

Nuevos Sistemas de Producción Agropecuaria y Servicios Ambientales:

*Una Evaluación Económica
en la Altillanura Colombiana*

Libardo Rivas, Federico Holmann y James García



**Nuevos Sistemas de Producción Agropecuaria
y Servicios Ambientales:
Una evaluación económica en la Altiplanura Colombiana**

*Libardo Rivas R.
Federico Holmann
James A. García C.*

Junio 2005

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
International Livestock Research Institute (ILRI)
Cali, Colombia

Junio 2006

Rivas Ríos, Libardo

Nuevos sistemas de producción agropecuaria y servicios ambientales: Una evaluación económica en la altillanura colombiana / Libardo Rivas.; Federico Holmann, James A. García C. -- Cali, CO : Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); International Livestock Research Institute (ILRI), 2006.

63 p. – (Documento de trabajo No. 204)

Descriptores AGROVOC:

1. Sistemas de explotación. 2. Sistemas agropascícolas 3. Pastizal sembrado. 4. Pastizal mixto 5. Ganadería. 6. Crianza extensiva. 7. Producción de carne. 8. Producción lechera. 9. Cultivos. 10. Rotación de cultivos. 11. Agroforestería. 12. Adopción de innovaciones. 13. Sabanas. 14. Modelos de simulación. 15. Colombia.

Descriptores Locales

1. Sistemas doble propósito. 2. Impacto económico. 3. Llanos Orientales.

Categoría de Materia AGRIS: Producción y Protección Animal

AGROVOC Descriptors:

1. Farming systems. 2. Agropastoral systems. 3. Sown pastures. 4. Mixed pastures. 5. Animal husbandry. 6. Extensive husbandry. 7. Meat production. 8. Milk production. 9. Crops. 10. Rotational cropping. 11. Agroforestry. 12. Innovation adoption. 13. Savannas. 14. Simulation models. 15. Colombia.

Local Descriptors

1. Dual purpose system. 2. Economic impact. 3. Eastern Plains

AGRIS Subject Categories: Animal Production and Protection.

I. Holmann, Federico José. II. García C., James A. III. Tit. IV. Centro Internacional de Agricultura Tropical. V. International Livestock Research Institute. VI. Ser.

Clasificación LC.: SF 196.C6 R5

Derechos de autor CIAT 2006. Todos los derechos reservados

Contenido

	Página
Resumen	1
Introducción	4
Objetivos	5
Metodología	6
Modelo teórico: El enfoque de programación lineal	6
Modelo empírico	7
Actividades productivas	9
Escenarios de evaluación	13
Información utilizada	14
Resultados	21
Sistemas de cría de Ganado	21
Cría extensiva	21
En rotación de pasturas-cultivos y prácticas de mejoramiento del suelo	22
En rotación de pasturas-cultivos, prácticas de mejoramiento del suelo y actividades forestales	25
Políticas de incentivos forestales	28
Sistemas doble propósito	30
Doble propósito extensivo	30
Doble propósito con rotaciones pasturas-cultivos y prácticas de mejoramiento del suelo	31
Doble propósito con rotaciones pasturas-cultivos, prácticas de mejoramiento del suelo y reforestación	33
Políticas de incentivos forestales	35
Impacto de los cambios tecnológicos en condiciones de baja disponibilidad de capital de operación	36
Viabilidad del cambio tecnológico	40
Posibles implicaciones del Tratado de Libre Comercio (TLC)	43
Conclusiones	53
Agradecimientos	57
Referencias	59

Nuevos Sistemas de Producción Agropecuaria y Servicios Ambientales: Una evaluación económica en la Altillanura Colombiana

L. Rivas, F. Holmann y J. García*

Resumen

Dentro de un contexto general, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia propone el megaproyecto El Renacimiento de la Orinoquía Alta de Colombia con el objetivo principal de generar servicios ambientales asociados con la fijación o ‘secuestro’ de carbono (C) para mitigar los efectos del calentamiento progresivo del planeta tierra. En este megaproyecto se considera la siembra a gran escala de especies vegetales fijadoras de C en la parte aérea (follaje) y en las raíces, como un producto comercial en los mercados internacionales. En la propuesta se considera el establecimiento de especies arbóreas en 6.3 millones de hectáreas, en un período de 20 años. Se espera que al finalizar este proceso los asentamientos humanos en la región lleguen a 5 millones de personas y el número de empleos generados a 1.5 millones.

El costo total del componente agrícola del Proyecto se estima en US\$15 mil millones, aparte de las inversiones requeridas en infraestructura física y social y en servicios públicos. Esta iniciativa se enmarca dentro de la política nacional de desarrollo forestal productivo, que considera los Certificados de Incentivo Forestal (CIF) entre los principales instrumentos de estímulo para el sector. Con esta política se pretende dinamizar el empleo y la oferta nacional de productos forestales, al tiempo que se generan beneficios ambientales relacionados con el control de la erosión, la conservación de las fuentes de agua, la fijación de C, la reducción de tala y la presión sobre los bosques naturales. Dentro del marco global antes mencionado, en el presente estudio se evalúan con un enfoque económico, social y ambiental nuevos modelos de explotación en finca que incluyen diversos componentes ganaderos, agrícolas y forestales para la producción de alimentos y materias primas, y adicionalmente, productos ambientales como el secuestro de C.

El propósito de esta evaluación *ex ante* es generar información relevante como una forma de apoyo para la toma de decisiones de inversión en los sectores público y privado, que permita implementar un esquema de desarrollo sostenible y competitivo de la región, con un alto impacto económico, social y ambiental. Se utilizan las técnicas basadas en programación lineal para hacer frente al problema económico básico de la asignación eficiente de recursos escasos, entre múltiples usos alternativos. El modelo teórico se plantea de la forma siguiente: Maximizar $Z = CX$, sujeto a: $AX \leq b$; $X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0$; siendo Z la función objetivo, que en el presente caso se define como el beneficio neto total resultante de la implementación de diversas opciones productivas a escala de finca.

El vector fila C corresponde a los coeficientes de utilidad neta por unidad de producto generado y el vector columna X incluye estos últimos. El modelo modificado utilizado en el estudio amplía el período de evaluación a 19 años y se limita al análisis de las alternativas ganaderas, agrícolas y forestales y de secuestro de carbono por diferentes coberturas

* Respectivamente: Economista, Proyecto de Evaluación de Impacto; Economista ganadero, Proyecto CIAT- ILRI; y Analista de Sistemas, Proyecto de Evaluación de Impacto. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

vegetales. En él se incluyen las variables siguientes: (1) alternativas de decisión —también se conocen como actividades— cuyo nivel está bajo control directo del productor y conforman el plan de producción de una finca en particular, entre ellas se encuentran las rotaciones de pasturas-cultivos, las ventas y compras de productos e insumos, la adquisición de crédito y el empleo del flujo de efectivo a través del tiempo y (2) internas (endógenas) y de restricciones, que incluyen todas aquellas variables resultantes del funcionamiento interno del modelo y las restricciones de orden económico, técnico y ambiental.

Entre las actividades productivas que son factibles de desarrollo en la región de la Orinoquia colombiana se consideran: (1) los distintos usos alternativos de los recursos de tierra y cómo su eficiente utilización puede generar beneficios sociales, económicos y ambientales; (2) los usos potenciales de la tierra en actividades de ganadería, cultivos y reforestación o bosques naturales; (3) las alternativas que generan productos comerciales como carne, leche, madera y servicios ambientales como el secuestro del carbono por coberturas de pasturas y bosques; (4) los beneficios derivados del uso de la tierra de naturaleza económica, social y ambiental que ocurren a escala de finca, región y país.

Para la evaluación en ganadería se consideran los sistemas: (1) doble propósito, que incluye la producción de carne y de leche en una misma explotación, enfatizando la producción de leche por el mejoramiento de la capacidad productiva de las vacas mediante la incorporación de genes de razas lecheras y el suministro de una dieta de mejor calidad al hato bovino. (2) cría de vacunos, es una fase primaria en la producción ganadera destinada a la producción de pie de cría para las fincas especializadas en engorde de vacunos.

El forraje en oferta para los vacunos proviene de las alternativas siguientes: (1) pasturas solas de sabana nativa, *Brachiaria* mejorada y la asociación *B. decumbens*-leguminosa, y (2) pasturas resultantes de las rotaciones con cultivos, entre las que se consideran la rotación-1 que se inicia con un período de 7 años de sabana nativa, seguido de un ciclo de 4 años de cultivos semestrales en rotación arroz-soya y maíz-soya, para terminar con una pastura asociada *B. decumbens* - *D. ovalifolium* que se mantiene en producción durante 8 años.

Las rotaciones-2 y -3 son similares y se inician y terminan con ciclos de cultivos de 6 años cada uno, incluyendo en la fase intermedia una pastura mejorada, que en el caso de la rotación-2 es *Brachiaria* mejorada y en la rotación-3, una pastura asociada *B. decumbens* -*D. ovalifolium*. Las pasturas solas son evaluadas durante un período total de 19 años, incluyendo renovaciones en los años 8 y 15. El componente forestal está representado por una plantación de pino caribe que produce madera y servicios ambientales en forma de secuestro de carbono. Con el propósito de mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo se siembra inicialmente una gramínea mejorada que permanece en producción durante 4 años, antes de establecer la plantación de pino.

Para el análisis se simula la incorporación progresiva de nuevos componentes tecnológicos a los sistemas ganaderos actuales, construyendo diversos escenarios secuenciales. Se parte de un modelo ganadero, que puede ser de cría o de doble propósito, basado en el uso extensivo de pasturas solas. En la fase siguiente, el modelo adiciona un componente de rotaciones de pasturas y cultivos en un proceso orientado al mejoramiento progresivo de los suelos, mediante la construcción de capas arables.

La incorporación de árboles y venta de servicios ambientales en la forma de secuestro de carbono representan la etapa siguiente en la senda de transformación de los sistemas productivos. Finalmente, para evaluar los impactos de la política económica sobre los sistemas de producción y sobre el uso de la tierra se construyen escenarios en los que los sistemas de producción, aparte de incluir los nuevos componentes tecnológicos, son apoyados por políticas de fomento como los Certificados de Incentivo Forestal (CIF) o por esquemas de

pago anticipado de los servicios ambientales. En el modelo se considera una finca de 500 hectáreas, que opera con los costos promedios regionales y que cuenta con un capital de operación que, alternativamente, puede variar en el rango US\$5000 y US\$300,000. Los resultados mostraron, entre otras posibilidades para la región, que: (1) La incorporación de nuevos componentes tecnológicos a los sistemas tradicionales de producción agropecuaria de la Altillanura resulta en un significativo crecimiento del ingreso neto de la finca, del empleo, la producción y la productividad. En las ganaderías tradicionales, como es de esperar, el uso de pasturas mejoradas está condicionado por la disponibilidad de capital financiero. La aparición de las rotaciones de pasturas-cultivos excluye a las sabanas nativas de la solución óptima y al mejorar el flujo de efectivo facilitan la expansión de las pasturas mejoradas en las fincas con menores recursos económicos. (2) La cría, comparada con los sistemas doble propósito, representa un nivel de desarrollo tecnológico inferior y por tanto al introducir en ella tecnologías mejoradas, el efecto económico es de una mayor magnitud relativa. (3) El establecimiento de plantaciones forestales para venta de madera y captura de carbono tiene mayores posibilidades de adopción en los sistemas de cría. El ejercicio de simulación mostró que los árboles entrarían en este sistema en todos los niveles de capital disponible, siendo una alternativa promisoría para la cría, generalmente relegada a zonas aisladas y alejadas de los mercados. Lo anterior podría concretarse en la medida que haya inversión estatal en infraestructura vial y de transporte y paralelamente un desarrollo de los servicios complementarios, especialmente los relacionados con el procesamiento, manejo y comercialización de los productos forestales. (4) El progreso técnico mejora significativamente el ingreso neto de las fincas, la función objetivo del modelo, pero especialmente de aquellas que tienen menor disponibilidad de capital, por ejemplo, la implementación de rotaciones pasturas-cultivos en los sistemas de cría incrementa en 1.8 veces el ingreso neto de las fincas con alta disponibilidad capital y 6 veces el de aquellas que afrontan mayores limitaciones financieras. (5) La intensificación de los sistemas productivos incrementa la capacidad de generación de empleo, lo que constituye un impacto relevante en el logro de las metas sociales de equidad y reducción de la pobreza. (6) Las políticas de fomento forestal del tipo CIF tienen un mayor impacto en las unidades de producción con mejor dotación de capital de operación, ya que les permite ampliar sus superficies forestales. Cuando estos capitales se sitúan por debajo de US\$25,000, el impacto es nulo. (7) Los precios del carbono en el mercado internacional en la actualidad son bajos y según algunos expertos permanecerán estancados hasta el 2012.

Los trabajos de investigación en finca y los estudios económicos de evaluación ex ante han demostrado la factibilidad de las nuevas opciones tecnológicas. Sin embargo, los procesos de adopción de nuevas tecnologías en la región aún no tienen la dinámica necesaria, que permita observar impactos significativos en producción, productividad, empleo y precios. La agricultura en la Altillanura resulta riesgosa ya que enfrenta numerosas restricciones de naturaleza técnica, económica y de infraestructura física y social, tal como lo documentan los sondeos rápidos efectuados por el CIAT en 2004 y 2005. Muchos productores entrevistados perciben la entrada en vigencia del TLC, como una amenaza que aumentará los riesgos de la producción agrícola regional. Sin embargo, éste acuerdo bilateral también ofrece grandes posibilidades para la producción de carne, leche y derivados, forestales y frutales, actividades muy ajustados a la dotación de recursos de la Altillanura. En un escenario donde los precios de los granos se reducen más del 10%, los ingresos netos aportados por los cultivos a las rotaciones resultarían negativos. A pesar de esto, la rotación 1 (savana nativa-cultivos-pasto mejorado) continuaría siendo rentable, debido a su fuerte componente ganadero.

La investigación en los cultivos actuales para mejorar sus rendimientos y la búsqueda de nuevas opciones de cultivos adaptados y de alta productividad para establecer rotaciones con los pastos, emergen como alternativas para enfrentar los riesgos económicos de precios y los retos del TLC. Se espera que en un entorno de crecimiento apoyado por políticas de inversión en infraestructura física y social, programas estatales de crédito y medidas

compensatorias a los sectores afectados negativamente por el tratado bilateral, la producción de granos siga siendo viable económicamente en la Altillanura nacional. Para materializar las ventajas de participar en un mercado amplio y de alto valor y para aprovechar al máximo la dotación de recursos naturales de la Altillanura, es necesario que el país le apueste a programas integrales de desarrollo que aparte de promover la aplicación a escala de finca de las nuevas alternativas tecnológicas, aplique políticas apropiadas para superar las restricciones que limitan el avance técnico.

Introducción

En Colombia la dinámica de crecimiento económico genera cada vez mayor presión para un uso racional y eficiente de los recursos de tierra. La Altillanura colombiana constituye una vasta reserva de tierras con fertilidad entre media y baja la cual, si se utiliza adecuadamente mediante el empleo de tecnologías apropiadas, puede contribuir de manera significativa al logro de metas sociales como generación de empleo, mejoramiento de la competitividad, reducción de la pobreza y a la conservación de los recursos naturales, la biodiversidad y el medio ambiente.

Para el logro de estos propósitos es necesario introducir tecnologías mejoradas de producción con un enfoque holístico, que involucren diferentes componentes agrícolas, ganaderos y forestales capaces de generar servicios ambientales y con capacidad para fortalecer los incentivos económicos de las nuevas opciones de producción agropecuaria.

La investigación científica específica para el desarrollo agrícola de la Orinoquía de Colombia, adelantada por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) dentro del Convenio MADR-CIAT, así como por otras entidades de los sectores público y privado, ha dado como resultado una ampliación de la oferta tecnológica basada en nuevo germoplasma forrajero y de cultivos, técnicas mejoradas de producción, manejo y mejoramiento de suelos, capacitación de personal técnico, herramientas de planificación y sistemas de información.

Dentro de un contexto general, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia propone el megaproyecto **El Renacimiento de la Orinoquia Alta de Colombia**, con el objetivo principal de generar servicios ambientales, asociados con la fijación o 'secuestro' de carbono (C) para mitigar los efectos del calentamiento progresivo del planeta tierra. En este megaproyecto se considera la siembra a gran escala de especies vegetales fijadoras de C en la parte aérea (follaje) y en las raíces, como un producto comercial en los mercados internacionales. En la propuesta se considera el establecimiento de especies

arbóreas en 6.3 millones de hectáreas, en un período de 20 años. Se espera que al finalizar este proceso los asentamientos humanos en la región lleguen a 5 millones de personas y el número de empleos generados a 1.5 millones. El costo total del componente agrícola del proyecto se estima en US\$15 mil millones aparte de las inversiones requeridas en infraestructura física y social y en servicios públicos (MADR, 2004). El gobierno colombiano financiará parte del Proyecto, especialmente el desarrollo de la infraestructura física y social y buscará el apoyo de la comunidad internacional para asegurar la financiación de la parte restante. Además de la siembra de especies forestales como pino, caucho y palma aceitera, se considera la generación de empleo y la producción de materias primas para mejorar la seguridad alimentaria de los habitantes de la región y del país.

Esta iniciativa se enmarca dentro de la política nacional de desarrollo forestal productivo, que considera los Certificados de Incentivo Forestal (CIF)¹ entre los principales instrumentos de estímulo para el sector. Con ella se pretende dinamizar el empleo y la oferta nacional de productos forestales, al tiempo que se generan beneficios ambientales relacionados con el control de la erosión, la conservación de las fuentes de agua, la captura de C, la reducción de tala y la presión sobre los bosques naturales.

Objetivos

Dentro del marco global antes mencionado, en el presente estudio se evalúan con un enfoque económico, social y ambiental nuevos modelos de explotación en finca que incluyen diversos componentes ganaderos, agrícolas y forestales para la producción de alimentos y materias primas, y adicionalmente, productos ambientales como el secuestro de C.

El propósito de esta evaluación ex ante es generar información relevante como una forma de apoyo para la toma de decisiones de inversión en los sectores público y privado, que permita implementar un esquema de desarrollo de la región sostenible y competitivo, con un alto impacto económico, social y ambiental.

¹ El CIF es un reconocimiento directo en dinero que hace el gobierno colombiano para cubrir parte de los gastos de establecimiento y mantenimiento en que incurran quienes adelantan nuevas plantaciones forestales comerciales y que sean establecidas en un terreno de aptitud forestal, con una o más especies arbóreas y con fines comerciales o de protección. Este incentivo varía entre 50% y 75% de los costos de establecimiento y mantenimiento de las plantaciones, dependiendo de la especie.

Metodología

Modelo teórico: El enfoque de programación lineal

Este modelo ha sido utilizado durante varios años en trabajos a diferentes escalas de análisis, demostrando que es una herramienta valiosa en los estudios de economía normativa bajo distintos contextos: la finca, la cuenca hidrográfica, la región y el país. Las técnicas basadas en programación lineal enfrentan como problema económico básico la asignación eficiente de recursos escasos, entre múltiples usos alternativos. De este hecho se deriva su amplia utilización en actividades de planificación, fijación de prioridades y formulación y diseño de políticas económicas.

Esta metodología conduce a determinar la mejor asignación posible (óptima) de los recursos económicos disponibles, bajo restricciones de diferente índole como escasez, calidad, capacidad productiva y otras limitantes externas a los sistemas de producción bajo análisis; que pueden ser de orden biológico, económico y social. La mejor asignación posible de los recursos conduce a la optimización de una función objetivo, que alternativamente puede ser la maximización de los beneficios económicos o la minimización de los costos involucrados en los procesos productivos. El modelo teórico de PL se plantea como:

$$\text{Maximizar: } Z = CX$$

sujeto a:

$$AX \leq b$$

$$X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0$$

siendo Z la función objetivo, que en el presente caso se define como el beneficio neto total resultante de la implementación de diversas opciones productivas a escala de finca. El vector fila C corresponde a los coeficientes de utilidad neta por unidad de producto generado y el vector columna X incluye estos últimos. Los coeficientes técnicos de las alternativas de producción evaluadas, están incluidos en A , una matriz de m filas por n columnas. El vector columna b contiene los niveles de las distintas restricciones, bajo las cuales se optimizará la función objetivo Z . Las condiciones de no-negatividad incluidas en el modelo, garantizan que las actividades y alternativas de decisión que entran en la solución óptima siempre tomen valores numéricos positivos.

En la región de la Altillanura colombiana es posible adelantar diversas actividades agropecuarias, siendo las principales la ganadería, los cultivos comerciales y la reforestación

que generan una gran variedad de productos alimenticios, materias primas y servicios ambientales. Estas actividades eventualmente pueden ser complementarias o competir por recursos como el capital, la mano de obra, y en menor medida, la tierra.

Se considera que el enfoque de programación lineal como modelo analítico resulta muy apropiado para la evaluación de la productividad de fincas prototipo en la Altillanura colombiana, región donde distintas restricciones económicas y ambientales representan serios escollos para la adopción de nuevas tecnologías y la modernización de la agricultura. La adecuada priorización de las actividades productivas y la correcta asignación de los recursos disponibles en la finca y en la región resultan críticos para la implementación en esa parte del país de sistemas agropecuarios mejorados, competitivos, sostenibles y socialmente rentables.

En términos generales se puede decir que la programación lineal se orienta hacia la asignación óptima de los recursos escasos, en situaciones en las que estos pueden ser empleados en diferentes procesos de producción alternativos. Este enfoque, además de indicar la distribución óptima de los factores de producción entre varios usos alternativos, permite construir escenarios de análisis de problemas y oportunidades de acuerdo con diferentes niveles de restricciones económicas, técnicas y biológicas y de los precios de los productos e insumos asociados con los procesos productivos.

Modelo empírico

El modelo empírico utilizado en el presente estudio fue adaptado de otro similar y más general desarrollado por el Proyecto Cuencas Andinas Condesan-CIAT con el apoyo del Proyecto de Evaluación de Impacto del CIAT (Quintero et al., 2005) el cual permite la evaluación económica de los efectos ambientales derivados del uso de la tierra en términos de generación y consumo de agua, contaminación por agroquímicos, erosión, efectos de estrés por heladas y sequías y captura de carbono en la parte aérea y la raíz por diferentes coberturas vegetales.

El modelo modificado amplía el período de evaluación a 19 años y se limita al análisis de las alternativas ganaderas, agrícolas y forestales y de secuestro de carbono por diferentes coberturas vegetales. En él se incluyen las variables (Cuadro 1) siguientes: (1) alternativas de decisión —también se conocen como actividades— cuyo nivel está bajo control directo del productor y conforman el plan de producción de una finca en particular, entre ellas se encuentran las rotaciones de pasturas-cultivos, las ventas y compras de productos e insumos, la adquisición de crédito y el empleo del flujo de efectivo a través del tiempo.

En ciertos casos, algunas de estas variables no son el resultado estricto de una decisión, aunque sí afectan las líneas de acción que es necesario implementar; y (2) internas (endógenas) y de restricciones, que incluyen todas aquellas variables resultantes del funcionamiento interno del modelo y las restricciones de orden económico, técnico y ambiental.

Cuadro 1. Alternativas de decisión y variables internas y restricciones del modelo empirico utilizado.

Alternativas de decisión (actividades)	Unidad de medida	Variables internas y restricciones	Unidad de medida
Cultivos en rotación (arroz, maíz, soya)	hectáreas (ha)	Flujos de efectivo	US\$
Pasturas (sabana, gramíneas mejoradas, asociaciones gramíneas-leguminosas)	ha	Tierra disponible (sabanas alta y baja)	ha
Árboles (bosque natural, plantación)	ha	Captura de CO ₂	t
Compra de vacas	cabezas	Disponibilidad de mano de obra	jornales
Venta de vacas (ganado)	cabezas	Extracción de madera	t
Venta de carne	t	Disponibilidad de energía metabolizable	Megacalorías
Venta de leche	t	Disponibilidad de proteína digestible	kg
Venta de madera	t	Inventario de ganado	cabezas
Venta de CO ₂	t	Producción de leche	t
Traspaso temporal de dinero efectivo	US\$	Producción de carne	t
Compra de jornales	jornales		
Venta jornales	jornales		
Crédito	US\$		

Inicialmente en este trabajo se planteó el análisis de diferentes tamaños de finca para estudiar los efectos de escala, pero al revisar la información de costos disponible se concluyó que se trata de valores promedios y que con base en ellos no es posible determinar con certeza los costos específicos para cada escala de finca en particular. La evaluación de los efectos tecnológicos a escala requiere la correcta identificación de los elementos de costo afectados por el tamaño de operación para, de esta forma, estimar posteriormente los costos de producción asociados con cada estrato de predio. Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, en todos los escenarios evaluados se trabajó con una finca tipo de 500 ha, que cuenta con 700 jornales/año y que opera con los promedios de los costos en la región.

Si bien los sistemas de producción en la Orinoquia colombiana tradicionalmente han sido extensivos, se espera que los nuevos esquemas de producción agropecuaria basados en tecnologías mejoradas generen un proceso gradual de intensificación, con reducción del tamaño de las explotaciones agrícolas y la concentración geográfica de la producción regional,

lo que es posible debido a la necesidad de reducir los costos de transporte y de hacer un uso más racional de la infraestructura física y de la maquinaria agrícola disponibles. Una estrategia con altas probabilidades de éxito debe apuntar hacia la reducción de los costos unitarios de producción y al mejoramiento de la competitividad de la agricultura de la Altillanura.

Como resultado de la abundancia relativa del factor tierra, principalmente sabana nativa de bajo costo y escasa productividad, se considera que los factores más críticos son el capital financiero y la mano de obra. A través del tiempo se ha demostrado que la disponibilidad de tierra no representa una dificultad mayor para la expansión agrícola en la región; mientras que el capital financiero, indispensable para efectuar las inversiones y satisfacer la demanda por insumos necesarios para elevar y conservar la capacidad productiva de la tierra, constituye el principal obstáculo para expandir, diversificar y tecnificar el agro.

La limitada oferta de mano de obra eventualmente puede frenar la expansión productiva en la Orinoquía. En esta región la densidad de población es significativamente menor que en el resto del país. A finales de la década de 1990 se estimaba en 8 habitantes/km², mientras que el promedio nacional era de 36 habitantes/km² (Rivas, 2004). Esta región constituye un amplio espacio geográfico relativamente deshabitado, en el cual un despegue rápido de las actividades productivas generaría una gran demanda de personal calificado y no calificado, lo que en el corto plazo podría constituir un cuello de botella pero también una oportunidad para aliviar la situación de desempleo existente en el país.

Actividades productivas

En la Figura 1 se resumen las actividades productivas que son factibles de desarrollo en la región de la Orinoquía colombiana y que fueron analizados a escala de finca en el presente estudio. Se destacan: (1) los distintos usos alternativos de los recursos de tierra y cómo su eficiente utilización puede generar beneficios sociales, económicos y ambientales; (2) los usos potenciales de la tierra en actividades de ganadería, cultivos y reforestación o bosques naturales; (3) las alternativas que generan productos comerciales como carne, leche, madera y servicios ambientales en forma de secuestro de carbono por coberturas de pasturas y bosques; (4) los beneficios derivados del uso de la tierra de naturaleza económica, social y ambiental que ocurren a escala de finca, región y país.

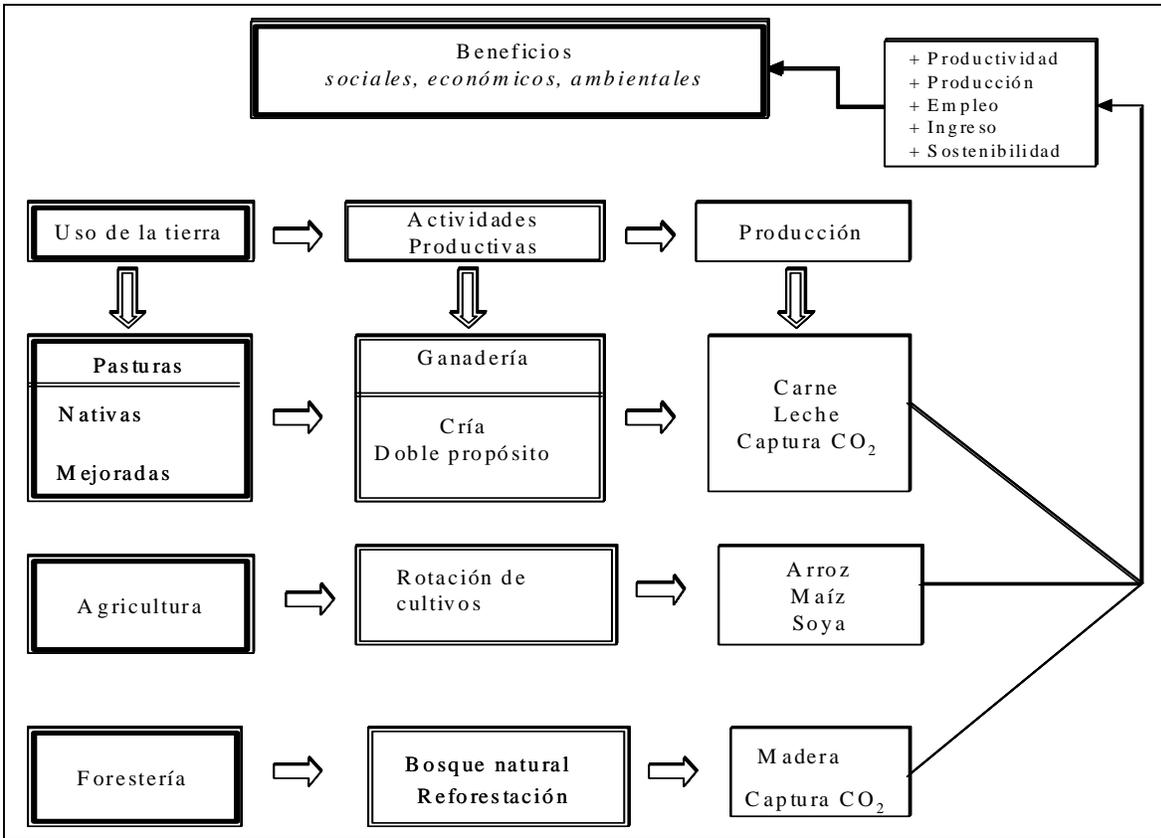


Figura 1. Usos potenciales de la tierra, actividades productivas y producción agropecuaria y de servicios ambientales en la Altillanura colombiana.

Para la evaluación en ganadería se consideran los sistemas: (1) doble propósito, que incluye la producción de carne y de leche en una misma explotación. En este sistema se enfatiza la producción de leche mediante el mejoramiento de la capacidad productiva de las vacas con la incorporación de genes de razas lecheras y el suministro de una dieta de mejor calidad. (2) cría de vacunos, es una fase primaria en la producción ganadera destinada a la producción de pie de cría (terneros) para las fincas especializadas en engorde de vacunos.

En ambos sistemas se considera el aprovechamiento de los tipos de pasturas siguientes: (1) sabana nativa, que provee un forraje de pobre calidad a un costo muy bajo; y (2) pastura de solo gramínea mejorada *Brachiaria brizantha* cv. Toledo o el híbrido de *Brachiaria* cv. Mulato y (3) pastura asociada de *B. decumbens* y *Desmodium ovalifolium*.

Los resultados de varios años de investigación en la Altillanura han demostrado que la rotación de cultivos y pasturas es la mejor alternativa para mantener la productividad en esta región caracterizada por suelos de baja fertilidad natural, por tanto, dentro del componente agrícola se incluyen los cultivos de arroz, maíz y soya en ciclos de rotaciones semestrales.

Según el modelo de programación lineal propuesto, en el primer semestre del año se siembra una gramínea y en el segundo una leguminosa (Cuadro 2). De esta forma, las rotaciones de cultivos serían maíz-soya, y arroz-soya. En las rotaciones de largo plazo, después de varios ciclos los cultivos se rotan con las pasturas y éstas, a su vez, nuevamente con los cultivos. Esto significa que es posible generar múltiples rotaciones donde las secuencias de pasturas y cultivos ocupan diferentes posiciones a lo largo del ciclo total de evaluación.

El forraje en oferta proviene de las alternativas siguientes: (1) pasturas solas de sabana nativa, *Brachiaria* mejorada y la asociación *B. decumbens*-leguminosa y (2) pasturas resultantes de las rotaciones con cultivos, entre las que se consideran la rotación-1 que se inicia con un período de 7 años de sabana nativa, seguido de un ciclo de 4 años de cultivos semestrales en rotación arroz-soya y maíz-soya, para terminar con una pastura asociada *B. decumbens*-*D. Ovalifolium* que se mantiene en producción durante 8 años (Cuadro 2). Las rotaciones-2 y -3 son similares y se inician y terminan con ciclos de cultivos de 6 años cada uno, incluyendo en la fase intermedia una pastura mejorada, que en el caso de la rotación-2 es *Brachiaria* mejorada y en la rotación-3, una pastura asociada *B. decumbens* - *D. ovalifolium*. Las pasturas solas son evaluadas durante un período total de 19 años, incluyendo renovaciones en los años 8 y 15 (Cuadro 2).

El componente forestal está representado por una plantación de pino caribe que produce madera y servicios ambientales en forma de fijación o secuestro de carbono. En la sabana nativa, con el propósito de mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, se siembra inicialmente una gramínea mejorada que permanece en producción durante 4 años, antes de establecer la plantación de pino.

Como resultado del uso del suelo, las alternativas en evaluación reflejan las condiciones de manejo tradicional en el cual las pasturas se establecen solas sin la introducción de cultivos y de manejo conservacionista de formación de capa arable² donde las pasturas y los cultivos conforman rotaciones que permiten el mejoramiento progresivo de los suelos, lo cual en el mediano y largo plazo tiene importantes implicaciones económicas y ambientales. Los esquemas rotacionales propuestos se enmarcan dentro del concepto de formación de capa arable, que involucra componentes de labranza, fertilización y enmienda de los suelos y empleo estratégico de germoplasma (Amézquita et al., 2000, 2001, 2004).

Cuadro 2. Alternativas de uso de la tierra propuestas para el desarrollo del modelo de programación lineal

Año	Pasturas			Rotación de cultivos-pasturas			Forestales (pino caribe)
	Sabana nativa	Gramínea mejorada	Pastura asociada	Rotación			
				1	2	3	
1	SN	Establecimiento	Establecimiento	SN	A - S	A - S	GM
2	↓	↓	↓	SN	A - S	A - S	GM
3	↓	↓	↓	SN	A - S	A - S	GM
4	↓	↓	↓	SN	M - S	M - S	GM
5	↓	↓	↓	SN	M - S	M - S	PC
6	↓	↓	↓	SN	M - S	M - S	
7	↓	Renovación	Renovación	SN	G M	PA	
8	↓	↓	↓	A - S	G M	PA	
9	↓	↓	↓	A - S	G M	PA	
10	↓	↓	↓	M - S	G M	PA	
11	↓	↓	↓	M - S	G M	PA	
12	↓	↓	↓	PA	G M	PA	
13	↓	↓	↓	PA	G M	PA	
14	↓	↓	↓	PA	A - S	A - S	
15	↓	Renovación	Renovación	PA	A - S	A - S	
16	↓	↓	↓	PA	A - S	A - S	
17	↓	↓	↓	PA	M - S	M - S	
18	↓	↓	↓	PA	M - S	M - S	
19	↓	↓	↓	PA	M - S	M - S	↓

SN = Sabana nativa.

GM = Gramínea mejorada (*Brachiaria* mejorada).

PA = Pastura asociada *B. decumbens* + *D. ovalifolium*.

A - S = Rotación de arroz en el primer semestre y soya en el segundo.

M - S = Rotación de maíz en el primer semestre y soya en el segundo.

PC = Pino caribe.

² Es la parte del suelo que el hombre puede modificar a través de un manejo racional para lograr una mayor productividad agrícola mediante el uso de sistemas económicos y ambientalmente sostenibles. Con la construcción de esta capa se busca optimizar la capacidad productiva de la Altillanura plana por medio de prácticas de manejo y de cultivos que incluyen el mejoramiento de las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo.

Escenarios de evaluación

Para evaluar el efecto de la incorporación progresiva de nuevos componentes tecnológicos a los sistemas ganaderos predominantes actualmente en la Altillanura colombiana se simulan varios escenarios tecnológicos secuenciales (Figura 2), partiendo de una fase inicial con un modelo ganadero, que puede ser de cría o de doble propósito, basado en el empleo extensivo de pasturas solas. En la fase siguiente, el modelo ganadero incorpora las opciones de rotaciones pasturas-cultivos, aplicando prácticas de mejoramiento del suelo que conducen a la construcción de capas arables.

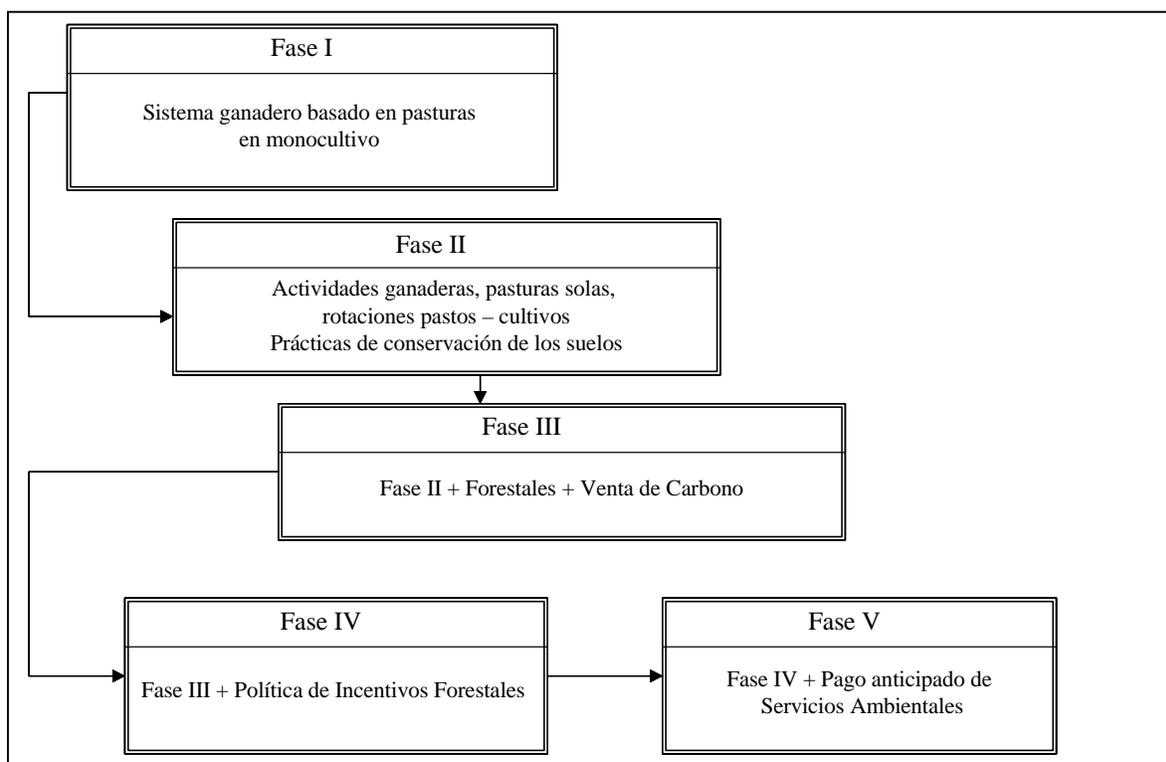


Figura 2. Escenarios de la evaluación de sistemas de producción en la Altillanura colombiana

En la tercera fase se incluye el establecimiento de especies forestales como un nuevo componente tecnológico para la producción de madera y el secuestro de carbono. En esta etapa el sistema se diversifica en productos derivados de la ganadería, los cultivos y el bosque, además del secuestro de carbono por los árboles y las pasturas.

En las dos fases siguientes se evalúa el impacto de las políticas de desarrollo forestal sobre los patrones de uso de la tierra; así, en la cuarta se incluye el certificado de incentivo forestal (CIF) dentro de un esquema de subsidio a la siembra de árboles, asumiendo que el

Estado cubre el 50% de los costos de establecimiento y mantenimiento de las plantaciones, y en la quinta y última fase se incluyen todos los elementos de la anterior más un incentivo consistente en el pago anticipado de las ventas de carbono con el fin de mejorar la liquidez de los sistemas productivos. El pago anticipado de los servicios ambientales es un tema negociable en el momento de efectuar los contratos de venta.

Es preciso señalar que esta secuencia de modernización de los sistemas productivos en la Altillanura se propone con fines analíticos ya que no es la única alternativa posible. Como se resume en la Figura 2 las rutas de desarrollo de estos modelos de producción pueden ser muy variadas y posiblemente más complejas.

Información utilizada

La información utilizada en este trabajo proviene de varias fuentes primarias y secundarias, en su mayoría recopilada a partir de estudios económicos y biológicos adelantados por el CIAT y las instituciones nacionales de investigación en el área de referencia. En la Figura 3 se observan los diferentes componentes del modelo económico de optimización y el tipo de información requerida para determinar los escenarios óptimos de producción, de acuerdo con las diferentes restricciones.

El modelo económico incluye los componentes de ganadería, cultivos, forestales, prácticas de mejoramiento de la capacidad productiva de los suelos y generación de servicios ambientales. La información requerida es de muy diversa naturaleza así, por ej., para la determinación de los niveles de productividad ganadera en sistemas de cría y de doble propósito se requieren sendos modelos de desarrollo demográfico y de alternativas de nutrición animal, que permiten determinar las cantidades ofrecidas y la demanda de nutrientes, según los niveles de productividad propuestos y la cantidad y calidad del forraje en oferta.

En el modelo demográfico se incluyen parámetros relacionados con tasas de natalidad, mortalidad, extracción, estructura del hato estable y peso animal, según las categorías de edad de los animales. El modelo de nutrición requiere parámetros relacionados con la cantidad, la calidad, la disponibilidad y la demanda de nutrientes en los sistemas de alimentación del hato, expresados como coeficientes relacionados con el contenido de materia seca, la energía metabolizable requerida y disponible, el valor proteico de los forrajes y los porcentajes de proteína digestible.

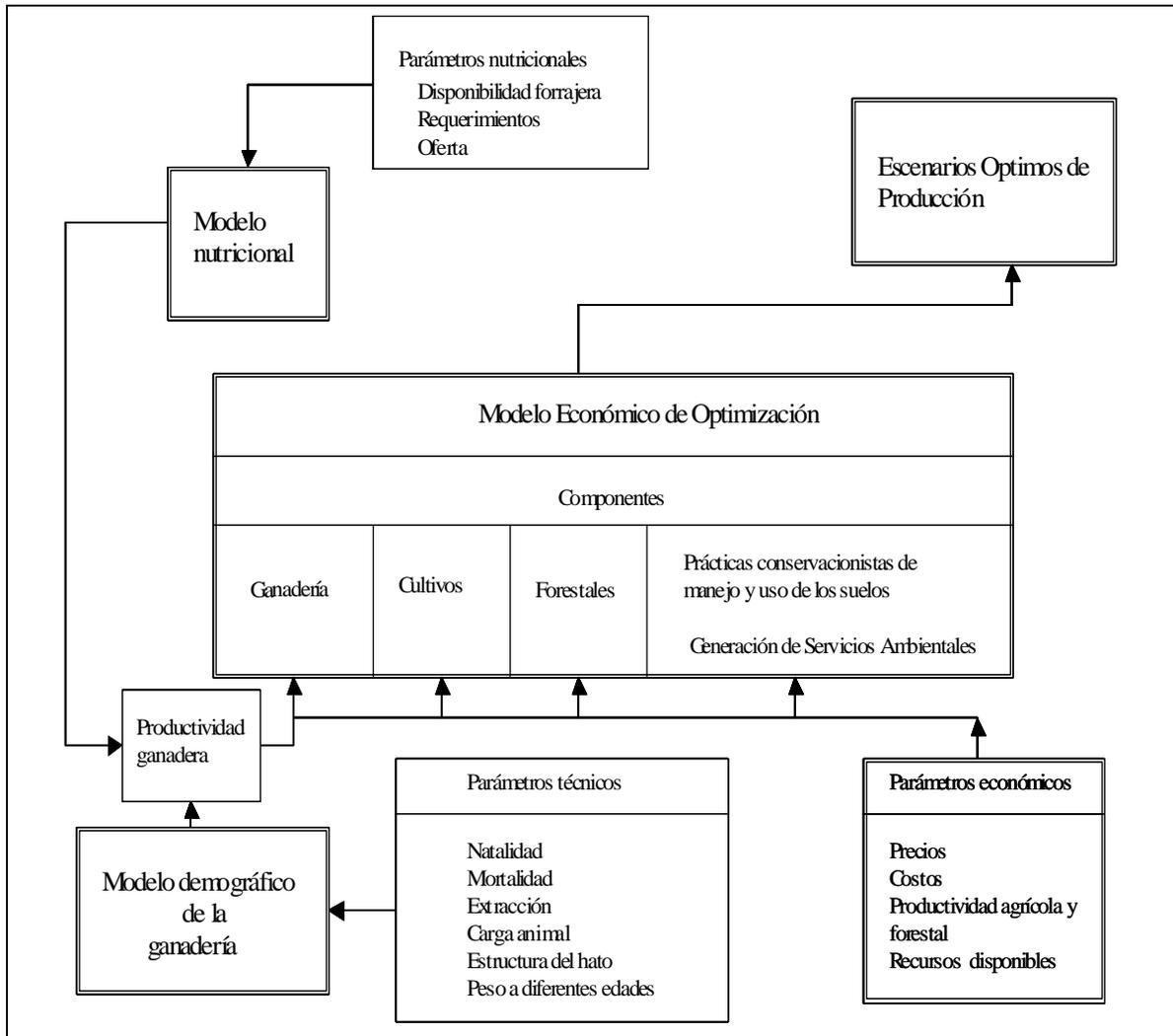


Figura 3. Modelo de evaluación económica e información utilizada en sistemas de producción de la Altiplanicie colombiana.

Adicionalmente se deben tener a disposición los datos económicos sobre los costos de establecimiento y mantenimiento de las pasturas, los cultivos y las plantaciones forestales; las necesidades de mano de obra en las diferentes etapas de desarrollo de las alternativas agropecuarias evaluadas; la productividad física de los cultivos y los árboles; los precios pagados al productor por ganado en pie, carne, leche, arroz, maíz, soya, madera y carbono secuestrado; y los recursos iniciales disponibles de tierra, mano de obra y capital financiero de operación. El componente ambiental del modelo incluye las prácticas de mejoramiento del suelo, que se encuentran implícitas en las rotaciones pasturas-cultivos para la construcción de la capa arable. Este tipo de manejo de recursos del suelo implica prácticas de labranza con cincel vertical y la aplicación de niveles adecuados de correctivos, en un proceso de mejoramiento gradual, que busca llegar a esquemas de labranza reducida o cero.

Los beneficios ambientales se materializan en una mayor productividad resultante del mejoramiento de la calidad de los suelos y en el secuestro de carbono por las pasturas mejoradas permanentes y por las plantaciones forestales.

Como se mencionó antes, en la Figura 1 se resumen las diferentes alternativas de uso del suelo, las opciones productivas posibles de realizar, la clase de productos que se generaría y la naturaleza de los beneficios que lograría el país con la consolidación de un proceso de desarrollo productivo integral que involucre los aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales.

Las informaciones económicas de costos de establecimiento, uso de mano de obra en pasturas y cultivos y de productividad física provienen de estudios elaborados en distintas épocas por el CIAT en el área de Puerto López-Puerto Gaitán en el departamento del Meta y de estimaciones de costos efectuadas por el Observatorio de Agrocadenas de Colombia del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Esta información fue validada y ajustada con datos obtenidos en un sondeo rápido efectuado en julio de 2005 en fincas de esta misma área (Cuadro 3).

Cuadro 3. Costos de establecimiento y productividad de diferentes alternativas de cultivo en la Altillanura colombiana.

Actividad	Establecimiento (US\$/ha) ^a	No de jornales/ha en el establecimiento	Producción anual (tm/ha)
Cultivos			
Arroz - soya	1322	9	7.2 ^b
Maíz - soya	1279	9	7.5 ^c
Forestales			
Pino caribe	368.1	5.1	20.4 ^d
Secuestro de C /ha por año	—		3.85 ^e
Pasturas			
<i>B. decumbens</i> + <i>D. ovalifolium</i>	400	8.3	44 ^f
<i>Brachiaria</i> mejorada cv. Toledo	455	7.8	50 ^f
Sabana nativa	0	0	4 ^f

a. = Sin incluir costos de mano de obra.

b = Rendimiento en términos de arroz.

c = Rendimiento en términos de maíz.

d = m³ de madera en pie/año. e = t de carbono.

f = Toneladas de materia verde/año. Tasa de cambio: US\$1 = \$col 2300.

Los parámetros técnicos de producción ganadera en la Altillanura (Cuadro 4) fueron fijados tomando como base diferentes muestreos y sondeos realizados en un amplio rango de fincas localizadas en el área de referencia (Holmann et al., 2004; Cadavid, 1995; Arias et al., 1990; Vera y Seré, 1981).

Cuadro 4. Parámetros técnicos usados para evaluar los sistemas ganaderos en la Altillanura colombiana.

Parámetros	Sistema de producción	
	Doble propósito (carne y leche)	Cría (carne)
Tasa de natalidad (%)	70	65
Tasa de mortalidad de terneros (%)	6	6
Tasa de mortalidad de animales adultos (%)	2	2
Tasa de reemplazo de vacas (%)	20	15
Peso de terneros al nacer (kg)	30	30
Peso ternero al destete (kg)	166	166
Peso de vaca en producción (kg)	425	425
Peso de toro reproductor (kg)	500	500
Peso de novilla de reemplazo (kg)	350	350
Peso de vaca de descarte (kg)	350	350
Producción de leche para venta (kg/vaca por año)	876	0
Producción de carne (kg/año)	179.2	174.7

FUENTE: Valores fijados con base en los estudios de Holmann et al, 2004; Cadavid J., 1995; Arias et al, 1990; Vera y Seré, 1981.

La información sobre los requerimientos nutricionales de los vacunos y el valor nutritivo y la digestibilidad de las diferentes alternativas forrajeras (Cuadro 5) se basan en estudios previos efectuados en la región (Sánchez y Salinas, 1981; Pérez, 1982).

Los precios recibidos por los productos agrícolas, pecuarios, forestales y ambientales se incluyen el Cuadro 6. En el mercado internacional los precios del carbono se caracterizan por su gran volatilidad, dependiendo su cotización de factores como tipo de certificado, calidad del proceso de certificación, tiempo de retención de carbono, cláusulas y condiciones de los acuerdos, entre otros. La perspectiva actual indica que los precios se mantendrán en un bajo nivel hasta el 2012. Según algunos analistas la oferta agregada actual de CERs (certificados de reducción de emisiones) supera por lejos la oferta proveniente de diferentes proyectos energéticos, agropecuarios y de transporte que apuntan a la reducción del CO₂ atmosférico. Las estimaciones de Honty (2005) (Figura 4) ilustran esta situación.

Cuadro 5. Parámetros biológicos usados para evaluar los sistemas ganaderos en la Altillanura colombiana.

Coficiente	Doble propósito	Cria
Consumo (/vaca equivalente)		
peso vaca equivalente (kg)	676.00	613.00
energía metabolizable (Ton Mcal/año)	6.23	6.16
proteína digestible (kg/año)	98.2	87.30
Productividad de las pasturas (materia verde, t/año)	44	
Asociación (<i>B. decumbens</i> + <i>D. ovalifolium</i>)	50	
<i>Brachiaria</i> mejorada cv Toledo	4	
Sabana nativa		
Digestibilidad de la proteína en las pasturas (%)	60	
Asociación (<i>B. decumbens</i> + <i>D. ovalifolium</i>)	60	
<i>Brachiaria</i> mejorada cv Toledo	60	
Sabana nativa		
Producción energía (Mcal/kg de MS)	2.0	
Asociación (<i>B. decumbens</i> + <i>D. ovalifolium</i>)	2.1	
<i>Brachiaria</i> mejorada	1.5	
Sabana nativa		
Proteína cruda (%)	10	
Asociación (<i>B. decumbens</i> + <i>D. ovalifolium</i>)	10	
<i>Brachiaria</i> mejorada	4	
Sabana nativa		

Cuadro 6. Precios recibidos por los productores en explotaciones agropecuarias de la Altillanura colombiana^a.

Producto	Precio al productor	
Cultivo (US\$/t)		
Maíz	191	
Soya	348	
Arroz	217	
Ganadería (US\$/kg en pie)	Doble propósito:	Cria:
vacas en producción	1.28	0.88
Toros	1.30	1.20
terneros 0 - 1 año	0.73	1.00
novillas de reemplazo	1.11	0.83
vacas de desecho	0.63	0.70
leche (US\$/t)	180.00	—
Forestales		
madera en pie (US\$/m ³)	40.00 ^b	—
carbono en el mercado internacional (US/t)	3.5 - 7.0 ^c	—

a. Los precios de los cultivos y de los productos ganaderos son el promedio de los tres últimos años.

b: Compradores de la region.

c: Lasso(2005).

Como consecuencia de la volatilidad de este mercado y las dudas que se presentan acerca de la rentabilidad de los proyectos que aplican mecanismos de desarrollo limpio, y respetando las tendencias observadas, se decidió utilizar estimativos muy conservadores del precio del carbono en el mercado internacional.

Como plantación forestal tipo se consideró el pino caribe, por ser una especie que ha demostrado un buen nivel de adaptación y productividad en las condiciones de los Llanos Orientales de Colombia. No obstante existen otras alternativas como caucho, palma, etc.

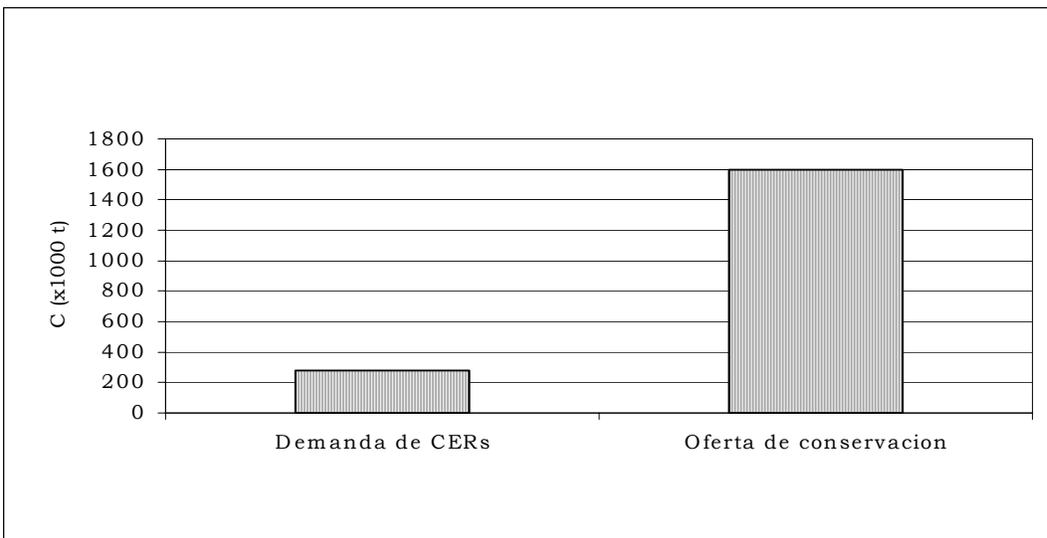


Figura 4. Oferta y demanda en el mercado global de carbono. Honty (2005)

La información de costos de establecimiento y mantenimiento de las plantaciones de pino se obtuvo gracias a la colaboración de Refocosta (Reforestadora de la Costa S.A.), entidad que proporcionó una detallada base de datos que incluye los costos anuales, desglosados por rubro, para un ciclo de 21 años (Cuadro 7 y Figura 5).

Cuadro 7. Costos estimados de establecimiento y mantenimiento de una plantación de pino Caribe (US\$/ha).

Año	Mano de obra		Otros costos (US\$)	Costo total (US\$)
	No. estimado de jornales	Valor (US\$)		
0	5.1	38.0	368.1	406.1
1	9.2	69.0	88.5	157.5
2	9.7	72.6	103.0	175.6
3	0.5	3.8	5.4	9.2
4	8.2	61.7	72.7	134.4
5	0.4	2.6	3.2	5.8
6	7.6	57.0	3.2	60.2
7	0.4	2.6	3.2	5.8
8	0.4	2.6	3.2	5.8
9	0.4	2.6	3.2	5.8
10	0.4	2.6	3.2	5.8
11	0.2	1.5	0.5	2.0
12	0.2	1.5	0.5	2.0
13	0.2	1.5	0.5	2.0
14	0.2	1.5	0.5	2.0
15	0.2	1.5	0.5	2.0
16	0.2	1.5	0.5	2.0
17	0.2	1.5	0.5	2.0
18	0.2	1.5	0.5	2.0
19	0.2	1.5	0.5	2.0
20	0.2	1.5	0.5	2.0

FUENTE: Cifras tomadas de la base de datos de Refocosta. Tasa de cambio: US\$1 = \$col.2300.

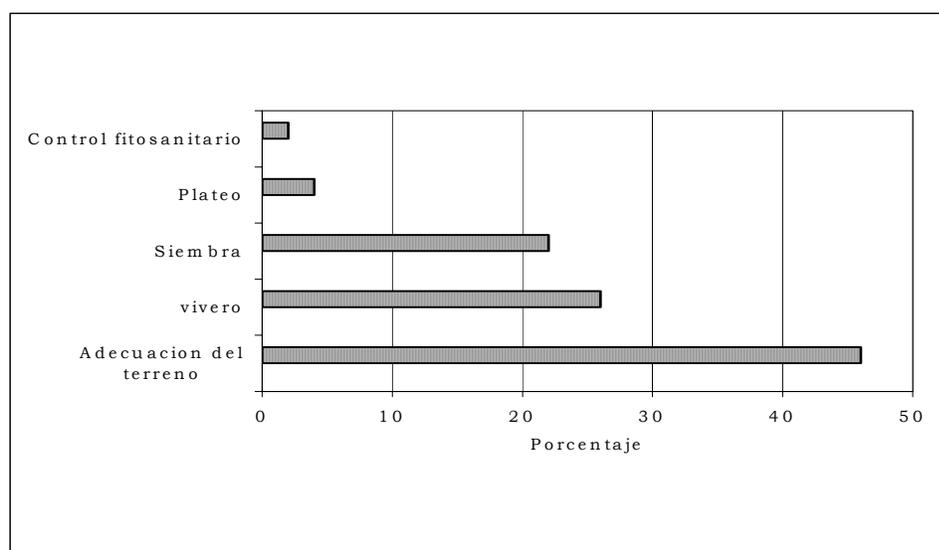


Figura 5. Estructura de costos de establecimiento de pino caribe en la Altillanura colombiana, con base en costos de Refocosta

Los datos utilizados provienen de las plantaciones de esta empresa en Villanueva (Casanare) y si bien no corresponden exactamente a los de la Altillanura del Meta, es la mejor información que fue posible obtener y se consideran como una buena aproximación a la situación de los costos en el área del estudio. La información de productividad de las plantaciones, en términos de fijación de CO₂/ha, se estimó en función de la producción anual y la densidad de la madera producida (Cuadro 8).

Cuadro 8. Flujo neto anual de carbono (t/ha)^a secuestrado por diferentes coberturas vegetales en la Orinoquía colombiana.

Cobertura vegetal			
Sabana nativa	Gramínea + leguminosa	Gramínea sola	Pino Caribe
0	2.5	1.5	3.8 ^b

- a. Flujo marginal por encima del secuestro natural de la sabana nativa. Valores fijados con base en mediciones del Proyecto de Suelos del CIAT.
 b. Estimado asumiendo una producción de madera de 20 m³/año.

Resultados

Con el propósito de conocer la dinámica y la productividad de los sistemas agrícolas evaluados se simuló su evolución desde las fases más tempranas de desarrollo, caracterizadas por el predominio de ganadería extensiva en pasturas naturales, hasta alcanzar sistemas más intensivos y de alta complejidad que involucran diversos componentes agrícolas, ganaderos, forestales y ambientales.

La base del desarrollo tecnológico es un sistema ganadero de cría o de doble propósito que progresivamente va incorporando nuevos componentes —rotaciones pasturas/cultivos, plantaciones forestales, venta de carbono y elementos de política agraria como la aplicación de subsidios para el fomento de la producción forestal y el pago anticipado de las compras de carbono— con el fin de mejorar la liquidez de los productores. En todos los escenarios evaluados se simulan diferentes niveles de capital financiero disponible en la finca, en un rango que fluctúa entre US\$5000 y US\$300,000.

Sistemas de cría de ganado

Cría extensiva. Se propone un escenario de cría extensiva que utiliza pasturas solas en la extensión total de una finca de 500 ha. Las alternativas posibles de alimentación para los animales son sabana nativa, pasturas *B. brizantha* cv. Toledo y las pasturas asociadas *B. decumbens*-*D. ovalifolium* (Cuadro 9).

En estas circunstancias la disponibilidad de capital financiero de operación determina claramente el tipo de pastura a utilizar. Si el capital disponible es de US\$300,000 (US\$600/ha) el área en pasturas se distribuye por partes iguales entre las mejoradas y la sabana nativa.

Cuadro 9. Modelo de finca con sistema de cría: ganadería sola, sin germoplasma adaptado de cultivos y de forestales, bajo diferentes niveles de capital de operación.

Disponibilidad inicial de capital		Uso de la tierra (ha)		Inventario de vacas (no. animales)	Generación neta de empleo (no. jornales)	Valor de la función objetivo (x10 ³ US\$)
Total (x10 ³ US\$)	Por hectárea (US\$)	Sabana nativa	Pastura Brachiaria mejorada cv. Toledo			
300	600	256.5	243.5	540	-201	1239
200	400	332.8	167.2	390	-311	914
100	200	409.0	91.0	238	-420	588
50	100	447.1	52.9	163	-474	425
25	50	466.5	33.5	124	-502	343
10	20	482.2	17.8	93	-524	294
5	10	491.9	8.1	74	-538	272

Área total disponible: 500 ha.

A medida que decrece el capital de operación se incrementa la proporción de sabana nativa hasta llegar a 98% del total del área disponible, cuando el capital es sólo US\$5000 (US\$10/ha), la pastura de gramínea y leguminosa no es competitiva en este escenario y en ninguna circunstancia aparece dentro de la solución óptima.

Este es un sistema ganadero de muy baja productividad y sin capacidad de generación de empleo. Parte de su dotación de mano de obra (jornales) es vendida para sostener la situación financiera de la explotación y el valor de la función objetivo se ubica en el rango entre US\$0.2 y US\$1.3 millones (Cuadro 9). Bajo este esquema de uso de la tierra, caracterizado por la baja productividad y escasas alternativas de producción, el precio sombra³ de este recurso de producción resulta muy bajo (US\$146/ha), reflejando claramente su bajo costo de oportunidad y su muy limitada capacidad productiva.

En rotación de pasturas–cultivos y prácticas de mejoramiento del suelo. En este modelo de cría de ganado en finca se desarrollan actividades que incluyen rotaciones de pasturas con cultivos utilizando técnicas de mejoramiento del suelo. Estas prácticas mejoran y mantienen la productividad de la tierra, incrementan el flujo de efectivo de la finca por venta de cosechas

³ El precio sombra es un concepto económico que refleja el grado de escasez y la productividad de los factores de producción. En el contexto de la programación lineal se define como precio máximo que el productor estaría dispuesto a pagar por una unidad adicional de un recurso que se encuentra en el límite de disponibilidad.

y amplían la capacidad de absorción de mano de obra. Como resultado del progresivo mejoramiento de los suelos y la disponibilidad de nuevas alternativas más productivas, la sabana nativa desaparece de este escenario. Al igual que en el escenario anterior, una menor dotación de capital implica reducciones de las áreas de pasturas mejoradas en monocultivo (Cuadro 10). Aquí se plantea una competencia entre las pasturas mejoradas en monocultivo vs. las rotaciones de pasturas-cultivos; estas últimas, a medida que decrece el capital financiero, desplazan progresivamente las pasturas de solo gramínea.

Las rotaciones de pasturas-cultivos ocupan el 67% del área disponible cuando la disponibilidad de capital de operación es de US\$300,000, pero cuando el capital inicial es de sólo US\$5000 cubren el 96% de la tierra. Este avance de las rotaciones obedece a su gran capacidad de generar ingresos en el corto plazo.

Cuadro 10. Modelo de finca con sistema de cría: disponibilidad de germoplasma adaptado de cultivos y aplicación de prácticas de mejoramiento del suelo, bajo diferentes niveles de capital de operación.

Disponibilidad inicial de capital		Uso de la tierra (ha)				Vacas en el final de evaluación (no.)	Generación neta de empleo (no. jornales ^b)	Valor de la función objetivo (x10 ³ US\$)
Total (x10 ³ US\$)	Por hectárea (US\$)	Rotaciones pasturas-cultivos ^a			Pastura mejorada <i>Brachiaria</i> cv. Toledo			
		Rot.-1	Rot.-2	Rot.-3				
300	600	294.1	40.4	0.0	165.5	884	621	2226
200	400	314.6	76.2	0.0	109.2	804	802	2059
100	200	322.5	117.7	0.0	59.8	715	998	1869
50	100	333.8	5.4	121.7	39.2	692	1054	1761
25	50	348.1	0.0	124.8	27.1	692	1057	1701
10	20	344.8	0.0	132.9	22.3	677	1091	1665
5	10	342.5	0.0	136.5	21.0	670	1106	1653

a. Rotación-1 = sabana nativa-arroz ~ soya -, *B. decumbens* + *D. ovalifolium*. Rotación-2 = arroz ~ soya - *Brachiaria* mejorada - arroz ~ soya maíz ~ soya maíz ~ soya maíz ~ soya. Rotación-3 = arroz ~ soya - *B. decumbens* + *D. ovalifolium* - arroz ~ soya maíz ~ soya maíz ~ soya.

b. Promedio anual estimado. Área total disponible: 500 ha.

Es necesario señalar que si bien la sabana nativa y la pastura asociada no aparecen dentro de las soluciones óptimas bajo el sistema monocultivo, sí figuran como componentes de las rotaciones 1 y 3.

El crecimiento de la rotación-1 en condiciones de baja disponibilidad de capital de operación obedece al hecho que en su fase inicial está conformada por sabana nativa, que no implica erogaciones de efectivo y permanece en producción durante 7 años (ver Cuadro 2).

En este escenario, la intensificación de la producción ofrece múltiples beneficios ambientales y sociales, a la vez que el valor de la función objetivo (maximización del ingreso neto) crece significativamente. Cuando la disponibilidad es de US\$300,000, la función objetivo crece 1.8 veces en relación con la situación inicial en la cual no existe germoplasma adaptado de cultivos.

En el otro extremo, con una disponibilidad de sólo US\$5000, el impacto sobre la rentabilidad del sistema es sustancialmente mayor, ya que la función objetivo se multiplica por 6. Desde esta perspectiva se puede considerar que este tipo de intervención tecnológica tiende a favorecer en mayor medida a los productores con menores recursos económicos.

El aumento de las áreas en rotaciones de pasturas-cultivos, impulsa la generación de empleo y el sistema se torna gradualmente intensivo en mano de obra a medida que se reducen las áreas de pasturas solas y crecen las de rotaciones (Cuadro 10). Para todos los niveles de capital de operación disponibles, los cambios en productividad se reflejan en los precios sombra de la tierra, situándose el promedio de éste en US\$2958/ha frente a US\$146/ha en el sistema de cría extensiva basado exclusivamente en el pastoreo (Figura 6).

Es importante resaltar que los procesos de mejoramiento del suelo no sólo implican cambios en su calidad, que se traducen en mayores índices de productividad y producción, sino que la tierra como activo se valoriza, lo cual representan un beneficio adicional de largo plazo para quienes apliquen prácticas conservacionistas de manejo del suelo.

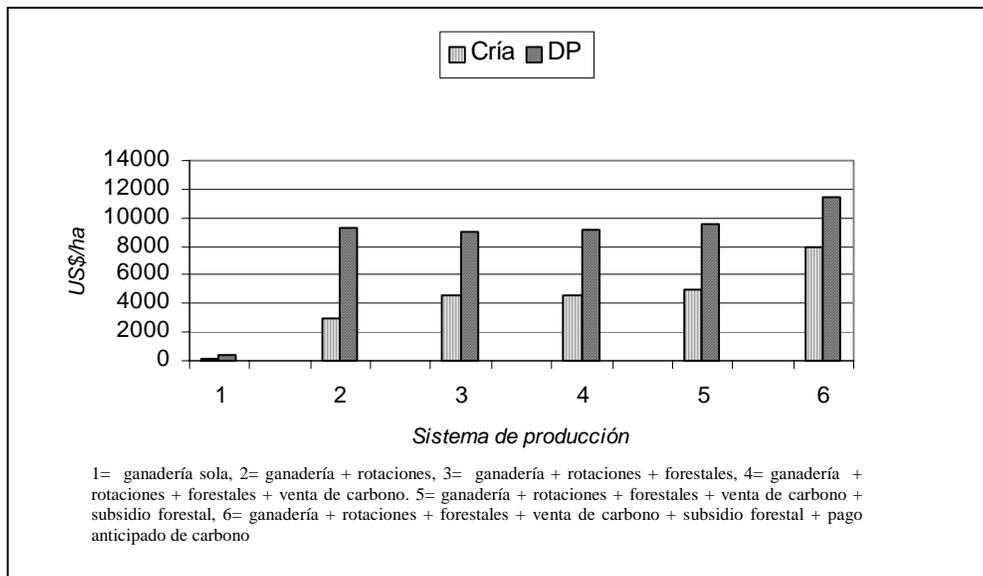


Figura 6. Precio sombra promedio de la tierra según sistema de producción en la Altillanura de Colombia

En rotación de pasturas-cultivos, prácticas de mejoramiento del suelo y actividades forestales. La introducción de actividades forestales en los sistemas ganaderos de cría tiene un impacto significativo en términos de uso de la tierra, dando como resultado la exclusión de las pasturas solas. En todos los niveles de capital inicial de operación considerados en este estudio (entre US\$5000 y US\$300,000) las prácticas forestales son parte importante en la solución óptima. En el modelo de finca con financiación inicial en el rango entre US\$25,000 y US\$300,000 se estima que el recurso forrajero proviene de la rotación-1, que incluye el componente de pasturas en sus fases inicial y final (7 y 8 años, respectivamente). Se estima que la rotación-3 proporciona el forraje que requiere la finca en la fase intermedia del período de evaluación. El área ocupada por esta rotación crece en forma directamente proporcional con la reducción del capital de operación y la superficie en cultivos forestales (Cuadro 11). En la opción forestal se considera que la disponibilidad de forraje ocurre durante los 4 años iniciales.

Cuadro 11. Modelo de finca con sistema de cría: ganadería con disponibilidad de germoplasma adaptado de cultivos, aplicación de prácticas de mejoramiento del suelo, opciones forestales y venta de servicios ambientales (carbono) bajo diferentes niveles de capital de operación.

Disponibilidad inicial de capital		Uso de la tierra (ha)			Vacas en el final de evaluación (no.)	Generación neta de empleo (no. jornales) ^a	Valor función objetivo (x10 ³ US\$)
Total (x10 ³ US\$)	Por ha. (US\$)	Pino Caribe	Rotaciones pasturas - cultivos				
			Rot.-1	Rot.-3			
300	600	349.9	15.4	134.7	28	1182	5876
200	400	279.1	21.6	199.3	39	1404	4839
100	200	208.5	27.7	263.8	51	1628	3802
50	100	173.1	30.8	296.1	56	1739	3284
25	50	158.4	14.0	327.6	26	1852	3022
10	20	140.2	0.0	359.8	0	1966	2750
5	10	133.0	0.0	367.0	0	1991	2655

a. Promedio anual. Área total disponible: 500 ha.

En los escenarios de cría con muy baja disponibilidad de capital (entre US\$5000 y US\$10,000) la ganadería desaparece en los últimos años del período de evaluación debido a la falta de forraje para los animales. Los modelos de finca con baja financiación únicamente utilizan las opciones forestales y la rotación-3. En la primera la disponibilidad de forraje sólo ocurre durante los 4 primeros años, cuando se establece una pastura mejorada antes de la siembra de los árboles. En la segunda opción la disponibilidad de forraje se presenta entre los años 7 y 13, por tanto, se considera que entre los años 14 y 19 este recurso no estará presente (ver Cuadro 12).

Cuadro 12. Modelo de finca con sistema de cría: ganadería con disponibilidad de germoplasma adaptado de cultivos, prácticas de mejoramiento del suelo, opciones forestales y venta de servicios ambientales (carbono), más certificado incentivo forestal((CIF) del 50%) bajo diferentes niveles de capital de operación.

Disponibilidad inicial de capital		Pino caribe	Uso de la tierra (ha)		Vacas en el final de evaluación (no.)	Generación neta de empleo (no. jornales) ^a	Valor función objetivo (x10 ³ US\$)
Total (x10 ³ US\$)	Por ha (US\$)		Rotaciones pasturas – cultivos				
			Rot.-1	Rot -3			
300	600	408.7	6.8	84.5	11	1009	6815
200	400	327.6	6.9	165.5	11	1290	5590
100	200	246.4	7.0	246.6	11	1572	4366
50	100	198.2	0.0	301.8	0	1765	3647
25	50	161.9	0.0	338.1	0	1891	3147
10	20	140.2	0.0	359.8	0	1966	2847
5	10	133.0	0.0	367.0	0	1991	2747

a. Promedio anual. Área total disponible: 500 ha.

En el nivel máximo de disponibilidad de capital las plantaciones de árboles ocupan el 70% de la superficie disponible, valor que se reduce a 27% en el momento que la finca dispone del capital mínimo considerado en este ejercicio. (Cuadro 11)

En este escenario la capacidad de generación de empleo se eleva cuando declinan las superficies forestales y crecen las áreas ocupadas por la rotación-3. La venta del carbono proveniente de las pasturas y los árboles no modifica el uso de la tierra y tiene baja importancia relativa en los ingresos totales de la finca, en parte debido a los bajos precios por tonelada de carbono utilizados en la evaluación.

El impacto del pago por secuestro de carbono en el valor de la función objetivo (ingreso neto) en una finca bajo diferentes niveles alternativos de financiación inicial aparece en el Cuadro 13. Con las tasas anuales de secuestro de carbono por los árboles y las pasturas, las alzas del precio de este elemento en el mercado internacional tienen un leve efecto sobre la rentabilidad de la unidad de producción y una escasa influencia en los patrones de uso de la tierra (Cuadro 14). En el caso de una finca con sistema de cría, un área de 500 ha y un capital inicial de operación de US\$100,000, se observan las situaciones siguientes: (1) en el rango amplio de US\$ 5 - 100/t de carbono, los altos precios de este elemento inducen pequeñas alzas en la rentabilidad total de la explotación, sin cambios importantes en el uso del suelo; (2) se identifican cuatro rangos de precio del carbono, en los que el uso del suelo no se modifica: 5-10, 20-40, 50-70 y 80-100.

Cuadro 13. Impacto económico de la venta de carbono secuestrado en una finca de cría de la Altillanura colombiana con diferentes niveles de capital de operación^{a/}.

Disponibilidad inicial de capital (x10 ³ US\$)	Valor de la función objetivo (x10 ³ US\$)		Cambio en la función objetivo por venta de carbono	
	Con venta de carbono	Sin venta de carbono	Total (x10 ³ US\$)	(%)
300	5876	5759	117	2.0
200	4839	4745	94	2.0
100	3802	3731	71	1.9
50	3284	3223	61	1.9
25	3022	2969	53	1.8
10	2750	2704	46	1.7
5	2655	2612	43	1.6

a: Sistema ganadero que incluye pasturas solas, rotaciones de pasturas - cultivos, y plantaciones de forestales.

Cuadro 14. Impacto de los cambios en el precio del carbono sobre la rentabilidad y el uso de la tierra en una finca de cría en la Altillanura colombiana, bajo diferentes precios de C^{a/}

Precio de carbono (US\$/t)	Uso de la tierra			Valor de la función objetivo (x 10 ³ US\$)
	Rotaciones pasturas - cultivos		Forestales	
	Rotación 1	Rotación 3		
5 ^b	27.8	263.8	208.4	3802
10	27.8	263.8	208.4	3867
20	52.9	242.8	204.3	4003
30	52.9	242.8	204.3	4142
40	52.9	242.8	204.3	4280
50	77.2	222.4	200.4	4421
60	77.2	222.4	200.4	4561
70	77.2	222.4	200.4	4702
80	93.4	208.8	197.8	4844
90	93.4	208.8	297.8	4987
100	93.4	208.8	197.8	5129

a. Finca de 500 ha con capital inicial de operación de US\$100,000.

b. Precio base.

Cabe anotar que en la rotación-3 no se considera el secuestro de carbono, ya que comienza y finaliza con cultivos, mientras que en la rotación-1, que finaliza con la inclusión de una pastura mejorada, se considera esta posibilidad. En resumen, un alza de los precios de carbono desde US\$5 hasta US\$100/tm implicaría que la participación de la rotación-1 en el área total de la finca se eleve desde 6% hasta 19%, lo que ocurriría principalmente a costa de la reducción de las áreas sembradas con la rotación-3, que bajarían de 53% a 42% del área total de la finca.

Las cotizaciones en los mercados internacionales son un factor clave para mejorar el atractivo económico de los proyectos de venta de carbono. Pero en la coyuntura actual de bajos precios, aún incrementando las tasas anuales de secuestro en un rango que va de 10% a 50%, el impacto sobre el uso de la tierra sería nulo, con una influencia muy débil sobre la rentabilidad total del predio (Cuadro 15). Los índices de rentabilidad resultan inelásticos frente a incrementos en las tasas anuales de retención de carbono, así, un alza de 50% en éstas resultaría en un aumento de menos de 1% en el valor de la función objetivo.

Cuadro 15. Impacto de cambios en las tasas anuales de retención de carbono sobre la rentabilidad y el uso de la tierra en la Altillanura colombiana^a

Incremento de la tasa neta anual de secuestro de C	Uso de la tierra (ha)			Valor de la función objetivo (x 10 ³ US\$)
	Rotaciones pasturas - cultivos		Forestales	
	Rotación 1	Rotación 3		
Base ^b	27.7	263.8	208.5	3802
+10%	27.7	263.8	208.5	3809
+ 20%	27.7	263.8	208.5	3816
+ 30%	27.7	263.8	208.5	3823
+ 40%	27.7	263.8	208.5	3831
+ 50%	27.7	263.8	208.5	3838

a. Sistema ganadero de cría: finca de 500 hectáreas, con un capital inicial de operación de US\$100000.

b. Los niveles base aparecen en el Cuadro 8.

Políticas de incentivos forestales

Con el propósito de fomentar la reforestación, ampliar la oferta nacional de productos madereros y generar servicios ambientales, el gobierno nacional está empleando esquemas de apoyo forestal que consisten en financiar parcialmente los gastos de establecimiento y mantenimiento de las plantaciones a través de los CIF. Para evaluar el impacto potencial de esta política en términos de generación de empleo, uso del suelo y rentabilidad a escala de finca se diseñó un escenario que, además de los componentes ganaderos, agrícolas y forestales, considera la inclusión del CIF que financia la mitad de los costos de reforestación en una explotación dedicada a la cría de ganado en la Altillanura. Se espera que una política de este tipo incremente las áreas forestales en las fincas con mayor capital financiero inicial (>US\$10,000). También se espera que las fincas por debajo de este límite mantendrán las áreas forestales de manera constante y se beneficien por las reducciones de costos, lo que incrementa el valor de la función objetivo (Cuadros 11 y 12). Por el apoyo de los CIF, las fincas con mayor capital (US\$300,000) incrementan las áreas forestales en 17% y en una proporción muy similar crecería su ingreso neto.

La expansión de las áreas de bosque, inducida por el subsidio, en las fincas con mayor capital, reduce la capacidad de generación de empleo, 15%, y determina una reducción de la actividad ganadera ya que la oferta forrajera pasaría a depender casi exclusivamente de la rotación-3, la cual aporta forraje únicamente en su fase intermedia.

El largo periodo de maduración de las inversiones en reforestación es una de las mayores restricciones que enfrentan los productores con escasos recursos financieros. Esta actividad implica mantener inmovilizado durante 15 o más años un capital apreciable, lo que en muchas oportunidades no hace posible esta opción para estos productores. Una forma posible de incentivar la reforestación y la venta de carbono consiste en el pago por anticipado de este servicio ambiental. Esta situación se evaluó considerando, además de los beneficios del CIF, un esquema de pago anticipado de secuestro de carbono en el momento de la siembra de las pasturas y de los árboles. En el Cuadro 16 se muestra cómo esta estrategia de política puede ser efectiva para fomentar la reforestación entre los grupos de productores con menores recursos económicos. En el caso de los productores con capital inicial entre US\$5000 y US\$10,000, la combinación de CIF y el pago anticipado de carbono posibilitaría un aumento significativo (entre 69% y 74%) de las áreas dedicadas a reforestación. Esta alternativa representa el mejor nivel tecnológico posible de alcanzar y resulta en elevados niveles de ingreso neto.

Cuadro 16. Modelo de finca con sistema de cría: ganadería con disponibilidad de germoplasma adaptado de pastos y cultivos, opciones forestales, pago anticipado de servicios ambientales y aplicación de un CIF del 50%, bajo diferentes niveles de capital de operación.

Disponibilidad inicial de capital		Uso de la tierra (ha)			Vacas en el final de evaluación (no.)	Generación neta de empleo (no. jornales) ^a	Valor función objetivo (x10 ³ US\$)
Total (x 10 ³ US\$)	Por ha (US\$)	Pino Caribe	Rotaciones pasturas - cultivos				
			Rot.-1	Rot.-3			
300	600	500.0	0.0	0.0	0	717	8190
200	400	446.5	8.8	44.7	16	871	7390
100	200	335.9	9.0	155.1	17	1254	5721
50	100	280.6	9.0	210.4	17	1446	4886
25	50	252.9	9.1	238.0	17	1542	4469
10	20	236.3	9.1	254.6	17	1599	4218
5	10	230.8	9.1	260.1	17	1618	4135

a. Promedio anual. Área total disponible: 500 ha.

Se estima que el ingreso neto en los segmentos de productores con mayor capital financiero se multiplicaría por 7 en el momento que ocurran cambios tecnológicos del sistema

de cría extensiva en pasturas de sabanas nativas hacia sistemas diversificados que incluyan ganadería, rotaciones de pasturas-cultivos, actividades forestales y venta de servicios ambientales apoyados por políticas de fomento. El mejoramiento de la calidad del suelo se transmite a su precio sombra, que pasaría de US\$138 a US\$15,830/ha.

Para los grupos con menor capital el impacto económico de la transformación de los sistemas productivos sería aún más significativo, el ingreso se multiplicaría por 15 y el precio sombra de la tierra pasaría de US\$190 a US\$6627/ha.

Sistemas doble propósito

Dentro de los sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia, el doble propósito representa una fase tecnológicamente más avanzada con respecto a los sistemas de cría. En general, éstos últimos se ubican en las áreas más marginales y aisladas, presentan parámetros técnicos más pobres e índices de rentabilidad menores. Muchas explotaciones ganaderas, tan pronto se presentan circunstancias favorables como la apertura y el mejoramiento de las vías, la disponibilidad de mejores alternativas forrajeras y sobre todo, la formación de mercados para la comercialización de la leche, hacen la transición desde la cría hacia el doble propósito. Las ventajas técnicas y económicas del doble propósito han sido discutidas y documentadas en numerosos estudios, para explicar y entender su importancia creciente en los trópicos bajos de América Latina. (Seré y Vaccaro, 1986, Vaccaro, 1986, Rivas L., 1992)

Doble propósito extensivo. Al igual que en el sistema de cría, en este estudio también se simuló una evolución progresiva desde una fase primaria basada exclusivamente en el pastoreo de gramíneas solas hasta etapas avanzadas de mayor complejidad, donde compiten y se complementan diversas alternativas de producción utilizando nuevo germoplasma de forrajes, cultivos y forestales.

En todos los niveles de capital inicial, el sistema doble propósito (DP) resulta más atractivo económicamente que el de cría de vacunos. Cuando el capital inicial de operación es de US\$300,000 el valor de la función objetivo del primero, es casi cinco veces el del segundo sistema. Si los productores de escasos recursos económicos cambiaran de la cría al DP, sus ingresos netos más que se duplicarían. (Cuadros 9 y 17).

Cuadro 17. Modelo de finca con sistema doble propósito solo: ganadería sin disponibilidad de germoplasma adaptado de cultivos y de forestales, bajo diferentes niveles de capital de operación.

Disponibilidad inicial de capital		Uso de la tierra (ha)		Vacas en el final de evaluación (no.)	Generación neta de empleo (no. jornales) ^a	Valor función objetivo (x10 ³ US\$)
Total (x 10 ³ US\$)	Por ha (US\$)	Sabana nativa	<i>Brachiaria</i> cv. Toledo			
300	600	50.2	449.8	940	244	6439
200	400	197.1	302.9	652	-33	4486
100	200	344.0	156.0	363	-177	2532
50	100	417.5	82.5	219	-282	1555
25	50	454.2	45.8	147	-334	1067
10	20	476.3	23.7	104	-366	774
5	10	484.5	15.5	88	-378	674

a. Promedio anual. Área total disponible: 500 ha.

El mayor atractivo económico del sistema DP se refleja en los mejores precios sombra de la tierra. Si en una finca dedicada a la cría extensiva se agota este recurso, el máximo precio que el productor estaría dispuesto a ofrecer por una hectárea adicional sería US\$146, en promedio; pero si la misma finca se manejara con este sistema, la oferta se elevaría a US\$357/ha.

Al igual que en el sistema de cría, cuando en el sistema DP únicamente se dispone de pasturas de gramíneas solas para la alimentación animal, la dotación de capital, como es de esperar, determina los niveles de uso de pasturas mejoradas. En las fincas con alto capital financiero se establecería una muy alta proporción de área (90%) con materiales forrajeros mejorados (ver Cuadro 17). En el otro extremo, las explotaciones con escasos recursos apelarían a las pasturas naturales como principal fuente forrajera. En estas circunstancias, el sistema DP tiene capacidad de generación neta de empleo sólo cuando dispone de capitales de operación por encima de US\$200,000.

Doble propósito con rotaciones de pasturas-cultivos y prácticas de mejoramiento del suelo. En este caso, las rotaciones de pasturas y cultivos en los sistemas de producción DP desplazan la sabana nativa, quedando la oferta de forraje limitada a pasturas mejoradas sembradas solas y al forraje proveniente de las rotaciones.

Cuando se dispone de altos niveles de financiación, por encima de US\$200,000 el pasto mejorado (*B. brizanta* cv. Toledo) resulta altamente competitivo, ocupando una fracción que fluctúa entre 65% y 80% del área disponible, el resto de la finca es ocupado por la

rotación-2 (Cuadro 18). A medida que decrece la disponibilidad de capital se incrementa el área cultivada con la rotación-1 la cual, como se indicó antes, está conformada inicialmente por una pastura nativa. La asociación *B. decumbens* - *D. ovalifolium* no aparece dentro de la solución óptima, aunque sí forma parte de la rotación-1.

La introducción de rotaciones de pasturas-cultivos eleva significativamente la capacidad de generación de empleo de los sistemas que adelantan ganadería de doble propósito. En forma progresiva al disminuir la superficie en pasturas solas, la generación neta de empleo tiende a crecer.

Cuadro 18. Modelo de finca con sistema doble propósito: ganadería, con disponibilidad de germoplasma adaptado de cultivos y prácticas de mejoramiento del suelo bajo diferentes niveles de capital de operación.

Disponibilidad inicial de capital (x 10 ³ US\$)		Uso de la tierra (ha)			Vacas en el final de evaluación (no.)	Generación neta de empleo (no. jornales) ^a	Valor función objetivo (x10 ³ US\$)
Total (x 10 ³ US\$)	Por ha (US\$)	Rotación pasturas - cultivos		<i>Brachiaria</i> cv. Toledo			
		Rot.-1	Rot.-2				
300	600	0.0	99.3	400.7	832	749	7242
200	400	0.0	173.9	326.1	677	1073	6502
100	200	59.9	236.9	203.2	530	1399	5675
50	100	197.6	176.6	125.8	619	1255	5230
25	50	266.5	146.5	87.0	662	1183	5007
10	20	307.8	128.4	63.8	689	1140	4874
5	10	321.6	122.4	56.0	698	1125	4829

Rotación 1 = Sabana nativa-arroz ~ soya-*B. decumbens* + *D. ovalifolium*.

Rotación 2 = arroz ~ soya-*Brachiaria* mejorada-arroz ~ soya maíz ~ soya maíz ~ soya maíz ~ soya.

Rotación 3 = arroz ~ soya-*B. decumbens* + *D. ovalifolium*- arroz ~ soya maíz ~ soya maíz ~ soya. Área total disponible: 500 ha.

a. Promedio anual. Área total disponible: 500 has.

Los sistemas mixtos son más productivos en la línea de base en comparación con el sistema de cría, es decir, cuando ambos sistemas dependen exclusivamente de las pasturas solas y no existen otras opciones productivas económicamente viables. En esta situación, la inclusión de nuevos componentes tecnológicos tiene mayor impacto relativo en el ingreso neto cuando la explotación ganadera se orienta a la cría. En las fincas con los más altos niveles de financiación, la introducción de rotaciones pasturas-cultivos y de prácticas conservacionistas de uso del suelo elevarían el ingreso neto en 12%; pero si el sistema es de cría el incremento llegaría a 80%.

En condiciones de baja disponibilidad de recursos financieros, los impactos económicos de la adopción de tecnologías son significativamente mayores. El incremento en productividad que ocurre cuando las pasturas de gramíneas puras se complementan

Al igual que en el caso de los sistemas de cría, la venta de carbono, por sus bajos precios actuales, tendría escasa relevancia como generador de ingresos en las fincas ganaderas de doble propósito (Cuadro 20). Los cambios en el precio del carbono en el rango US\$5 - US\$100/t no tendrían incidencia sobre el uso de la tierra (Cuadro 21).

Cuadro 20. Impacto económico de la venta de carbono secuestrado en una finca con sistema doble propósito, con diferentes niveles de capital de operación en la Altillanura colombiana

Disponibilidad inicial de capital (x10 ³ US\$)	Valor de la función objetivo(x10 ³ US\$)		Cambio en la función objetivo por venta de carbono	
	Con venta de carbono	Sin venta de carbono	Total (x 10 ³ US\$)	Porcentaje
300	7851	7703	148	1.9
200	6858	6734	124	1.8
100	5840	5758	82	1.4
50	5334	5270	65	1.2
25	5080	5026	54	1.1
10	4927	4879	48	1.0
5	4876	4830	46	1.0

Cuadro 21. Impacto de cambios en el precio del carbono sobre la rentabilidad y el uso de la tierra en una finca de 500 ha, con US\$100,000 de capital de operación y sistema doble propósito en la Altillanura colombiana.

Precio del carbono (US\$/t)	Uso de la tierra				Valor de la función objetivo (x 10 ³ US\$)
	Rotaciones pasturas - cultivos		<i>Brachiaria</i> cv Toledo	Forestales	
	Rotación 1	Rotación 3			
5	190.4	101.9	47.7	160.0	5840
10	190.4	101.9	47.7	160.0	5914
20	190.4	101.9	47.7	160.0	6070
30	190.4	101.9	47.7	160.0	6227
40	190.4	101.9	47.7	160.0	6383
50	190.4	101.9	47.7	160.0	6540
60	190.4	101.9	47.7	160.0	6696
70	190.4	101.9	47.7	160.0	6852
80	190.4	101.9	47.7	160.0	7009
90	190.4	101.9	47.7	160.0	7165
100	190.4	101.9	47.7	160.0	7322

Como se anotó anteriormente, debido a la mayor productividad inicial de los sistemas DP frente a la cría, la introducción de árboles en los primeros tiene un efecto económico relativo menor. Las actividades forestales en las ganaderías de doble propósito no provocarían cambios apreciables en el valor de su función objetivo, por lo cual los precios sombra de la tierra permanecerían más o menos estables (ver Figura 6).

La reducción de la capacidad de generación de empleo es una de las externalidades económica y social resultante de la ampliación de las áreas dedicadas a la reforestación, ya que esta actividad es menos intensiva en el uso de mano de obra que el sistema de ganadería doble propósito o que la siembra y cosecha de cultivos.

Políticas de incentivos forestales

La aplicación de un incentivo forestal equivalente a un CIF del 50% estimularía la siembra de árboles entre los grupos de productores de mayores recursos financieros, con un muy pobre efecto sobre los grupos más débiles económicamente (Cuadro 22). No obstante, la combinación de un incentivo forestal como éste y un convenio de pago anticipado del secuestro de carbono tendrían un gran impacto en términos de ampliación de las superficies forestales, dentro de los grupos de productores con disponibilidad de capital por debajo de US\$200,000 (Cuadro 23).

Cuadro 22. Modelo de finca con sistema doble propósito: ganadería, con disponibilidad de germoplasma adaptado de cultivos, prácticas de mejoramiento del suelo, opciones forestales y pago por servicios ambientales (venta de carbono) más incentivo forestal (CIF) bajo diferentes niveles de capital de operación

Disponibilidad inicial de capital		Uso de la tierra (ha)			Vacas en el final de evaluación (no.)	Generación neta de empleo (no. jornales) ^a	Valor función objetivo (x10 ³ US\$)	
Total (x 10 ³ US\$)	Por ha (US\$)	Pino caribe	Rotación pasturas - cultivos					<i>Brachiaria</i> cv. Toledo
			Rot.-1	Rot.-2				
300	600	463.4	0.0	0.0	36.6	76	717	8093
200	400	322.6	97.7	41.3	38.4	256	859	7096
100	200	179.9	179.2	98.4	42.5	412	1054	5977
50	100	97.1	238.7	117.8	46.4	528	1118	5408
25	50	45.5	285.4	119.2	49.9	657	1120	5114
10	20	14.4	313.4	120.1	52.1	675	1120	4938
5	10	4.2	322.6	120.4	52.8	693	1121	4879

a. Promedio anual. Área total disponible: 500 ha.

Los productores con menor capital de operación (US\$5000) introducirían la opción de plantaciones forestales dentro de sus planes de producción, pasando a tener en esta alternativa el 41% de la finca, 205 ha, lo que implicaría un incremento de 13% en el valor de su función objetivo (Cuadros 22 y 23).

Cuadro 23. Modelo de finca con sistema doble propósito: ganadería con disponibilidad de germoplasma adaptado de cultivos, opciones forestales, pago anticipado de servicios ambientales y aplicación de un CIF* del 50% bajo diferentes niveles de capital de operación.

Disponibilidad inicial de capital		Uso de la tierra (ha)				Vacas en el final de evaluación (no.)	Generación neta de empleo (no. jornales) ^a	Valor función objetivo (x10 ³ US\$)
Total (x 10 ³ US\$)	Por ha (US\$)	Pino caribe	Rotación pasturas - cultivos		<i>Brachiaria</i> cv. Toledo			
				Rot.-1	Rot.-2			
300	600	500.0	0.0	0.0	0.0	0	749	8730
200	400	500.0	0.0	0.0	0.0	0	749	8416
100	200	384.2	34.7	41.7	39.4	145	860	7431
50	100	277.7	65.6	110.9	45.8	214	1096	6440
25	50	231.6	79.0	152.0	37.4	220	1246	5933
10	20	211.9	84.8	183.9	19.4	193	1373	5617
5	10	205.4	86.6	194.5	13.5	184	1416	5511

a. Promedio anual. Área total disponible: 500 ha.

Impacto de los cambios tecnológicos en condiciones de baja disponibilidad de capital de operación. Se reconoce ampliamente que la falta de capital de operación es uno de los principales problemas para transformar los sistemas ganaderos extensivos predominantes en la Altillanura. Esta falta de capital en muchas oportunidades impide la adopción y la difusión de nuevas alternativas de producción; aparte de las limitaciones de infraestructura vial, de mercados y de oferta tecnológica.

En este caso se analiza la evolución de los sistemas ganaderos con disponibilidad de capital de operación en el rango entre moderado a bajo, siempre desde la perspectiva de cumplir la meta de un desarrollo regional productivo, eficiente y equitativo, es decir, que beneficie a los sectores más pobres del sector rural, pequeños productores y trabajadores del campo. Para este propósito se diseñaron diferentes escenarios tecnológicos a partir de una finca ganadera con una dotación inicial de capital muy limitada (US\$10,000; equivalentes aprox. a \$col.23 millones). La transformación del sistema de cría extensiva con baja dotación de capital inicial, desde una etapa primaria en la que depende casi exclusivamente de las

sabanas nativas hasta alcanzar una fase de alta tecnificación y diversificación, conlleva un crecimiento dramático de sus ingresos netos, como se puede observar en la Figura 7 y en el

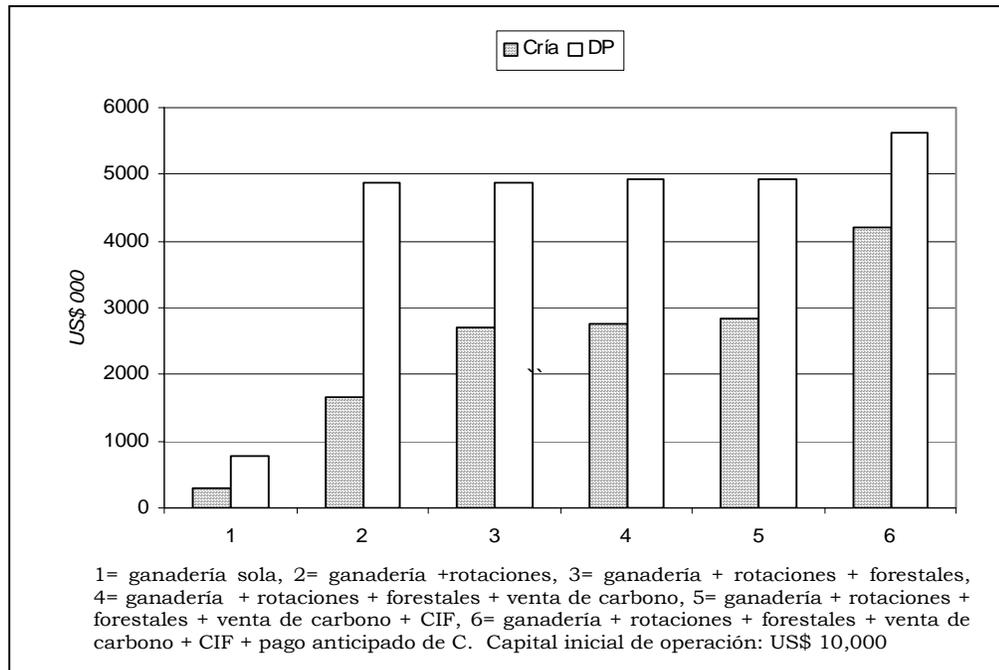


Figura 7. Evolución del ingreso neto según los niveles tecnológicos en fincas ganaderas de la Altillanura de Colombia

Cuadro 24. La adopción de tecnología no sólo permite utilizar totalmente la mano de obra familiar de la finca sino, además, generar empleo mediante el contrato de jornales adicionales para adelantar labores en la explotación.

Cuando la finca se encuentra en una fase primaria de desarrollo tecnológico y no utiliza totalmente la mano de obra propia, se ve en la necesidad de vender los jornales sobrantes para apoyar el financiamiento de las actividades programadas. Con la intensificación por la incorporación de nuevos componentes tecnológicos se incrementa la demanda por este recurso. Cuando la finca de cría en sistema extensivo adopta estrategias de mejoramiento del suelo mediante la adopción de rotaciones para construir capas arables, las ganancias en empleo se estiman en 1615 jornales/año; si la finca es de doble propósito, esas ganancias pueden superar los 1500 jornales/año.

En este nivel de capital operacional, la alternativa de sembrar árboles para producir madera y secuestrar carbono encaja fácilmente en un modelo de cría. En el doble propósito, la opción forestal sólo aparece en la solución óptima en gran escala, cuando se combinan un incentivo forestal con el pago anticipado por venta de carbono (Cuadros 24 y 25).

Cuadro 24. Evolución tecnológica de un modelo ganadero en sistema de cría con baja disponibilidad de capital en la Altillanura colombiana^a

Grado de desarrollo del sistema de producción (alternativas)	Uso de la tierra (ha)						Valor de la función objetivo		Precio sombra de la tierra	
	Pasturas solas		Rotaciones pasturas - cultivos			Forestal	(x10 ³ US\$)	Índice	US\$/ha	Índice
	Sabana nativa	<i>Brachiaria</i> Mejorada cv Toledo	Rot.-1	Rot.-2	Rot.-3					
1. Ganadería extensiva	482.2	17.8	—	—	—	—	294	100.0	155	100.0
2. Ganadería + rotación pastos y cultivos	0.0	22.3	344.8	0.0	132.9	—	1665	566.3	2863	1847.1
3. Ganadería + rotación pastos y cultivos + forestales	0.0	0.0	0.0	0.0	359.8	140.2	2704	919.7	4680	3019.4
4. Ganadería + rotación pastos y cultivos + forestales + venta de C	0.0	0.0	0.0	0.0	359.8	140.2	2750	935.4	4763	3072.9
5. Alternativa 4, con política de incentivos CIF	0.0	0.0	0.0	0.0	359.8	140.2	2847	968.4	4936	3184.5
6. Alternativa 5, con pago anticipado de servicios ambientales	0.0	0.0	9.1	0.0	254.6	236.3	4218	1434.7	6627	4275.5

a. Capital inicial de operación: US\$10,000 (\$col.23 millones)

Cuadro 25. Evolución tecnológica de un sistema ganadero de doble propósito con baja dotación de capital en la Altillanura colombiana^a.

Grado de desarrollo del sistema de producción (alternativas)	Uso de la tierra (ha)					Valor de la función objetivo		Precio sombra de la tierra	
	Pasturas solas		Rotaciones pasturas - cultivos		Forestal	(x10 ³ US\$)	Índice	US\$/ha	Índice
	Sabana nativa	<i>Brachiaria</i> Mejorada cv Toledo	Rot.1	Rot.2					
1. Ganadería extensiva	476.3	23.7	—	—	—	774	100.0	359	100.0
2. Ganadería + rotación pastos y cultivos	0.0	63.8	307.8	128.4	—	4873	629.6	9112	2538.2
3. Ganadería + rotación pastos y cultivos + forestales	0.0	53.0	320.1	117.3	9.6	4879	630.4	9070	2526.5
4. Ganadería + rotación pastos y cultivos + forestales + venta de C	0.0	52.1	310.0	122.6	15.3	4927	636.6	9150	2548.7
5. Alternativa 4, con política de incentivos CIF	0.0	52.1	313.3	120.2	14.5	4938	638.0	9141	2546.2
6. Alternativa 5, con pago anticipado de servicios ambientales	0.0	19.4	84.8	183.9	211.9	5617	725.7	9961	2774.6

a: Capital de operación de operación: US\$10,000

La intensificación del uso de la tierra como resultado de la incorporación de nuevos componentes tecnológicos a los sistemas tradicionales de producción ganadera en la Altillanura, implica la aparición de nuevos riesgos biológicos y económicos, entre ellos, la presencia de nuevas plagas y enfermedades al ampliarse las superficies cultivadas, la escasez de maquinaria e insumos agrícolas, la falta de vías de comunicación, las fluctuaciones adversas de precios de productos e insumos y los cambios climáticos bruscos e inesperados. No obstante, la intensificación y la diversificación de la producción también traen ventajas en términos de una mayor disponibilidad de opciones de producción, que permiten reducir los riesgos económicos derivados de la dependencia de una pocas alternativas de producción. Este fenómeno es más acentuado en el caso de los grupos de productores con escaso capital que trabajan con sistemas de cría. Estos grupos en la fase más primaria venden sólo carne y dependen casi exclusivamente de la producción en sabana nativa de baja productividad, especialmente durante la época seca.

En estas condiciones el 79% del ingreso se genera por venta de carne. Al cambiar el sistema a un estado tecnológicamente más avanzado se aprecia una diversificación del ingreso, llegando a una situación en la cual las ventas de productos de las cosechas y de madera generarían un alto porcentaje del ingreso bruto total (Cuadro 26).

Cuadro 26. Estructura del valor presente del ingreso según el grado de intensificación de los sistemas ganaderos en la Altillanura colombiana^a.

Actividades y productos	Sistema de producción							
	Cría				Doble propósito			
	Basado en sabana nativa		Intensificada ^b		Basado en sabana nativa		Intensificado ^b	
	VPIB ^c (x10 ³ US\$)	% del total	VPIB ^c (x10 ³ US\$)	% del total	VPIB (x10 ³ US\$)	% del total	VPIB (x10 ³ US\$)	% del total
Ganadería								
Carne	174.4	78.7	143.0	9.2	221.2	44.2	1262.1	41.7
Leche	—	—			246.4	49.3	1405.4	46.4
Cultivos	—	—	457.0	29.3	—	—	237.4	7.8
Forestales								
Madera	—	—	932.0	59.8	—	—	101.8	3.5
Venta de C			18.0	1.2	—	—	19.0	0.6
Venta de jornales	47.3	21.3	8.0	0.5	32.9	6.5	1.2	0.0
Ingreso bruto total	221.7	100.0	1558.0	100.0	500.5	100.0	3026.9	100.0

a. Capital de operación: US\$10,000.

b. Incluye pasturas mejoradas, rotaciones pastos –cultivos, forestales y venta de C.

c. VPIB: Valor presente del ingreso bruto, ej. = 5%.

Viabilidad del cambio tecnológico

La investigación científica realizada durante varios años por organizaciones nacionales e internacionales en la Altillanura colombiana ha generado nuevas opciones de pasturas, cultivos, metodologías y nuevos conocimientos científicos, que permiten establecer sistemas de producción sostenibles, competitivos y rentables.

Los trabajos de investigación en fincas y los estudios económicos de evaluación ex ante han demostrado la factibilidad técnica y económica de las nuevas alternativas. A pesar de esto, los procesos de adopción en la región aún no tienen la dinámica necesaria para lograr un impacto significativo en términos de producción, precios, empleo y productividad.

En los años 2004 y 2005 los Proyectos de Evaluación de Impacto y de Suelos del CIAT realizaron dos sondeos rápidos en Altillanura, región de Puerto López – Puerto Gaitán, con productores, asistentes técnicos e investigadores para conocer y entender el incipiente proceso de introducción de cultivos en rotaciones y prácticas de mejoramiento del suelo. Según los productores encuestados entre los problemas principales, que frenan la adopción de tecnologías mejoradas y que es necesario superar para modernizar la agricultura, se encuentran los siguientes: (1) el mal estado de las vías principales y secundarias y la ausencia de almacenes para el depósito de cosechas, que resultan en sobrecostos en términos de tiempo, fletes y eventualmente en pobre disponibilidad de insumos y maquinaria; (2) la baja oferta y dificultades para conseguir maquinaria agrícola alquilada, lo que es más crítico para los pequeños productores tanto en la etapa de siembra como en la cosecha; (3) la inestabilidad de precios en los mercados de la soya, el sorgo y el maíz, debido a períodos alternos no definidos de escasez y abundancia; (4) las dificultades ocasionada por la escasa disponibilidad, la baja calidad y los altos precios de algunos insumos críticos como semillas, enmiendas y correctivos del suelo, fertilizantes y de mantenimiento y repuestos para equipos agrícolas; (5) la falta de acompañamiento técnico para afrontar los nuevos problemas y enfermedades de los cultivos, que aparecen cuando se amplían las áreas sembradas; y (6) la ausencia de un marco de política económica y tecnológica, estable y claro, que facilite la toma de decisiones en el largo plazo. La Figura 8 representa un árbol de problemas detectados en el sondeo que limitan la adopción tecnológica en el área bajo estudio. El problema central se identifica como una lenta adopción de las tecnologías orientadas a hacer un uso más conservacionista y productivo de los suelos de la Altillanura

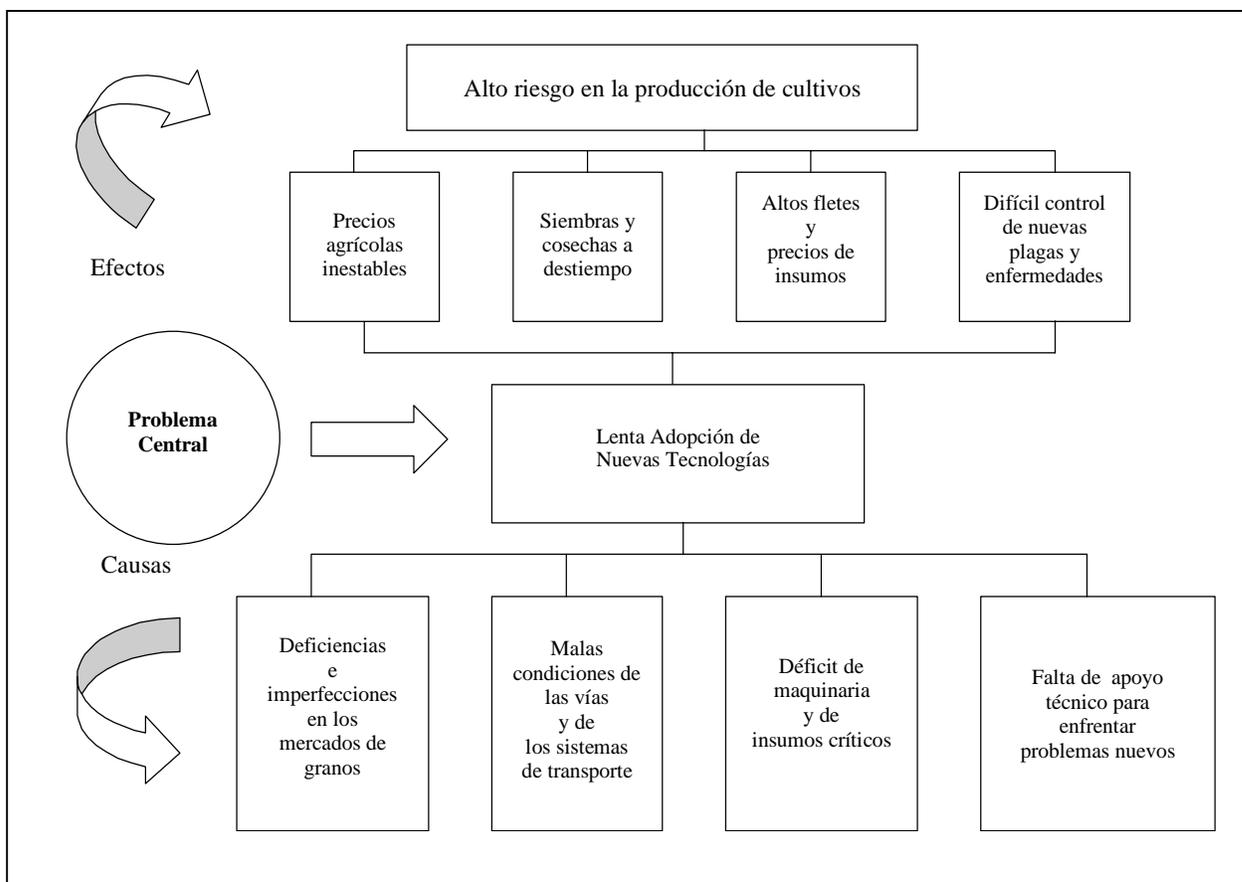


Figura 8. Árbol de problemas para la adopción de tecnologías de mejoramiento de suelos en la Altillanura de Colombia

El grupo de productores entrevistado incluye a todos los estratos de tamaño: grandes pequeños y medianos. La finca promedio se sitúa alrededor de 800-1200 has, con valores extremos de 100 y 5000 hectáreas.

En general, se trata de explotaciones con tradición ganadera, que utilizan parte de la tierra disponible para establecer rotaciones de cultivos, mejorar los suelos y finalmente establecer pasturas de mejor calidad forrajera.

Las superficies cultivadas representan una fracción que está alrededor del 25 -27% del área total de la finca. En 2004 la expectativa de los productores era la ampliación de las áreas bajo cultivo a mediano y largo plazo. En 2005 el optimismo decayó notoriamente y ahora piensan mantener estables o reducir las áreas cultivadas. En casos puntuales, se inclinarían por eliminar por completo la agricultura de sus planes de producción, argumentando problemas de comercialización, escasez de maquinaria y dificultades de transporte y de vías.

Las causas que determinan esta situación, en su mayoría son independientes del uso y manejo de la tecnología y están fuera del control de los productores. Los problemas que dificultan seriamente el uso de tecnologías conservacionistas en los Llanos colombianos, que se muestran en la Figura 8, se pueden categorizar en cuatro grupos: 1) Factores de mercado. 2) Aspectos de infraestructura vial y de transporte. 3) Maquinaria, equipos y 4) Asistencia técnica.

Los factores de mercado se relacionan con imperfecciones y falta de transparencia en los mercados de granos (arroz, soya, maíz) debido a la presencia de estructuras monoxonísticas, conformadas por pocos compradores con muy alto poder de negociación, que les permite establecer condiciones de calidad y de compra, de acuerdo con las fluctuaciones de la oferta. Esta situación genera grandes variaciones de los precios al productor, lo cual dificulta una implementación estable de las rotaciones de cultivos más apropiadas desde el punto de vista técnico.

Aparte de los acentuados y frecuentes cambios de precios, eventualmente se presentan dificultades para comercializar los productos. Este tema es crítico en el caso del denominado “arroz de sabana”, que corresponde a los cultivos de la Altillanura, que son castigados en precio y ocasionalmente enfrentan dificultades para su venta, ya que se argumenta supuesta calidad inferior, en relación con el cereal producido en el Piedemonte.

El creciente deterioro de la malla vial, tanto de las vías principales como de las carreteras de penetración, es una de las grandes dificultades para la expansión de la agricultura en la Altillanura.

Se trata de un sistema vial relativamente antiguo e inadecuado para soportar tráfico pesado. En auge de la explotación petrolera en la zona en los últimos años, aumentó el volumen de esta clase de tráfico, lo cual junto al deficiente mantenimiento vial, derivó en el colapso de la red de carreteras. Una eventual expansión de la agricultura agravaría aún más la situación.

En este entorno desfavorable la producción agropecuaria resulta riesgosa y los productores de la región perciben mayores amenazas, cuando entre en vigencia el Tratado de Libre Comercio (TLC) con los Estados Unidos, ya que consideran que la importación de granos desde ese país, deprimirá los precios domésticos con consecuencias negativas para la producción local.

No obstante, es necesario tener presente que dada la complejidad y amplitud del tratado, que afectará gran parte del aparato productivo nacional, su evaluación debe ser integral, considerando sus efectos positivos y negativos a escala sectorial, intersectorial y de actividades específicas.

En el caso de los nuevos sistemas de producción propuestos para la Altillanura se visualiza que productos como carne, leche y derivados, forestales y frutales tendrían grandes posibilidades de participar en un mercado muy amplio y de alto valor, previo el cumplimiento de exigentes requisitos de calidad, sanitarios y fitosanitarios. Este es un aspecto muy favorable para la producción regional, ya que cuenta una amplia dotación de tierras con vocación para adelantar este tipo de actividades productivas.

Posibles implicaciones del Tratado de libre Comercio (TLC)

El punto más débil de los sistemas de producción evaluados serían los cultivos semestrales, arroz, maíz y soya, indispensables para el establecimiento de las rotaciones cultivos-pastos en los procesos de construcción de capa arable. Se plantea que sus precios, al entrar en vigencia el TLC, se deprimirían debido al incremento de las importaciones.

Con el propósito de analizar los efectos de la caída de los precios de los granos sobre el uso de la tierra y especialmente sobre las áreas en rotaciones de pastos y cultivos, se construyeron escenarios alternativos donde los precios de los cultivos se reducen en una proporción que va del 10% al 50%, en sistemas productivos con diferente dotación de capital y orientación económica.

En una finca ganadera basada en la cría y con alta dotación inicial de capital de operación (US\$300,000), una reducción del precio de los cultivos por arriba del 10%, provocaría la desaparición de las rotaciones de pastos-cultivos. Esta explotación se concentraría en la producción de forestales, su base forrajera serían las pasturas naturales y su capacidad de absorción de mano de obra declinaría notablemente al igual que el precio sombra de la tierra. (Cuadro 27)

Cuando la dotación de capital de operación inicial es baja (US\$5000) y los precios de los cultivos caen, se observan dos efectos en cuanto al uso del suelo: (1) La magnitud de las superficies en rotaciones se reduciría notoriamente y el tipo de rotación cambiaría y (2) Las áreas destinadas a forestales declinarían sustancialmente.

Cuadro 27. Impacto de las reducciones de los precios de los cultivos sobre el uso de la tierra y la rentabilidad en una finca de cría en con alta disponibilidad de capital de operación en la Altillanura de Colombia^{a/}

Reducción del precio de los cultivos (%)	Uso de la tierra (ha)				Generación neta de empleo (no. jornales)	Valor de la función objetivo (X10 ³ US\$)	Precio sombra de la tierra (US\$/ha)
	Rotaciones pastos - cultivos		Pasturas	Forestales pino caribe			
	Rot.-1	Rot.-3	Sabana nativa				
Base	15.4	134.7	0.0	349.9	1182	5876	4540
-10	6.5	0.0	188.3	305.2	239	5005	398
-20	0.0	0.0	194.5	305.5	224	4999	433
-30	0.0	0.0	194.5	305.5	224	4999	433
-40	0.0	0.0	194.5	305.5	224	4999	433
-50	0.0	0.0	194.5	305.5	224	4999	433

a. Finca de 500 ha con capital inicial de operación de US\$300,000

Los efectos económicos se expresarían en una caída abrupta del ingreso neto (función objetivo) del precio sombra de la tierra y del empleo (Cuadro 28). Con los precios actuales de los cultivos, el 73% e la tierra disponible se destinaría a la rotación -3, la cual inicia y termina con agricultura. Cuando los precios caen 10%, esa rotación desaparecería y sería sustituida por la rotación -1, que incluye forrajes al inicio y al final, tal como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 28. Impacto de las reducciones de los precios de los cultivos sobre el uso de la tierra y la rentabilidad en una finca de cría con baja disponibilidad de capital de operación en la Altillanura de Colombia^{a/}

Reducción del precio de los cultivos(%)	Uso de la tierra (ha)				Generación neta de empleo (no. jornales)	Valor de la función objetivo (X10 ³ US\$)	Precio sombra de la tierra (US\$/ha)	
	Rotaciones pasturas -cultivos		Pasturas	Forestales pino caribe				
	Rot.-1	Rot.-2	Rot.-3	Sabana nativa				
Base	0.0	0.0	367.0	0.0	133.0	1991	2655	4763.0
-10	104.4	3.4	0.0	384.0	8.2	-258	542	7.8
-20	30.2	0.0	0.0	426.1	8.3	-468	417	0.0
-30	15.8	0.0	0.0	476.1	8.1	-492	388	55.6
-40	8.2	0.0	0.0	483.7	8.1	-510	377	92.3
-50	5.0	0.0	0.0	486.9	8.1	-518	371	128.0

a. Finca de 500 ha con capital inicial de operación de US\$5,000

El sistema pasaría a ser más extensivo basándose en la sabana nativa como fuente principal de forraje y las áreas destinadas a forestales se contraerían notoriamente. Lo anterior indica que en las fincas con baja disponibilidad de capital de operación los flujos de efectivo que aportan semestralmente los cultivos ayudarían a financiar actividades de tardío rendimiento como las forestales.

En los modelos de finca con orientación a la producción ganadera de doble propósito el impacto de la reducción de los precios de los cultivos es menos traumático. Si se cuenta con alta disponibilidad de capital, la caída de los precios de los granos induce una leve contracción de las superficies en bosques y el sistema enfatiza en la rotación -1, que como ya se explicó tiene un fuerte componente de pasturas (Cuadro 29).

Cuadro 29. Impacto de las reducciones de los precios de los cultivos sobre el uso de la tierra y la rentabilidad en una finca doble propósito con alta disponibilidad de capital de operación en la Altiplanura de Colombia^{a/}

Reducción del precio de los cultivos (%)	Uso de la tierra (ha)			Forestales pino caribe	Generación neta de empleo (no. jornales)	Valor de la función objetivo (X10 ³ US\$)	Precio sombra de la tierra (US\$/ha)
	Rotaciones pasturas - cultivos		Pasturas				
	Rot.-1	Rot.- 2	Brachiaria cv. Toledo				
Base	37.8	0.6	47.5	414.1	709	7851	9274
-10	38.8	0.0	53.6	407.6	702	7824	8578
-20	39.6	0.0	57.0	403.4	699	7796	7816
-30	40.5	0.0	58.4	401.1	698	7767	7033
-40	42.0	0.0	60.4	397.6	696	7734	5542
-50	44.3	0.0	66.0	389.7	691	7693	3641

a/Finca de 5000 ha con capital inicial de operación de US\$300,000

Cabe anotar que en ésta situación, las reducciones de precios de los cultivos por encima de 10%, generarían ingresos netos de los mismos negativos, pero esa rotación en su conjunto sigue siendo económicamente viable debido a su componente forrajero.

Cuando el sistema ganadero dual cuenta con escaso capital de operación y bajan los precios de los cultivos se observan varios efectos: (1) Crecerían las áreas en pastos naturales y declinarían las pasturas mejoradas. (2) Las rotaciones pastos-cultivos se reducirían pero no desaparecerían (Cuadro 30).

Al igual que en la situación de alta disponibilidad de capital, las bajas de los precios por encima del 10% generarían ingresos netos de los cultivos negativos, pero la rotación -1 en conjunto continuaría siendo viable. El anterior análisis sin embargo es muy parcial,

considerando que se espera que el TLC a mediano y largo plazo induzca un proceso de transformación productiva que implique relocalización geográfica de la producción nacional, reasignación de recursos productivos, cambios en los precios relativos de productos, insumos y servicios, que a la larga modificarán las estructuras actuales de costos de producción del país.

Algunos equipos e insumos de producción importados tenderán a bajar y también los precios de compra y alquiler de tierras, ya que en muchas zonas de Colombia éstos tienen un valor especulativo muy alto, que no corresponde a sus reales niveles de productividad. En los escenarios planteados anteriormente la caída de los precios de los cultivos reduce considerablemente los precios sombra de la tierra, lo cual evidencia que la demanda por este el factor de producción declinaría y en consecuencia sus precios de mercado.

Por lo anterior una evaluación más precisa del posible impacto del TLC debe considerar los cambios en el nivel y estructura de los costos de producción agropecuaria en Colombia.

Cuadro 30. Impacto de las reducciones de los precios de los cultivos sobre el uso de la tierra y la rentabilidad en una finca doble propósito con baja disponibilidad de capital en la Altillanura de Colombia^{a/}

Reducción del precio de los cultivos (%)	Uso de la tierra (ha)					Generación neta de empleo (no. jornales)	Valor de la función objetivo (X10 ³ US\$)	Precio sombra de la tierra (US\$/ha)
	Rotaciones pasturas - cultivos		Pasturas		Forestales pino caribe			
	Rot.-1	Rot.-2	Sabana nativa	Brachiaria cv. Toledo				
Base	321.7	121.1	0.0	52.8	4.4	1123	4876	9150
-10	424.7	73.1	0.0	2.2	0.0	999	3045	2541
-20	136.8	0.0	353.8	9.4	0.0	-72	1338	670
-30	91.3	0.0	399.3	9.4	0.0	-178	1107	552
-40	65.0	0.0	425.6	9.4	0.0	-238	974	486
-50	54.6	0.0	435.4	10.0	0.0	-261	888	445

a: Finca de 500 ha con capital inicial de operación de US\$5,000

Para atenuar los posibles efectos negativos del TLC sobre la producción agropecuaria nacional en el corto plazo, el tratado contempla diversas herramientas de protección: cronogramas largos de desgravación, mecanismos de salvaguardia, aranceles base, períodos de gracia. En el caso del arroz se incluye un período de desgravación de 19 años, que el gobierno considera prudente para ajustar su aparato productivo a un ambiente más

competitivo. El Ministerio de Agricultura ha ofrecido respaldo a los sectores agrícolas afectados, en términos de recursos financieros (\$500 mil millones/año) y acuerdos de cadena para la compra de cosechas, particularmente en el caso del maíz.

Las ayudas financieras serán de tres tipos: (1) Ayudas directas por montos totales que podrían estar entre 300 y 350 mil millones de pesos por año, (2) Cupos de crédito y (3) Programas de apoyo para problemas específicos como la fiebre porcina o New Castle en avicultura. Los apoyos directos serán por hectárea para aquellos productores no competitivos y que deben reconvertir sus sistemas de producción y por tonelada producida, para quienes tienen aceptables niveles de productividad pero deben enfrentar la producción subsidiada de los Estados Unidos.

En avicultura un sector muy sensible de cuyo desempeño depende la demanda de granos para concentrados, se negoció un cupo de importación de 26 mil toneladas anuales de pollo, con un incremento por año de 4.5%, un período de desgravación de 18 años, uno de gracia de 5 años, salvaguardias y una cláusula de revisión a mitad del proceso de desgravación (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2006). Adicionalmente se plantea que los contingentes de importación que se tienen para la avicultura y el maíz, se subastarán y el 50% de las rentas de esas subastas se canalizarán hacia esos productores. En el Cuadro 31 se resume la situación actual en los sectores de granos y avícola en términos de producción, productividad, comercio e implicaciones del TLC.

Pero así como el TLC representa riesgos y amenazas, también ofrece oportunidades para el país. Es importante enfrentar la situación con pragmatismo, considerando que el proceso de globalización es un fenómeno universal del que el país no puede sustraerse, pero si participar tratando de maximizar los beneficios de la liberación comercial y de minimizar sus efectos negativos.

La historia reciente muestra que la base del crecimiento de muchos países en desarrollo ha sido el comercio, que les ha permitido modernizar sus aparatos productivos y sacar mejor provecho de sus recursos naturales y de sus ventajas competitivas (China, Tailandia, Chile, etc.)

Cuadro 31 Panorama actual de los sectores de granos, avícola y bovino en Colombia e implicaciones del TLC^a

Actividades	Producción (X10 ³ tm.)	Área (X10 ³ ha)	Rendimiento (Kg/ha)	Importaciones Netas (X10 ³ tm)	Implicaciones del TLC
Arroz	2720.9	511.2	5322	7	<ul style="list-style-type: none"> • Contingente anual: 79 mil toneladas. • Período de desgravación: 19 años. • Período de gracia de 6 años. • Salvaguardia especial de cantidad durante el periodo de desgravación • Apoyo financiero interno para el cultivo
Maíz	1398.7	614.5	2276	1908	<ul style="list-style-type: none"> • Contingente: 2 millones de tm. de maíz amarillo. Tasa de crecimiento anual del contingente: 5%^{b/} • Cantidades adicionales con arancel base de 25%. • Período de desgravación: 12 años. • Cuota de importación de maíz blanco: 130 mil tm/año. Tasa de ajuste anual: 5% • No se acordaron salvaguardias • Esquema de apoyo a la producción con pagos por tonelada para maíz amarillo y por hectárea para maíz blanco.
Soya	68.2	34.3	1988	407	<ul style="list-style-type: none"> • Contingente: 900 mil toneladas de soya y de torta de soya
Avicultura (carne)	685	-	-	0	<ul style="list-style-type: none"> • Contingente: 26 mil toneladas de cuartos traseros frescos o sazonados • Ajuste: 4% anual. • Período de desgravación 18 años. • Período de gracia de 5 años para los productos frescos y de 10 para los cuartos sazonados • Arancel base: 164% para los cuartos frescos y de 70% para los sazonados • Salvaguardia de cantidad con un disparador de 130% Participación de los productores en las ganancias de la subasta del contingente sin aranceles
Carne bovina	730.0 ^c	-	-	-12.4	<ul style="list-style-type: none"> • Contingente: 60 mil tm/año de carne fresca • Cuota preferencial de exportación de 5000 tm/año de carne industrializada. • Se negocia la desgravación de carnes finas. • En Mayo/2006 inicio de gestiones entre agencias encargadas de aspectos sanitarios para abordar temas pendientes
Lácteos	6700 ^d	-	-	-11.9 ^e	<ul style="list-style-type: none"> • Cuota de acceso preferencial de productos lácteos: 9000 tm/año quesos: 4600/tm mantequilla: 2000 tm otros lácteos: 2000 tm

a. Cifras de 2004 de FAO

b. Demanda interna crece al 7%/año.

c. Carne en canal d. Leche fresca

e. Leche en polvo Fuente: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2006

En el caso de los nuevos sistemas de producción propuestos para la Altillanura algunos de sus componentes productivos como ganadería, forestales y frutales tendrían mejores chances dentro de este acuerdo bilateral, en tanto los cultivos semestrales de granos, estarían bajo riesgo. Sin embargo, es de esperar las medidas económicas compensatorias dentro de la llamada Agenda Interna que plantea el gobierno, ayuden a mantener la viabilidad de los cultivos en la región, ya que son esenciales para mejorar la productividad y la base de recursos de tierras.

Un elemento clave para mantener sostenibilidad y competitividad de la producción agropecuaria regional es el progreso técnico que permita elevar la productividad de los cultivos y que ayude a mitigar los efectos nocivos de la reducción de sus precios. En este tema la inversión en ciencia y tecnología, es claramente un componente estratégico para el avance del sector agropecuario regional. Para analizar el impacto del cambio técnico, se elaboró un escenario que incluye una reducción de precios de los cultivos de un 10% y simultáneamente incrementos alternativos de sus rendimientos de 10, 20 y 30%, en situaciones contrastantes de baja y alta disponibilidad de capital de operación en la finca.

El Cuadro 32 muestra la situación de una finca ganadera de cría con alta disponibilidad de capital (US\$ 300,000) que afronta una reducción de los precios de los cultivos de 10%. Si los rendimientos de éstos permanecieran constantes, el área en rotaciones pastos-cultivos caería abruptamente y el sistema pasaría a depender de las pasturas nativas para la alimentación animal. Las superficies de bosque se reducirían moderadamente y el ingreso de la finca caería 12%. Pero si frente a la baja de los precios la productividad crece 10%, se lograría recuperar el nivel de las áreas en rotaciones y el ingreso de la finca alcanzaría un valor cercano al que tenía antes de la baja de los precios. Las alzas de la productividad de los cultivos por encima de 20% mejorarían considerablemente la situación económica de la finca.

Cuando la explotación ganadera cuenta con poco capital inicial de operación, (US\$ 5000) una reducción de los precios de los cultivos, permaneciendo sus rendimientos constantes, provocaría que una fracción muy grande del área disponible (77%) se reconvirtiera a pasturas nativas, las superficies forestales pasarían a ser poco significativas y el ingreso se reduciría a una quinta parte del logrado antes de la caída de los precios. En éstas circunstancias, el incremento de la productividad de los cultivos tendría un significativo y claro impacto sobre el uso del suelo, con un aumento de las superficies sembradas en rotaciones y forestales, que deriva en un crecimiento importante del ingreso (Cuadro 33).

Cuadro 32. Impacto de la reducción de los precios de los cultivos y del incremento de su productividad. sobre el uso de la tierra y el ingreso en una finca ganadera de cría con alta disponibilidad de capital^a

Incremento de la productividad (%)	Uso de la tierra (ha)			Ingreso neto US\$ 000	
	Rotaciones pastos – cultivos		Pasturas sabana nativa		Forestales pino caribe
	Rotación -1	Rotación -3			
Base	15.4	134.7	0.0	349.9	5676
0	6.5	0.0	188.3	305.2	5005
+10	41.1	121.7	0.0	337.2	5716
+20	0.0	107.3	0.0	392.7	6610
+30	0.0	81.5	0.0	418.5	7078

a. Finca de 500 ha con disponibilidad inicial de capital de US\$ 300,000. Los precios de los cultivos se reducen 10%.

Cuadro 33. Impacto de la reducción de los precios de los cultivos y del incremento de su productividad. sobre el uso de la tierra y el ingreso en una finca ganadera de cría con baja disponibilidad de capital^a

Incremento de la productividad (%)	Uso de la tierra (ha)			Ingreso neto US\$ 000		
	Rotaciones pastos – cultivos		Pasturas sabana nativa		Forestales pino caribe	
	Rot. -1	Rot. -2				Rot. -3
	Base	0.0	0.0		367.0	0.0
0	104.4	3.4	0.0	384.0	8.2	542
+10	0.0	0.0	377.7	0.0	122.3	2378
+20	0.0	0.0	312.3	0.0	187.7	4082
+30	0.0	0.0	81.5	0.0	418.5	5259

a. Finca de 500 ha con disponibilidad inicial de capital de US\$ 5,000. Los precios de los cultivos se reducen 10%.

En el modelo de finca ganadera doble propósito con alta dotación de capital, (US\$300,000) los cambios de precios y de productividad de los cultivos, no tendrían gran influencia sobre el uso de la tierra. Dada su alta disponibilidad de capital el modelo tiende a concentrarse en los forestales, 83% del área disponible, pasando las otras actividades productivas a tener un rol marginal (Cuadro 34).

Cuadro 34. Impacto de la reducción de los precios de los cultivos y del incremento de su productividad, sobre el uso de la tierra y el ingreso en una finca ganadera doble propósito con alta disponibilidad de capital^a

Incremento de la productividad (%)	Uso de la tierra (ha)				Ingreso neto US\$ 000
	Rotaciones pastos – cultivos		Pasturas Brachiaria mejorada cv. Toledo	Forestales pino caribe	
	Rotación -1	Rotación -2			
Base	37.8	0.6	47.5	414.1	7851
0	38.8	0.0	53.6	407.6	7824
+10	38.4	0.0	48.6	413.0	7848
+20	23.1	0.0	77.7	399.2	7944
+30	28.4	0.0	3.7	467.9	8027

a. Finca de 500 ha con disponibilidad inicial de capital de US\$ 300,000. Los precios de los cultivos se reducen 10%.

Una situación diferente se observa cuando este modelo tiene poco capital inicial de operación (US 5000). Como ya sea anotó, los cultivos juegan un papel importante en la economía de la finca cuando dispone de poco capital, ya que ellos generan un flujo continuo de ingresos inyectándole liquidez al sistema. En la situación inicial (base) el uso del suelo se concentra en las rotaciones pastos-cultivos, 88% del área disponible (Cuadro 35). La reducción de 10% en los precios de los cultivos cambia la composición del área en rotaciones. La rotación -2, que incluye cultivos al empezar y terminar, se reduce en 40% y se expande la rotación -1 que solo incluye cultivos en su fase intermedia. En éste escenario los bosques sembrados desaparecen y las pasturas en monocultivo alcanzan magnitudes poco significativas (Cuadro 35). Se puede observar que el avance de la productividad de los cultivos para hacer frente al deterioro de sus precios tiene claras implicaciones sobre el uso de la tierra y la generación de ingresos. Cuando el rendimiento por hectárea de los cultivos crece un 20% o más, el modelo incluye en la solución óptima áreas forestales a escalas significativas (Cuadro 35)

Cuadro 35. Impacto de la reducción de los precios de los cultivos y del incremento de su productividad. sobre el uso de la tierra y el ingreso en una finca ganadera doble propósito con baja disponibilidad de capital^a

Incremento de la productividad (%)	Uso de la tierra (ha)				Ingreso neto US\$ 000
	Rotaciones pastos – cultivos		Pasturas Brachiaria mejorada cv. Toledo	Forestales pino caribe	
	Rotación -1	Rotación -2			
Base	321.7	121.1	52.8	4.4	4876
0	424.7	73.1	2.2	0.0	3045
+10	310.1	135.1	54.8	0.0	4749
+20	0.0	306.7	104.4	88.9	6009
+30	0.0	262.0	0.0	238.0	6924

a. Finca de 500 ha con disponibilidad inicial de* capital de US\$ 5,000. Los precios de los cultivos se reducen 10%.

Otro reto importante que para la investigación agropecuaria en los Llanos colombianos en los próximos años, es el desarrollo de nuevas opciones de cultivos adaptados y de alta productividad, alternativos para el maíz, el arroz y la soya, que sean apropiados para establecer rotaciones con los pastos y cuyos mercados sean más estables y menos riesgosos en términos de precios.

Como ya se ha planteado, la expansión productiva en la Altillanura no depende exclusivamente de factores tecnológicos de producción. Para aprovechar las ventajas de la liberación comercial es crítico afrontar el proceso con una visión integral de desarrollo, que implica la formulación de proyectos integrales, que contemplen aparte de los aspectos técnicos de la producción agropecuaria, la creación de la infraestructura vial, de transporte y almacenamiento, la formación del recurso humano idóneo, la provisión adecuada y oportuna de insumos críticos como semillas de alta calidad y maquinaria, la disponibilidad de recursos financieros para los nuevos emprendimientos, el apoyo y acompañamiento técnico necesario, que provea soluciones eficaces y oportunas a los problemas que aparecen cuando se amplían las superficies cultivadas. También se requiere apoyo para que los productores puedan dar cumplimiento a las estrictas normas de calidad, sanidad e inocuidad que impone el mercado externo. Una agricultura diversificada y eficiente permitiría a Colombia aprovechar de mejor manera su base de recursos naturales y humanos. El gran desafío para el país en las próximas décadas es elevar sustancialmente su ritmo de crecimiento económico, la Altillanura y los Llanos colombianos en general, podrían ser claves para el cumplimiento de éste propósito. Es imperativo garantizar que los frutos de la modernidad lleguen también a los grupos sociales más pobres, dentro de un contexto de eficiencia, sostenibilidad y equidad.

Conclusiones

- Los nuevos productos tecnológicos resultantes de la investigación científica realizada en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia por instituciones nacionales e internacionales, brindan la oportunidad de implementar nuevos esquemas de producción agrícola y pecuaria rentables y sostenibles en el tiempo.
- El sistema ganadero tradicional en la región basado en la utilización de pasturas nativas como fuente de forraje genera índices de productividad y rentabilidad que hacen difícil su supervivencia en un mundo globalizado en cual la eficiencia, la rentabilidad y la sostenibilidad marcan la pauta para acceder y consolidarse en mercados abiertos y altamente competitivos.
- La Altillanura oriental de Colombia brinda un gran espacio geográfico con alto potencial productivo que debe ser utilizado estratégicamente para conservar los recursos de tierra, caracterizados por la fragilidad de sus propiedades físicas y la baja fertilidad natural.
- Las simulaciones de varios escenarios tecnológicos efectuadas en este estudio, muestran que la incorporación de nuevos componentes a los sistemas ganaderos actuales constituye una poderosa herramienta para dinamizar la agricultura regional, al tiempo que se mejora la capacidad productiva de los suelos.
- Las rotaciones de pasturas-cultivos, dentro de una estrategia de formación de capas arables, mejoran significativamente el desempeño productivo de los sistemas ganaderos actuales en términos de rentabilidad, productividad y flujo de efectivo. La producción sostenible y rentable de cultivos en esta región de Colombia sólo es posible si previamente se desarrolla un proceso de mejoramiento gradual de los suelos, que permita mantener la productividad de los cultivos. Las experiencias anteriores muestran que la producción agrícola bajo el sistema de monocultivo continuo resulta en un acelerado deterioro de los suelos y en un rotundo fracaso económico para los agricultores.
- Los sondeos para monitorear los procesos de producción agrícola bajo un esquema conservacionista en la Altillanura, muestran que debido a las experiencias negativas en el pasado los productores están creando conciencia de la necesidad de mejorar los suelos de sus fincas antes de establecer cultivos más productivos y pasturas de mejor calidad.
- El sistema de cría de vacunos en comparación con el sistema doble propósito, representa un escalón de desarrollo tecnológico inferior, por tanto, la incorporación de

nuevos elementos tecnológicos a ese sistema ganadero tienen un impacto proporcional de mayor magnitud.

- En los escenarios evaluados, la dotación de capital de operación determina en alto grado la capacidad de los sistemas de incorporar los nuevos adelantos tecnológicos. Cuando el sistema se encuentra en un estadio muy primario de desarrollo, dependiendo solo de pasturas en monocultivo y dedicado exclusivamente a la ganadería, la baja dotación de capital obliga a un uso extensivo de la sabana nativa.
- En los grupos de agricultores con mayores limitaciones de capital, la introducción de las rotaciones de pasturas con cultivos incrementa los flujos de efectivo en la finca y posibilita un mayor uso de pasturas mejoradas, bien sea en monocultivos o como parte de las rotaciones. En este nuevo escenario la pastura nativa, un forraje de baja calidad y costo, pierde competitividad para ser usada como única fuente alimentación para el ganado. No obstante, en este estudio es un recurso forrajero que no desaparece de los sistemas de producción, ya que pasa a formar parte de la rotación-1 que incrementa sustancialmente sus áreas cuando la disponibilidad de capital se reduce.
- El mejoramiento progresivo de la capacidad productiva de los suelos se manifiesta tanto en mayor productividad y rentabilidad como en la valorización en el largo plazo de este activo fijo. Su precio sombra crece muy rápidamente a medida que avanza el proceso de intensificación de las explotaciones.
- La reforestación para producción de madera y venta de carbono tiene mayores posibilidades de adopción en las explotaciones de cría con bajos recursos financieros, que en las de doble propósito en condiciones similares. El ejercicio de simulación mostró que la plantación de árboles entra en la solución óptima en sistemas de cría, sin importar el nivel de capital inicial disponible.
- Por ubicación geográfica de las explotaciones dedicadas a la cría de vacunos y por sus características marginales con débil conexión a los mercados, la producción maderera tiene una buena posibilidad en la medida en que existan vías y medios de transporte y la infraestructura adecuada de manejo y procesamiento de productos forestales. No obstante, no se puede olvidar que se trata de inversiones de largo plazo que limitan el flujo de efectivo de la finca, lo cual condiciona su adopción para los productores con menores recursos.
- Los precios actuales en el mercado internacional del carbono son bajos y esa tendencia se espera que continúe en los próximos 5 a 6 años. Esta circunstancia determina, en parte, que la venta del carbono secuestrado por los árboles y las

pasturas no represente un ingreso significativo en la economía de la finca y tenga muy bajo impacto en el uso de la tierra.

- Un aspecto relevante de la intensificación de los sistemas productivos es el incremento de la capacidad de generación de empleo y su contribución al logro de las metas sociales de equidad y reducción de la pobreza, lo cual contrasta con los sistemas tradicionales que tienen una baja demanda por mano de obra.
- El avance tecnológico permite incrementar de forma significativa el ingreso neto recibido por los productores, especialmente de aquellos ubicados en el estrato con menor disponibilidad de capital. En el sistema de cría de ganado tradicional, la implementación de rotaciones pasturas-cultivos casi duplicaría el ingreso de las fincas con alta disponibilidad de capital y lo multiplicaría por seis en las de los productores con menores recursos, un comportamiento similar se puede apreciar cuando se trata de explotaciones basadas en el sistema ganadero de doble propósito. La producción de cultivos es muy favorable para los productores más pobres, ya que inyecta un flujo de caja en el corto plazo que ayuda al financiamiento de la explotación.
- Las políticas de fomento forestal del tipo CIF tienen un mayor impacto en las unidades de producción con mejor disponibilidad de capital de operación, ya que les permite ampliar las áreas forestales. Cuando los capitales se sitúan por debajo de US\$25,000 el impacto es prácticamente nulo.
- La combinación de los CIF con esquemas de pago anticipado por secuestro de carbono estimula la expansión forestal en los sistemas de cría, llegando al caso límite en las fincas con mayor capital, que destinarían toda el área disponible a esta actividad.
- En los sistemas doble propósito el efecto combinado de los CIF y el pago anticipado del carbono permitiría a los grupos de menores recursos económicos emprender actividades forestales a escalas importantes.
- La transformación de los sistemas productivos de la Altillanura conlleva nuevos riesgos técnicos y económicos por la presencia de nuevas plagas y enfermedades; la escasez de insumos críticos como maquinaria, transporte, semillas y fertilizantes; las fluctuaciones adversas de los precios de los productos e insumos; las dificultades y la falta de conocimiento para utilizar correctamente las nuevas técnicas.
- Por otra parte, la diversificación de la producción ayuda a reducir los riesgos ya que aumenta las fuentes de generación de ingresos, reduciendo la dependencia de unas pocas actividades productivas. El ejercicio de simulación mostró que en el sistema de cría los efectos de la diversificación son más acentuados; así, en una finca con este sistema, bajo los patrones de producción tradicional y con baja disponibilidad de capital, casi el 80% del ingreso bruto provendría de la venta de carne. No obstante,

cuando se mejora el nivel tecnológico los cultivos y las ventas de madera representarían una fracción muy alta del ingreso bruto total mientras que la venta de carne, jornales y carbono contribuirían de una forma moderada a la generación de ingresos.

- Desde la perspectiva técnica y económica, la transformación productiva de los sistemas agropecuarios de la Altillanura resulta promisorio y factible, sin embargo, existen muchos factores, la mayoría externos a la finca y fuera del control de los productores, que pueden bloquear el proceso de cambio técnico.
- La deficiente infraestructura de vías que dificulta el transporte de maquinaria, insumos y productos y encarece los fletes, es uno de los principales obstáculos que enfrentan los productores de la región. La escasez de maquinaria y las dificultades para obtenerla en arriendo en las fases críticas de siembra y cosecha constituyen un claro elemento de riesgo, en especial para los pequeños productores ubicados en las zonas más retiradas y/o con problemas vías de comunicación.
- Si bien los cultivos inyectan un flujo de efectivo que permite financiar otras actividades como la siembra de pasturas o árboles, también es cierto que están sujetos a bruscas oscilaciones de sus precios lo cual dificulta el mantenimiento de planes rigurosos de rotación de cultivos. Cuando las expectativas de precios de un determinado cultivo son altas, los productores siembran este cultivo; a pesar de haberlo hecho en el mismo lote en el semestre anterior.
- Se observa una estructura monoxonística en algunos mercados agrícolas regionales, en donde unos pocos compradores imponen precios y normas de calidad, que varían según el grado de abastecimiento del mercado.
- Si se quiere impulsar un proceso productivo que incluya cultivos en los planes de producción, es necesario diseñar políticas económicas estabilizadoras de los mercados, que minimicen sus fluctuaciones bruscas y den a los productores señales estables y claras para la toma de decisiones de largo plazo.
- Los resultados obtenidos no muestran un impacto significativo en términos de ingreso por la venta de carbono. Es necesario considerar que la premisa central de quienes impulsan proyectos basados en mecanismos de desarrollo limpio consiste en que el ingreso por venta de los servicios ambientales sea marginal al proyecto propuesto y que éste, por sí mismo, independiente de la venta de servicios ambientales, debe ser rentable.
- Es claro que las tecnologías conservacionistas para ser adoptadas deben ser costeables y rentables, sin olvidar que su mayor impacto debe ser a escala macro y beneficiar a toda la comunidad mundial en términos de clima, biodiversidad, recursos

hídricos y en general conservación y mejoramiento de la base de recursos naturales, con el fin de justificar la implementación de políticas públicas para fomentar esta clase de proyectos.

- En el entorno actual la producción agrícola en la Altillanura resulta riesgosa y muchos productores perciben que el riesgo se incrementará al entrar en vigencia el tratado de libre comercio con los Estados Unidos (TLC), sin embargo es preciso considerar que el comercio bilateral también representa nuevas oportunidades para la agricultura regional.
- Algunos productos como carne, leche y derivados lácteos, forestales y frutales tendrían buenas oportunidades en el mercado externo, previo cumplimiento de exigentes requisitos, de calidad, fitosanitarios, sanitarios y de inocuidad.
- Los cultivos aparecen como el eslabón más vulnerable dentro de los nuevos esquemas de producción. El ejercicio de sensibilidad indica que en un escenario donde los precios de los cultivos declinen más de 10% con respecto a su nivel actual, la agricultura generaría ingresos netos negativos. A pesar de esto, la rotación¹ (sabana nativa –cultivos– pasto mejorado) continuaría haciendo parte de la solución óptima dado su fuerte énfasis en ganadería.
- La investigación en los cultivos actuales para mejorar sus rendimientos y la búsqueda de nuevas opciones de cultivos adaptados y de alta productividad para establecer rotaciones con los pastos, emergen como alternativas para enfrentar los riesgos económicos de precios y los retos del TLC.
- En un nuevo entorno de desarrollo integral con fuerte apoyo estatal para creación de infraestructura física y social, apoyo compensatorio, técnico y financiero a las actividades agrícolas afectadas negativamente por el TLC, es de esperar que los cultivos de granos continúen siendo económicamente viables y rentables en la Altillanura colombiana.

Agradecimientos

A Rubén Darío Estrada y Marcela Quintero del Proyecto Cuencas Andinas CIAT-Condesan por el apoyo técnico y metodológico. A Guido Gasca y Mauricio Rivas de Refocosta por la información suministrada para el análisis de las actividades forestales. A Marco Rondón y Edgar Amézquita del Proyecto de Suelos del CIAT y Luís Horacio Franco, Patricia Avila y Belisario Hincapié del Proyecto de Forrajes del CIAT por su valiosa información técnica.

Referencias

- Amézquita, E.; Hoyos, Ph.; y Molina, D. L. 2004. Estrategias para la construcción de capas arables productivas en los suelos de la Altillanura colombiana. Cali, Colombia. Informe final CIAT-Pronatta, (manuscrito).
- Amézquita, E.; Thomas, R. J.; Rao, I. M.; Molina, D. L.; y Hoyos, Ph. 2001. The influence of pastures on soil physical characteristics of an Oxisol in the Eastern Plains (Llanos Orientales) of Colombia. *Agric. Ecosys. Environ.* (in review).
- Amézquita, E.; Rao, I. M.; Molina, D. L.; Phiri, S.; Lal, R.; y Thomas, R. J. 2000. Constructing an arable layer: key issue for sustainable agriculture in tropical savanna soils. 15th Conference of the International Soil Tillage Research Organization (ISTRO) Tillage at the Threshold of the 21st Century: Looking Ahead. Fort Worth, Texas, E.U. Julio 2-7.
- Arias J. H.; Balcázar, Á. y Hurtado, R. 1990. Sistemas de producción bovina en Colombia. Bogota, Colombia. Enero. Coyuntura Agropec. 6(4).
- Cadavid, H. J. 1995. Comportamiento y limitantes de la adopción de pastos y de cultivos asociados en los Llanos Orientales de Colombia. Universidad del Valle, Cali, Colombia. Facultad de Ciencias Sociales y Económicas, Tesis Msc. en Economía Aplicada. 156 p.
- Holmann, F.; Rivas, L.; Carulla, J.; Rivera, B.; Giraldo, L. A.; Guzmán, S.; Martínez, M.; Medina, A.; y Farrow, A. 2004. Producción de leche y su relación con los mercados: Caso Colombiano. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)-Consortio Tropileche-Internacional Livestock Research Institute. (ILRI). Documento de Trabajo no. 193, CIAT, Cali, Colombia. 74 p.
- Honty, G. 2005. Las plantaciones forestales como sumideros de carbono: Mas amenazas que beneficios. On line: <http://www.ambiental.net/opinion/Honty> Plantaciones Forestales Evaluación.htm
- Lasso, M. A. 2005. ¿Campeones en el Mercado del Carbono? Reportaje. Directora Editorial, Tierraamérica. <http://tierraamerica.net/2004/1120/articulo.shtml>
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 2004. El Renacimiento de La Orinoquía Alta de Colombia: Un Megaproyecto para el Mundo. Bogotá. Colombia. Septiembre.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2006. TLC Principales Logros. Oficina de Comunicaciones, Santafé de Bogotá. D.C.
- Pérez, R. 1982. Evaluación de pastos para suelos ácidos bajo pastoreo. En: Tercera Reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Resultados 1882-1985. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Vol. 2. p. 119-124.
- Quintero. L. E.; Acevedo, X.; y Rodríguez, R. 2004. Costos de producción de maíz amarillo tecnificado en Colombia. Observatorio de Agrocadenas de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Documento de Trabajo no. 48. <http://www.agrocadenas.gov.co>. Bogotá, Colombia. Mayo.

- Quintero, L. E.; Acevedo, X.; y Salazar, M. 2004. Costos de producción de bienes agrícolas en Colombia. Observatorio de Agrocadenas de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Documento de Trabajo no. 39 <http://www.agrocadenas.gov.co> Bogotá, Colombia. Mayo.
- Quintero, M. y Estrada, R. 2004. Modelo de optimización para evaluación ex ante de alternativas productivas. CIAT-Condesan, Proyecto Cuencas Andinas. CIAT, Cali, Colombia, (Manuscrito).
- Quintero, L. E.; Acevedo, X.; y Salazar, M. 2004. Costos de producción de soya en Colombia. Observatorio de Agrocadenas de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Documento de Trabajo no. 42 <http://www.agrocadenas.gov.co> Bogotá, Colombia. Abril.
- Quintero, L. E.; Acevedo, X.; y Salazar, M. 2004. Costos de Producción de arroz en Colombia. Observatorio de Agrocadenas de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Documento de Trabajo no. 41 <http://www.agrocadenas.gov.co> Bogotá, Colombia. Febrero.
- Rivas, L.; Hoyos, Ph.; Amézquita, E.; y Molina, D. L. 2004. Manejo y uso de los suelos de la Altillanura colombiana: Análisis económico de una estrategia para su conservación y mejoramiento, construcción de la capa arable. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Proyecto de Evaluación de Impacto y Proyecto de Suelos (Manuscrito).
- Rivas, L. 1992. El Sistema ganadero de doble propósito en América tropical. Evolución, perspectivas y oportunidades. En: Memorias del Simposium Internacional sobre Alternativas y Estrategias en Producción Animal. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. Abril.
- Sánchez, P. A. y Salinas, J. G. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. *Adv. Agron.* 34:279-404.
- Seré, C. y Pearson de Vaccaro, L. 1986. Milk production from dual-purpose systems in Tropical Latin America. En: Smith A. J. (ed.). *Milk production in developing countries.* Univ. Edinburgh, Escocia. p. 459-475.
- Vaccaro Pearson, L. de. 1986. Sistemas de producción bovina predominantes en el Trópico Latinoamericano. En: *Panorama de la ganadería de doble propósito en la América tropical.* Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)-CIAT, Bogotá, Colombia.
- Vera, R. y Seré, C. (eds.). 1985. *Sistemas de producción pecuaria extensiva: Brasil, Colombia, Venezuela.* Proyecto ETES. Instituto de Producción Animal, Universidad Técnica de Berlín (TUB), Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GTZ) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. Informe Final.