducción del tiempo de los rastrojos muy frecuentes en los sistemas agropecuarios de laderas y márgenes de bosque. Esto a su vez podría contribuir a la reforestación de áreas muy pendientes en zonas de laderas y a desestimular la deforestación de los bosques húmedos.

En las sábanas el uso continuo de cultivos anuales puede llevar a procesos rápidos de degradación de los suelos, tal como se ha documentado en algunas zonas del Cerrado brasilero. Existe evidencia experimental en los Llanos de Colombia que pasturas de gramíneas en asociación con leguminosas contribuyen a mejorar las condiciones biológicas y químicas de los suelos. Además ya hay resultados que muestran que pasturas de gramíneas mejoradas solas y en asociación con leguminosas, tienen la capacidad de acumular carbono en el suelo. De demostrarse que este es un hecho generalizado, tendría enormes implicaciones

Cuadro 2

2) Equidad : Distribución Social de los Beneficios del Cambio Técnico

Grupos Sociales	Distribución de los Beneficios del Cambio Tecnológico entre los grupos sociales de menor ingreso. 1/		
	América Latina Tropical	Colombia	Porcentaje del total de beneficios
	US\$ millones		%
Excedentes que Reciben los Consumidores más Pobres (el 40% más Pobre) 2/	916	101	22.5
Excedentes que Reciben los Productores más Pobres 3/	191	21	4.7
Total Beneficios Grupos Sociales más Pobres	1107	122	27.2

1/ En este ejercicio se asume que del total de beneficios sociales derivados del cambio tecnológico en pasturas, solo el 50% es atribuible directamente al trabajo de investigación del CIAT.

2/ Se refiere a los dos quintiles de consumidores de carne y de leche de menores ingresos

3/ Se refiere a los productores de menor tamaño.

positivas de tipo ambiental. La integración de pastos con cultivos podría contribuir no solamente a la conservación de los recursos naturales , sino a tener en esas regiones sistemas de producción mas rentables y competitivos.

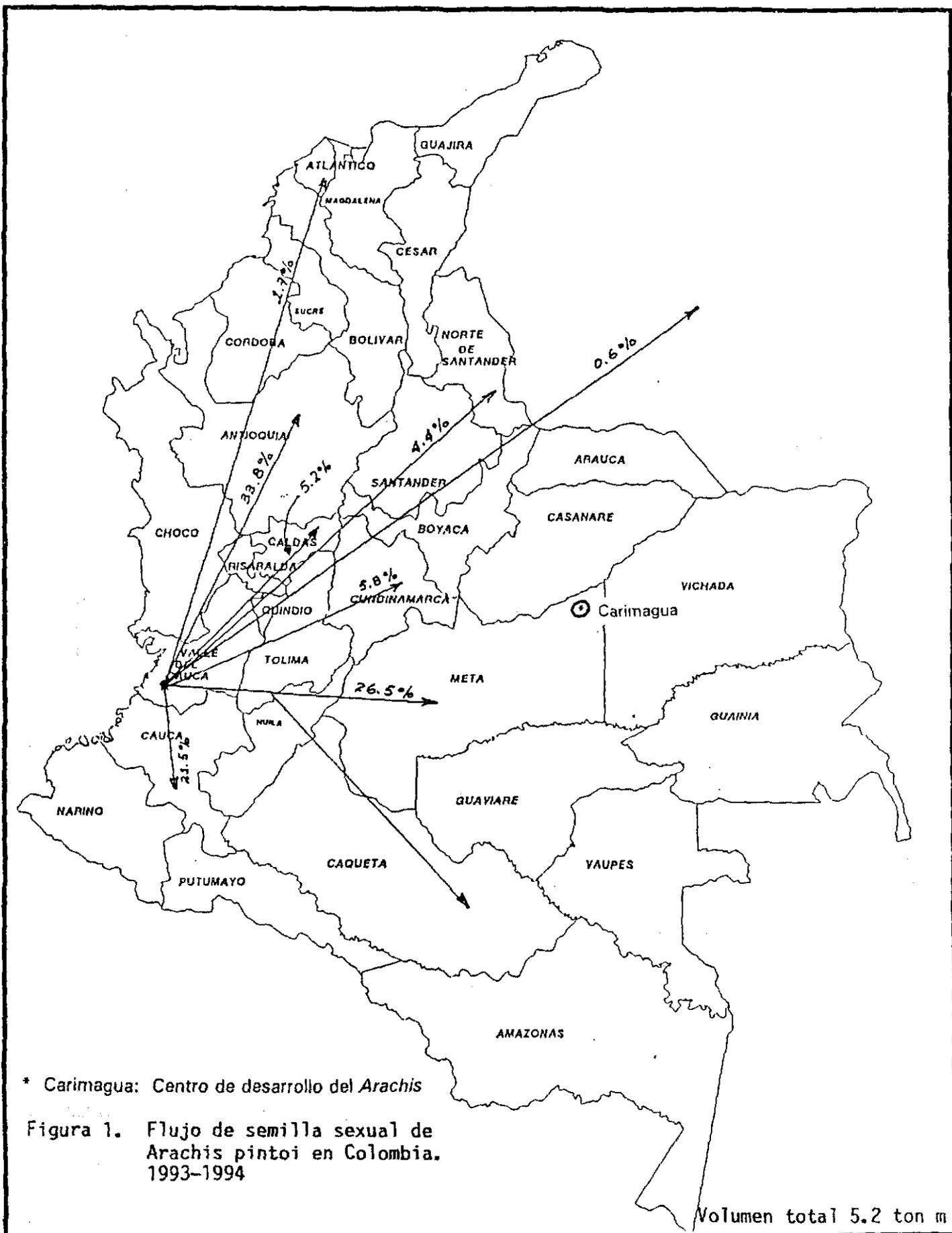
Uno de los retos de la investigación en este campo es el poder identificar y cuantificar indicadores de sostenibilidad tanto a nivel micro (la parcela, la finca) y a nivel macro (la cuenca, la región, el país).

Estudios de adopción y de monitoreo de las nuevas tecnologías

No solamente es necesario elaborar estimativos ex-ante del potencial socioeconómico de los diferentes proyectos de investigación de componentes forrajeros, con participación de productores, sino que se requiere que a medida que se liberan los materiales, se efectúe un cuidadoso monitoreo de su desempeño a nivel de finca. Este enfoque participativo, junto con el monitoreo son fundamentales para identificar los limitantes para la adopción y de ésta forma retroalimentar los sistemas de investigación y de transferencia de tecnologías.

Monitoreo de la Adopción de *A. pintoi* en Colombia. La Unidad de estudios de Impacto del CIAT comenzó en 1995 un estudio de monitoreo del proceso de adopción de la leguminosa *Arachis pintoi*, maní forrajero perenne, la cual fue liberada en Colombia en Noviembre de 1992. El proceso de adopción de esta leguminosa se encuentra en su fase inicial o de adopción temprana, en la cual los productores conocen y prueban el material para posteriormente tomar una decisión sobre su adopción definitiva.

En colaboración con varias instituciones nacionales que están impulsando el uso de arachis como pastura y como cobertura (Federación Nacional de Cafeteros, Fondo Ganadero de Antioquia, Cooperativa de Productores y Ganaderos de Risaralda y Servisemillas) , se efectuó un sondeo a nivel nacional para conocer el estado actual de aceptabilidad por los productores y los limitantes para su difusión. La Figura 1 muestra como el *Arachis pintoi*, desarrollada en el Centro Nacional de Investigación de Carimagua se está diseminando a través de todo el país. El Cuadro 3, resume los resultados de una encuesta telefónica efectuada a 50 productores del país para conocer sus experiencias con el nuevo material. La encuesta revela que: a) Los productores están ensayando el nuevo material para diferentes usos: Asociado con gramíneas y como cobertura del suelo. b) Casi el 70% de quienes han ensayado se encuentra satisfecho con los resultados obtenidos. c) Los principales problemas de la siembra y el establecimiento de *Arachis* son: Control de malezas, baja tolerancia a sequía y a la falta de agua y lento establecimiento. d) Casi el 70% de quienes han ensayado planea ampliar las siembras. El hecho de existir problemas de poca tolerancia a la sequía y falta de



Cuadro 3. Adopción temprana de *Arachis pinto* en Colombia.
Resumen encuesta telefónica a productores, 1995

Descripción	No.de productores	Porcentaje del total
Tamaño de la muestra	50	
Regiones del país: Zona Cafetera, Costa Norte, Llanos Orientales, Zona Oriental, Zona Sur, Valle del Cauca, Otras		
Fuentes de información de los productores sobre <i>Arachis</i>:		
- Boletines técnicos	8	16.0
- Comité de Cafeteros	8	16.0
- CIAT	7	14.0
Principales razones para ensayar con <i>Arachis</i>:		
- Buscar pasturas más productivas	21	42.0
- Alternativa para cobertura	14	28.0
Utilización de <i>Arachis</i>: (# de lotes)		
- Semillero	34	35.8
- Asociación	37	38.9
- Cobertura	24	25.3
Han tenido problemas en siembra y establecimiento de <i>Arachis</i>	14	28.0
Frecuencia de los problemas en la siembra y el establecimiento:		
- Control de malezas	9	34.7
- Problemas de resistencia a sequía y de falta de agua	5	19.3
- Lento establecimiento	4	15.5
Grado de satisfacción con la experiencia:		
- Están satisfechos hasta el momento	34	69.4
- No están satisfechos	10	20.4
- No totalmente o aún no saben	5	10.2
- Planean ampliar áreas sembradas	34	69.4
Tamaño promedio de los lotes: (ha)		Rango de Variación (ha)
- Semillero	1.1	0.01-20.0
- Cobertura	1.8	0.02-42.2
- Asociación	4.8	0.04-30.0
Consumo de <i>Arachis</i> por los animales:		
- Lo consumen bien	23	46.9
- No lo consumen o lo consumen poco	4	8.2
- Aún no lo han pastoreado	22	44.9

agua, justifica los esfuerzos del Centro para continuar evaluando otros ecotipos de *Arachis* con mayor rango de adaptación.

Sistemas de pasturas basados en leguminosas en márgenes de bosques del Caquetá. En el Piedemonte andino de la cuenca amazónica del Caquetá, existe aproximadamente 1 millón de has. totalmente deforestadas, en gran parte dedicadas a la producción vacuna de doble propósito. Dentro de las actividades del CIAT existe un proyecto colaborativo e interinstitucional con Nestlé de Colombia, Corpoica-Macagual y la Universidad de la Amazonia, enfocado a demostrar la factibilidad técnica y económica de intensificar la producción en los sistemas del área de referencia.

El proyecto que tiene una duración de 4 años, busca validar y ajustar componentes de tecnologías de pasturas para: a) Ofrecer nuevas opciones forrajeras a los productores, b) Diseñar métodos alternativos para el establecimiento de asociaciones de gramíneas y leguminosas c) Promover el establecimiento de pasturas asociadas de gramíneas - leguminosas, mediante la asistencia directa a 20-30 fincas, d) Cuantificar el impacto de las asociaciones sobre la productividad animal y sobre la calidad de los suelos y e) Capacitación de profesionales nacionales en agronomía de forrajes y en métodos participativos de evaluación en finca.

Aparte del trabajo técnico de desarrollar nuevas opciones de germoplasma forrajero y estrategias de recuperación de pasturas degradadas, se tienen previstas actividades de evaluación del impacto ex-ante de las nuevas tecnologías, así como el monitoreo del proceso de adopción pasturas con base en leguminosas en esa región.

Proyectos del Programa de Arroz (PA) del CIAT. En el Cuadro 4 se incluyen algunos estimativos de la rentabilidad social para América Latina y para Colombia, de la investigación del Programa de Arroz (PA). El convenio Colombia-CIAT cofinancia los siguientes proyectos: Mejoramiento de germoplasma para arroz de secano, Resistencia durable a añublo, Mejoramiento del control de malezas, Manejo integrado de plagas y Mejoramiento para arroz de riego.

Las relaciones beneficio/costo de los anteriores proyectos, para los fondos aplicados por Colombia, están en el rango 1:23 - 1:100, las cuales pueden considerarse como altamente atractivas.

El PA del CIAT para el monitoreo y seguimiento de las nuevas tecnologías de arroz trabaja, en Colombia, en estrecha cooperación con la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ), para lo cual se ha implementado un sistema de

Cuadro 4.

**Valor presente esperado de los beneficios de la Investigación en Arroz
para América Latina y para Colombia**

Proyecto	Valor Presente de los Beneficios 1994/2028		Valor presente de la Inversión de Colombia:1994/1998	Relación Beneficio/Costo para Colombia
	América Latina 1/	Colombia 2/ US\$ millones		
Mejoramiento Arroz de Riego	352	39	0.54	72.8
Mejoramiento Control de Malezas	192	21	0.21	100.3
Resistencia Durable a añublo	315	35	0.44	78.7
Virus de Hoja Blanca	114	13		
Mejoramiento Arroz de Sécano	161	18	0.77	23.2
Manejo Integrado de Plagas	50	6	0.19	32.2
Total	1184	132	2.15	61.3

1/ Fuente: Pachico D. (1993). CIAT's Action Plan, Supplement E: A preliminary Assessment of the Expected Impact of Project Outputs, Internal Document, November.

2/ Estimado asumiendo que los beneficios se distribuyen según la participación de cada país en el volumen de producción total de América Latina. Colombia participa con un 11.5% en la producción latinoamericana de arroz.

Encuestas Semestrales, el cual permite conocer la situación del cultivo en diferentes sistemas y regiones del país. El objetivo de la encuesta semestral es conocer la evolución del cultivo en el tiempo, en términos de sistemas de producción, áreas cultivadas, variedades, costos de producción. Se considera que esta información es esencial para el diseño políticas tecnológicas y económicas, apropiadas y oportunas, que promuevan el adelanto de la industria arrocera nacional.

Componente Capacitación

Durante el período 1994/95 recibieron adiestramiento y capacitación 79 profesionales nacionales, vinculados a diferentes instituciones públicas y privadas del país. De ese total 25 profesionales (32%) fueron adiestrados en programas que tienen proyectos cofinanciados por Colombia (Cuadro 5).

Es preciso resaltar la importancia de ésta capacitación dado que ella permitirá fortalecer la capacidad para que el país en el futuro pueda planear y desarrollar programas similares al del Convenio Colombia-CIAT en otras regiones del país.

Cuadro 5. Capacitación de profesionales colombianos en programas del CIAT, con proyectos cofinanciados por Colombia: 1994/95

Programa	No. de Profesionales Capacitados	Porcentaje del Total
Forrajes Tropicales	13	16.5
Arroz	9	11.4
Trópico Bajo	1	1.3
Agricultura Sostenible *	2	2.5
Total de profesionales capacitados en programas con proyectos cofinanciados por Colombia	25	31.7
Total de profesionales colombianos capacitados	79	100.0

* Curso especial.

Fuente: CIAT, Programa de Relaciones Institucionales, Sistema de Información de Profesionales Capacitados.