

A photograph of a man in a light blue shirt, dark jeans, and a wide-brimmed hat, riding a white horse with brown spots. He is herding a large group of white cattle with horns in a green field under a blue sky. The man is seen from the back, looking towards the cattle.

Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Adopción e impacto de los sistemas agropecuarios introducidos en la altillanura plana del Meta

Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray

Roger Alonso Bautista Cubillos

(compiladores)

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Adopción e impacto de los sistemas agropecuarios introducidos en la altillanura plana del Meta

Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray
Roger Alonso Bautista Cubillos
(COMPILADORES)

AGROSAVIA
EDITORIAL

Mosquera, Colombia 2019

Adopción e impacto de los sistemas agropecuarios introducidos en la altillanura plana del Meta / Gonzalo Rodríguez Borray [y otros doce] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2019.

278 páginas (Colección: Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario)

Incluye referencias bibliográficas, tablas y fotos

ISBN E-book: 978-958-740-296-4

1. Estructura agraria 2. Soja 3. Maíz 4. Caucho 5. Marañón 6. Piña. 7. Citrus 8. Análisis económico 9. Sistemas de producción 10. Transferencia de tecnología 11. Impacto ambiental 12. PH del suelo 13. Meta (Colombia)

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Centro de Investigación Tibaitatá

Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Centro de Investigación La Libertad

Kilómetro 17, vía Puerto López, Meta. Código postal 502007, Colombia.

Esta publicación es resultado del Convenio N.º 069 *Adopción e impacto de tecnologías para el mejoramiento productivo de los suelos de la altillanura plana del Meta* suscrito entre la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica, actualmente AGROSAVIA), el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Colección: Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Fecha de recepción: 19 de abril de 2016

Fecha de evaluación: 19 de junio de 2016

Fecha de aceptación: 23 de mayo de 2017

Publicado junio de 2019

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Editores: Liliana Gaona García y Jorge Enrique Beltrán Vargas

Corrección de estilo: Luisa Fernanda Espina

Fotografías portadillas: César Augusto Jaramillo Salazar

Diagramación: María Paula Berón

DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7402964>

Nota: A partir de mayo de 2018, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria cambió su acrónimo Corpoica por AGROSAVIA.

Citación sugerida: Rodríguez Borray, G., & Bautista Cubillos, R. (Comps.). (2019). *Adopción e impacto de los sistemas agropecuarios introducidos en la altillanura plana del Meta*. Mosquera: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Agradecimientos	23
Presentación	25
Introducción	29

Capítulo I

Contexto y tecnologías generadas para la altillanura plana del Meta	31
Introducción	31
Área de estudio	33
Características socioeconómicas	35
Demografía	35
Índice de ruralidad	38
Educación	39
Servicios públicos domiciliarios	40
Necesidades básicas insatisfechas (NBI)	41
Actividades económicas	43
Contexto de cultivos transitorios	44
Maíz	44
Soya	45
Arroz	47
Contexto de los cultivos permanentes	47
Caucho	48
Contexto de ganadería	49
Oferta tecnológica de AGROSAVIA para sistemas de producción de la altillanura	49
Maíz	49
Soya	53

Variedades de soya	59
Corpoica Superior 6	59
Corpoica Sabana 7	60
Corpoica La Libertad 4	61
Corpoica Taluma 5	63
Soyica P-34	65
Soyica Altillanura 2	66
Corpoica Orinoquía 3	67
Biofertilizante	67
Rhizobiol	68
Variedades de arroz	68
Corpoica Llanura 11	68
Caucho	71
Establecimiento y manejo de viveros	71
Injerto	72
Presiembra y siembra	73
Manejo integrado de malezas	75
Manejo de plagas y enfermedades	75
Cosecha y beneficio	76
Ganadería: pastos y forrajes	77
Alternativas forrajeras	77
Establecimiento de pastos en sistemas ganaderos	82
Asociación con leguminosa forrajera	85
Métodos preventivos de control de malezas	87
Control de plagas	88
Resiembra	88

Manejo del pastoreo	88
Sistemas de pastoreo	89
Fertilización de mantenimiento	91
Plagas y enfermedades en el mantenimiento de las praderas	91
Recuperación y renovación de praderas	92
Introducción de leguminosas	94
Renovación de praderas con cultivos	96
Sistema silvopastoril	98
Especies arbóreas en sistemas silvopastoriles	99
Cultivos forrajeros	101

Capítulo II

Adopción de tecnología para la introducción de sistemas productivos agropecuarios en la altillanura plana del Meta	105
Introducción	105
Características de las fincas y los individuos encuestados	106
La introducción de los sistemas productivos	107
Determinantes de la adopción de tecnología	110
Características de las tecnologías asociadas a los sistemas productivos introducidos	113
Tecnologías reportadas en cultivos de arroz	115
Material genético	115
Correctivos	115
Fertilizantes	117
Control de malezas	117
Manejo de plagas y enfermedades	118

Tecnologías reportadas en maíz	119
Material genético	119
Correctivos	120
Fertilizantes	121
Control de malezas	122
Control de plagas y enfermedades	123
Tecnologías reportadas en soya	124
Material genético	124
Correctivos	125
Fertilizantes	126
Control de malezas	127
Plagas y enfermedades	127
Tecnologías reportadas en pastos y forrajes	128
Recursos genéticos	128
Correctivos	130
Fertilizantes	131
Control de malezas	132
Plagas y enfermedades	133

Capítulo III

Análisis de la rentabilidad privada de los sistemas de producción agropecuaria en la zona de estudio	135
Introducción	135
Análisis de costos de producción por especie	138
Ganadería	138
Cultivos transitorios	142

Caucho	146
Rentabilidad privada de sistemas de producción de caucho y en rotación	147

Capítulo IV

Impactos sociales de las tecnologías para el mejoramiento de la capacidad productiva, según la percepción local	153
Introducción	153
Consideraciones metodológicas	155
Análisis de los resultados	171
Conclusiones	178

Capítulo V

Impacto de la tecnología desarrollada para el mejoramiento de la producción y la calidad de los suelos	181
Introducción	181
Metodología	181
Localización y extensión del área de estudio	182
Características climáticas y de suelos	182
Resultados iniciales de fertilidad de los suelos de la altillanura plana del Meta (1952-1982)	183
Contenido de calcio	183
Contenido de magnesio	185
Contenido de fósforo	186
Contenido de potasio	188
Contenido de materia orgánica	189
Saturación de bases	190
Acidez	192
Saturación de aluminio	193

Promedios de algunas características de los suelos (1952-1982)	194
Estrategias estudiadas y empleadas para el mejoramiento de la capacidad productiva de los suelos	195
Impacto de la tecnología en las características del suelo de la altillanura (2002-2011)	196
Contenido de calcio	196
Contenido de magnesio	198
Contenido de fósforo	199
Contenido de potasio	201
Contenido de materia orgánica	203
Saturación de bases	204
Acidez (pH)	206
Saturación de aluminio	207
Promedios de algunas características químicas	209
Características físicas	210
Compactación	210
Tecnología generada e impactos sobre algunas propiedades físicas del suelo	211
Impacto de la tecnología en algunas características físicas	213
Conclusiones	214

Capítulo VI

Evaluación del impacto ambiental del uso de las enmiendas y las tecnologías de producción en la altillanura plana del Meta	217
Introducción	217
Cambio en el uso de los recursos naturales	218
Cambios en calidad y cantidad de recursos naturales	218
Cambio en el uso de insumos	219
Recuperación ambiental	219
Definición de las tecnologías de suelo a evaluar	221
Resultados de la evaluación del impacto ambiental	222
Cambio en el uso de recursos naturales	222
Cambio en la calidad y cantidad de la atmósfera	222
Cambio en calidad y cantidad del recurso suelo	223
Cambio en calidad y cantidad del recurso agua	224
Cambios en biodiversidad	226
Conclusiones	226

Capítulo VII

Evaluación del impacto y los retornos sociales de la investigación y desarrollo de tecnología para pastos y otros cultivos adaptados a la altillanura plana del Meta	231
Introducción	231
Enfoque metodológico de excedentes económicos	232
Diferencias entre Modexc y Dream	236
Parámetros y supuestos	236
Análisis y resultados	242

Resultados de Modexc	242
Resultados de Dream	245
Tasa interna de retorno	246
Conclusiones	249

Capítulo VIII

Estado actual de los sistemas productivos y desafíos tecnológicos	253
Introducción	253
Adopción de tecnología	255
Impacto económico	256
Impacto social	258
Impacto ambiental	259
Excedentes económicos de la investigación y el desarrollo tecnológico para la sociedad	261
Los autores	263
Referencias	269

Lista de figuras

Figura 1.1	Orinoquía colombiana	32
Figura 1.2	Altillanura colombiana	33
Figura 1.3	Localización del área de estudio	34
Figura 1.4	Población por área en el municipio de Puerto López	35
Figura 1.5	Estructura de la población de Puerto López en 2010 por sexo y grupos de edad	36
Figura 1.6	Población por área en el municipio de Puerto Gaitán	37
Figura 1.7	Estructura de la población, por sexo y grupos de edad, en Puerto Gaitán en 2010	38
Figura 1.8	Tasa de analfabetismo en Puerto López	39
Figura 1.9	Tasa de analfabetismo en Puerto Gaitán	40
Figura 1.10	Servicios públicos en la vivienda	41
Figura 1.11	Porcentaje de NBI en Puerto Gaitán y Puerto López (2005)	42
Figura 2.1	Evolución de los sistemas productivos agrícolas en la altillanura plana del Meta (1990-2010)	108
Figura 2.2	Evolución de la aplicación de correctivos de acidez en los suelos (1990-2010)	114
Figura 2.3	Correctivos de acidez de suelo utilizados en cultivos de arroz	116
Figura 2.4	Modo de incorporación de los correctivos de acidez de suelos en cultivos de arroz	116
Figura 2.5	Herbicidas utilizados en cultivos de arroz	118
Figura 2.6	Enfermedades reportadas en cultivos de arroz	118
Figura 2.7	Materiales genéticos de maíz reportados en las fincas encuestadas	119
Figura 2.8	Correctivos de acidez de suelo utilizados en cultivos de maíz	120

Figura 2.9	Modo de incorporación de los correctivos de acidez de suelos en cultivos de maíz	121
Figura 2.10	Herbicidas utilizados en cultivos de arroz	122
Figura 2.11	Enfermedades reportadas en cultivos de arroz	123
Figura 2.12	Plagas reportadas en cultivos de maíz	123
Figura 2.13	Materiales genéticos de soya reportados en las fincas encuestadas	124
Figura 2.14	Correctivos de acidez de suelo utilizados en cultivos de maíz	125
Figura 2.15	Modo de incorporación de los correctivos de acidez de suelos en cultivos de soya	126
Figura 2.16	Fertilizantes empleados en cultivos de soya	126
Figura 2.17	Herbicidas utilizados en cultivos de soya	127
Figura 2.18	Evolución de los pastos introducidos y mejorados (1990-2010)	129
Figura 2.19	Materiales genéticos de los pastos reportados en las fincas encuestadas	130
Figura 2.20	Correctivos de acidez de suelo utilizados en pastos	130
Figura 2.21	Modo de incorporación de los correctivos de acidez de suelos para pastos	131
Figura 2.22	Herbicidas utilizados en pastos	132
Figura 4.1	Percepción local de los impactos sociales de las tecnologías desarrolladas para la altillanura orinoquense, reflejada en su significatividad (SI)	171
Figura 4.2	Cambios en la renta o ingresos según la percepción local	172
Figura 4.3	Cambios en el empleo según percepción local	173
Figura 4.4	Producto interno bruto (PIB) agrícola y minero en el departamento del Meta (1995-2001)	175

Figura 5.1	Distribución del contenido de calcio	184
Figura 5.2	Distribución del contenido de magnesio	186
Figura 5.3	Distribución del contenido de fósforo	187
Figura 5.4	Distribución del contenido de potasio	189
Figura 5.5	Distribución del contenido de materia orgánica	190
Figura 5.6	Distribución de la saturación de bases	191
Figura 5.7	Distribución del grado de acidez (pH) de los suelos	192
Figura 5.8	Distribución de la saturación de aluminio	194
Figura 5.9	Distribución del contenido de calcio en los suelos mejorados	197
Figura 5.10	Distribución del contenido de magnesio en suelos mejorados	199
Figura 5.11	Distribución del contenido de fósforo en suelos mejorados	201
Figura 5.12	Distribución del contenido de potasio en suelos	202
Figura 5.13	Distribución del contenido de materia orgánica en suelos mejorados	204
Figura 5.14	Distribución de la saturación de bases en suelos mejorados	206
Figura 5.15	Distribución de la acidez (pH) en suelos mejorados	207
Figura 5.16	Distribución de los niveles de saturación de aluminio en suelos mejorados	209
Figura 6.1	Impacto ambiental del cambio en el uso, calidad y cantidad de los recursos naturales (atmósfera)	223
Figura 6.2	Impacto ambiental del cambio en la cantidad y la calidad de los recursos naturales (suelo)	224
Figura 6.3	Impacto ambiental sobre el cambio en la cantidad y calidad de los recursos naturales (agua)	225
Figura 6.4	Impacto ambiental de la tecnología evaluada	226

Lista de tablas

Tabla 1.1	Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica Superior 6	59
Tabla 1.2	Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica Sabana 7	60
Tabla 1.3	Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica La Libertad 4	61
Tabla 1.4	Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica Taluma 5 para forraje	63
Tabla 1.5	Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica Taluma 5 para grano	64
Tabla 1.6	Características y requerimientos de la variedad de soya Soyica P-34	65
Tabla 1.7	Características y requerimientos de la variedad de soya Soyica Altillanura 2	66
Tabla 1.8	Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica Orinoquía 3	67
Tabla 1.9	Características y requerimientos de la variedad de arroz Corpoica Llanura 11	69
Tabla 1.10	Gramíneas y leguminosas forrajeras aptas para las condiciones de los suelos de los Llanos Orientales	78
Tabla 1.11	Periodo de descanso y altura de pastoreo recomendada para diferentes pastos	89
Tabla 2.1	Indicadores de adopción de sistemas de producción (número de fincas)	108
Tabla 2.2	Indicadores de áreas de adopción (por hectáreas)	109
Tabla 2.3	Modelo de variables explicativas de la adopción tecnológica en sistemas productivos agrícolas	111
Tabla 2.4	Material genético para cultivos de arroz	115
Tabla 2.5	Fertilizantes reportados en cultivos de arroz	117

Tabla 2.6	Fertilizantes reportados en cultivos de maíz	121
Tabla 2.7	Materiales genéticos de pastos introducidos	128
Tabla 2.8	Fertilizantes reportados en cultivos de soya	132
Tabla 3.1	Secuencia de introducción de cultivos transitorios y de pastos para ganadería bovina (diez años)	137
Tabla 3.2	Distribución porcentual de los costos totales de producción de ganadería en 2010 en la zona de estudio	141
Tabla 3.3	Distribución porcentual de los costos totales de producción de soya por hectárea en 2010	143
Tabla 3.4	Distribución porcentual de los costos totales de producción de arroz por hectárea en 2010	144
Tabla 3.5	Distribución porcentual de los costos totales de producción de maíz por hectárea en 2010	145
Tabla 3.6	Costos de producción de caucho por hectárea en 2010	146
Tabla 3.7	Rendimiento del cultivo de caucho por hectárea en 2010	146
Tabla 3.8	Sistemas de producción analizados	147
Tabla 3.9	Indicadores económicos para los sistemas de sabana nativa y pastos introducidos para ganadería	147
Tabla 3.10	Indicadores económicos para cultivos de rotación	148
Tabla 3.11	Indicadores económicos para el monocultivo de caucho	149
Tabla 3.12	Valor presente neto y tasa interna de retorno para los sistemas de producción representativos de la zona de estudio	149
Tabla 4.1	Escala de puntuación y parámetros	157

Tabla 4.2	Matriz para la evaluación y valoración de los impactos sociales de las tecnologías desarrolladas para la altillanura orinoquense	158
Tabla 4.3	Calificativos para la significancia social del impacto económico	166
Tabla 4.4	Evaluación y valoración de los impactos sociales de las tecnologías desarrolladas para la altillanura orinoquense	167
Tabla 5.1	Distribución del contenido de calcio (porcentajes)	184
Tabla 5.2	Distribución del contenido de magnesio (porcentaje)	185
Tabla 5.3	Distribución del contenido de fósforo (porcentaje)	187
Tabla 5.4	Distribución del contenido de potasio (porcentaje)	188
Tabla 5.5	Distribución del contenido de materia orgánica (MO) (porcentaje)	190
Tabla 5.6	Distribución de la saturación de bases (porcentaje)	191
Tabla 5.7	Distribución de los niveles de acidez de los suelos (porcentaje)	192
Tabla 5.8	Distribución de la saturación de aluminio (porcentaje)	193
Tabla 5.9	Características químicas de los suelos (valores promedio 1952-1982)	195
Tabla 5.10	Distribución del contenido de calcio en suelos mejorados (porcentaje)	197
Tabla 5.11	Distribución del contenido de magnesio en suelos mejorados (porcentaje)	198
Tabla 5.12	Distribución del contenido de fósforo en suelos mejorados (porcentaje)	200
Tabla 5.13	Distribución del contenido de potasio en suelos mejorados (porcentaje)	201

Tabla 5.14	Distribución del contenido de materia orgánica en suelos mejorados (porcentaje)	203
Tabla 5.15	Distribución de la saturación de bases en suelos mejorados (porcentaje)	205
Tabla 5.16	Distribución de la acidez (pH) en suelos mejorados (porcentaje)	207
Tabla 5.17	Distribución porcentual de saturación de aluminio en suelos mejorados	208
Tabla 5.18	Características químicas de los suelos de la altillanura plana del Meta (valores promedio 2002-2011)	209
Tabla 6.1	Indicadores de evaluación de impacto ambiental y su escala de medición	220
Tabla 6.2	Tecnologías evaluadas para el manejo de suelos	222
Tabla 7.1	Parámetros económicos	237
Tabla 7.2	Proceso de desadopción de la tecnología	239
Tabla 7.3	Inversión en investigación y desarrollo de tecnología agropecuaria para la altillanura, por fuente de financiamiento (1998-2008) (pesos corrientes)	240
Tabla 7.4	Excedentes económicos para el productor por la introducción de arroz, maíz, soya y pasturas mejoradas (millones de pesos de 2010) (modelo Modexc)	243
Tabla 7.5	Excedentes económicos para el consumidor (millones de pesos de 2010) (modelo Modexc)	244
Tabla 7.6	Excedentes económicos totales para la sociedad (millones de pesos de 2010) (modelo Modexc)	245
Tabla 7.7	Excedentes económicos para el consumidor, el productor y el gobierno (millones de pesos) (modelo Dream)	246

Tabla 7.8	Comparación de la TIR en la inversión en investigación y desarrollo para la introducción de arroz, maíz, soya y pasturas mejoradas	247
Tabla 7.9	TIR a la inversión en investigación y desarrollo para la introducción de arroz, maíz, soya y pasturas mejoradas (modelo Modexc)	248
Tabla 7.10	Participación en las inversiones en investigación y desarrollo por institución	249





Agradecimientos

El equipo de investigadores desea expresar un reconocimiento muy especial a los doctores Ricardo Espinosa y Édgar Bolaños, por su valiosa contribución. También un agradecimiento muy especial a Alfonso Martínez, Julio Jairo Becerra, José Eurípides Baquero, Jaime Bernal, Hernando Flórez y César Jaramillo —investigadores del Centro de Investigación La Libertad—, por su aporte en el conocimiento de la región, de sus sistemas de producción y de las tecnologías investigadas. En este mismo sentido, se hace público reconocimiento a la investigadora Nubia Rodríguez, líder del Proyecto de Indicadores de Ecoeficiencia del convenio AGROSAVIA-CIAT, por el aporte de cartografía de la zona y de los resultados de análisis de suelos, que permitieron el ahorro de importantes recursos financieros para el proyecto.

Se expresa un agradecimiento especial al ingeniero Néstor Ramos (q. e. p. d.), director de investigación de Semillano, por su valiosísima orientación en el área de pastos mejorados. También al doctor Flavio Dias Avila, investigador de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa), quien, aun sin un convenio previo interinstitucional, de manera desinteresada orientó metodológicamente la evaluación de impacto económico. Se expresa un agradecimiento especial a Claudia Ramírez, Melba Mora y Janeth Muñoz, por su ayuda en logística y por el apoyo administrativo en el proyecto.

Es necesario decir, además, que este trabajo investigativo no hubiera sido posible sin la contribución de los productores y administradores de las fincas de la región, quienes con paciencia atendieron nuestra solicitud para las entrevistas y las encuestas de campo. Se reconoce el apoyo y la financiación ofrecidos por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para la ejecución de este proyecto. A todos ellos, nuestra gratitud.



Presentación

Se conoce como altillanura a las tierras de la Orinoquía que se ubican desde la margen derecha del río Meta hasta los límites con los ríos Guaviare y Orinoco. La región, con una extensión de 9.823.000 hectáreas, se ha caracterizado por tener suelos ácidos de baja fertilidad, alta saturación de aluminio y baja disponibilidad de fósforo, lo cual dificulta el desarrollo de la agricultura y la ganadería en condiciones competitivas y sostenibles. Además, las altas precipitaciones durante la época húmeda originan escorrentía y erosión hídrica, factores que, sumados a la falta de agua en la época seca, configuran un esquema de gran fragilidad para el ecosistema.

Para enfrentar esta problemática, AGROSAVIA —desde sus inicios en 1993 y con la participación y financiamiento de varias instituciones nacionales e internacionales— ha venido desarrollando una agenda de investigación y transferencia de tecnología enfocada en la búsqueda de opciones de producción sostenibles y competitivas para esta extensa región de la Orinoquía colombiana. Como resultado, AGROSAVIA ha generado productos tecnológicos para incorporar estos suelos a actividades productivas, por ejemplo, los sistemas de rotación de soya-maíz con pastos mejorados, que han permitido simultáneamente el desarrollo de actividades de producción de alimentos balanceados para animales y el mejoramiento de la obtención de ganadería bovina en la región.

Las tecnologías introducidas en el componente agrícola están basadas en el manejo del suelo: labranza mínima y de conservación, uso de enmiendas y correctivos, uso de abonos verdes, biofertilización, generación de alternativas genéticas en maíz y soya, establecimiento de frutales —principalmente cítricos, marañón, piña y otros promisorios— e introducción de especies forestales —palma y caucho— en sistemas de monocultivo y de agroforestería.

El desarrollo de la tecnología agrícola para la altillanura se puede evidenciar, por ejemplo, en la obtención de los híbridos de maíz Corpoica H-108 y Corpoica Altillanura H-111, con tolerancia al aluminio (frente a suelos con

una presencia mayor al 70 % de saturación de este elemento), resistencia a plagas y enfermedades y rendimientos superiores a 4,5 t/ha. También se han obtenido las variedades de soya Libertad 4, Taluma 5, Superior 6 y Sabana 7, con adaptación a suelos ácidos, precocidad (90-95 días), resistencia a plagas y enfermedades y rendimientos superiores a dos toneladas de grano por hectárea.

De igual manera, en el componente de producción pecuaria se han logrado avances en el manejo de pastos y leguminosas, en la realización de estudios de biotecnología de la reproducción, en la evaluación de recursos genéticos criollos y en la nutrición y alimentación animal.

De acuerdo con la percepción de muchos de los actores regionales y nacionales, el trabajo investigativo y la acción interinstitucional han hecho posible la transferencia e innovación tecnológicas que, a su vez, han impactado el desarrollo regional con una reconversión productiva de la altillanura colombiana y la perspectiva del establecimiento de nuevos proyectos agroempresariales de mediana y gran envergadura —la producción de frutales, de maderables, de alimentos balanceados y de biocombustibles—.

A pesar de la percepción generalizada del impacto positivo de la tecnología en la región, aún no se había establecido sistemáticamente el grado de adopción de las diferentes tecnologías y el impacto que estas han tenido en la región desde el punto de vista socioeconómico y ambiental. Esta publicación pretende llenar tales vacíos de información, gracias a lo cual resulta posible orientar nuevas políticas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación agropecuaria en la región. Adicionalmente, se informa a la sociedad sobre los avances e impactos generados.





Introducción

Este documento presenta los resultados del análisis de la adopción e impacto de tecnologías generadas para el mejoramiento de la capacidad productiva de los suelos de la altillanura plana del Meta. Dicho análisis fue desarrollado por un equipo multidisciplinario de investigadores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y el CIAT, con el financiamiento del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

La publicación se presenta en ocho capítulos organizados secuencialmente. En el primero de ellos se exponen las principales características biofísicas y socioeconómicas del área de estudio y se realiza la descripción de las tecnologías de los sistemas de producción. En el segundo capítulo se analiza el proceso de adopción de las tecnologías, su evolución y los factores determinantes para su implementación. En el tercer capítulo se presenta un análisis financiero de los principales sistemas de producción estudiados, en precios corrientes a 2010. En el cuarto capítulo se analiza el impacto de la introducción de los sistemas agropecuarios en algunas variables sociales de la altillanura. En el quinto se presenta un análisis de la evolución de las características fisicoquímicas de los suelos de la altillanura y de su relación con las tecnologías recomendadas. En el sexto se identifica y valora la percepción que tienen diferentes actores sociales respecto a los impactos ambientales de la aplicación de correctivos de acidez de suelos, como elemento central de la introducción de sistemas agropecuarios a la región. En el séptimo se hace un estimativo de los excedentes económicos generados para la sociedad, derivados de los procesos institucionales de investigación y transferencia de tecnología en la región. Finalmente, se presentan conclusiones a partir del análisis conjunto de la información obtenida y los resultados relevantes del estudio.



Capítulo I

Contexto y tecnologías generadas para la altillanura plana del Meta

Tatiana Olarte Hernández
Otoniel Pérez López
Sandra Xiomara Pulido Castro
Albert Gutiérrez Vanegas
Roger Alonso Bautista Cubillos

Introducción

La Orinoquía, una de las seis regiones naturales de Colombia, cuyo territorio corresponde al 33% del área total del país, está integrada por cuatro departamentos: Arauca, Casanare, Meta y Vichada (figura 1.1). En términos generales, es una región que tradicionalmente se ha caracterizado por su vocación en la actividad ganadera de manera extensiva y la explotación de petróleo, no obstante, en los últimos treinta años, las actividades agropecuarias han avanzado en áreas intervenidas con tecnología y son significativas en términos económicos y sociales.

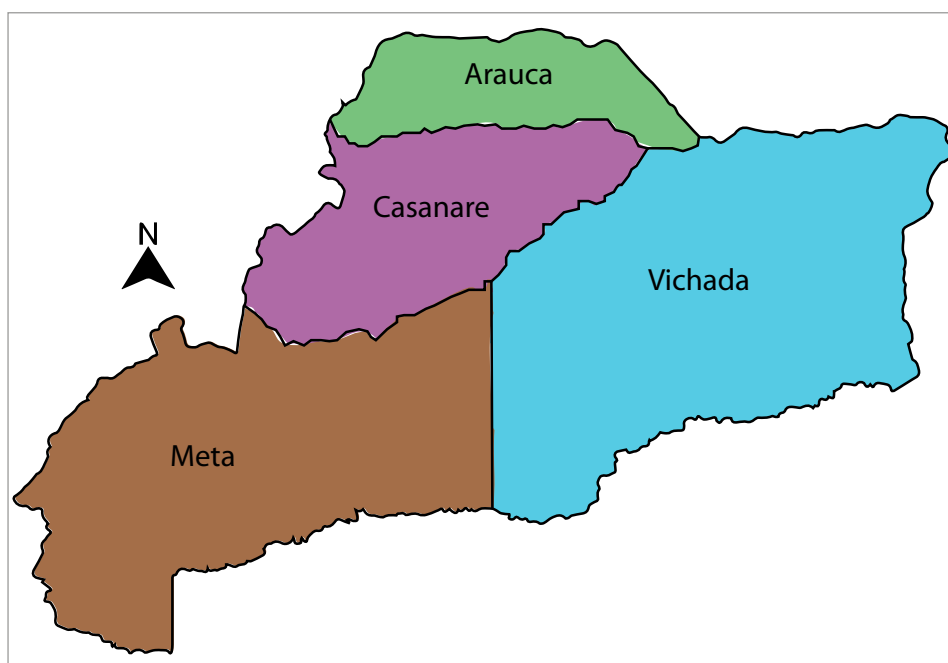


Figura 1.1. Orinoquía colombiana.

Fuente: Elaboración propia (2018)

Como subregión de la Orinoquía se encuentra la altillanura, cuya riqueza cultural y ambiental y su potencial expansión en las actividades agropecuarias la convierten en una de las fuentes de desarrollo y, por tanto, en un objetivo del gobierno nacional para encaminar esfuerzos a la investigación agropecuaria y propender a su crecimiento y desarrollo (figura 1.2). La altillanura está compuesta por territorios de sabanas ubicadas algunos metros por encima del cauce del río Meta, caracterizadas por redes autónomas hidrográficas, de tal forma que en la temporada de lluvias las sabanas del margen derecho del río Meta no se inundan, mientras que las del margen izquierdo sí (Consejo Nacional de Política Económica y Social [Conpes], 2014).

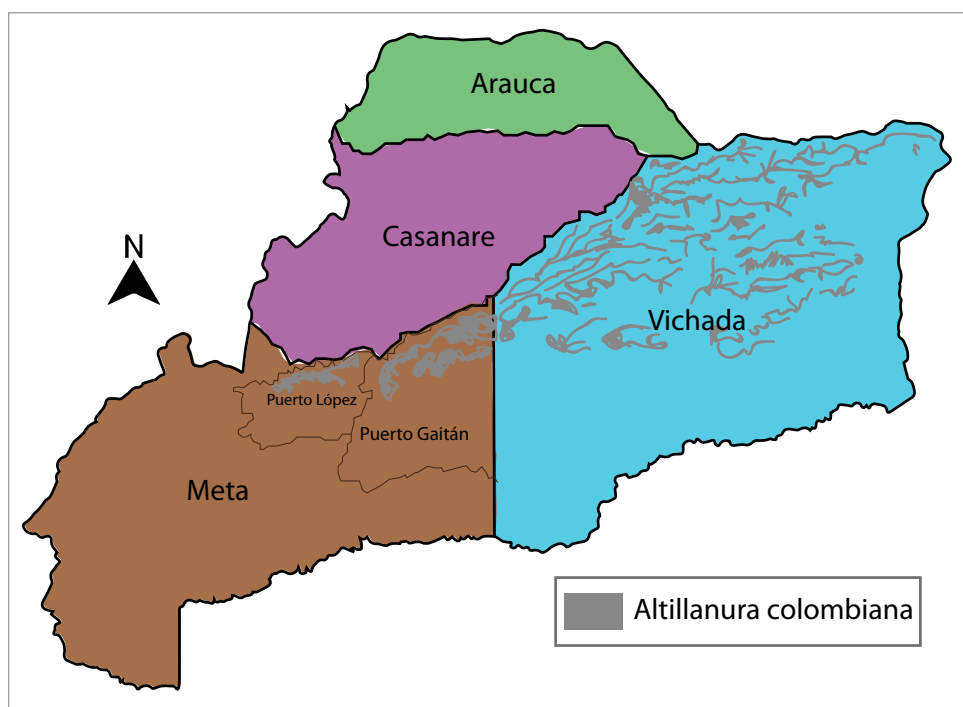


Figura 1.2. Altillanura colombiana.

Fuente: Elaboración propia con base en datos cartográficos de AGROSAVIA (2018)

Varias instituciones (entre ellas, ICA, CIAT y AGROSAVIA) han intervenido en desarrollos investigativos con resultados de adopción e impacto. En este capítulo se contextualizan algunas variables socioeconómicas de los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán; adicionalmente, se describen las tecnologías generadas para el mejoramiento de la capacidad productiva de la subregión o altillanura colombiana, que están sujetas a la evaluación de la adopción e impacto.

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el territorio comprendido entre el área rural del municipio de Puerto López y el límite municipal de Puerto Gaitán, que pertenece a la región de la altillanura plana metense, entre el alto de Menegua y el río Yucao (figura 1.3).

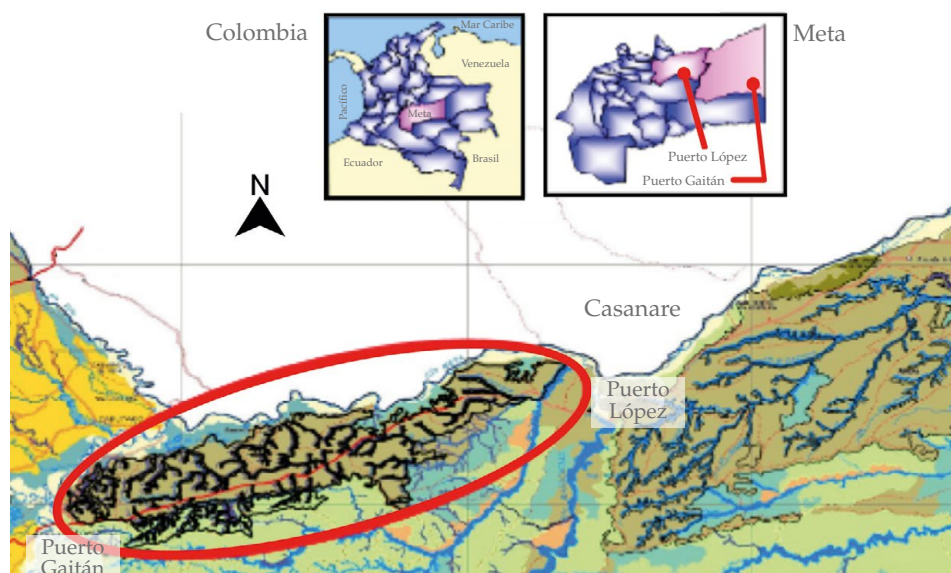


Figura 1.3. Localización del área de estudio.
Fuente: Gobernación del Meta e IGAC (2004, Anexo 2)

Según la Gobernación del Meta (2006), el municipio de Puerto López tiene una extensión de 6.740 km², que se distribuyen entre el área urbana (9,5 km²) y el área rural (6.730,5 km²). El municipio está conformado por las veredas Guichiral, Brisas del Guayuriba, Puerto Nare, Puerto Alicia, Navajas, Carubare, El Diamante, La Emma, El Porvenir, Marayal, Menegua Alto, Menegua Bajo, Patagonia, San Luis de Rionegro, San Pablo, La Banqueta, Versailles, Tucuragua, El Turpial, Viso de San Pablo, Yurimena, Yucao, La Venturosa y Río Meta (Gobernación del Meta & IGAC, 2004, Anexo 2). En el municipio se encuentran los resguardos indígenas La Victoria y Humapo.

Como contexto del territorio analizado y las interacciones económicas de Puerto López con el municipio de Puerto Gaitán, este último cuenta con una extensión de 17.499 km², de los cuales 11,6 km² corresponden al área urbana y 17.487,4 km² a la rural (Gobernación del Meta, 2011). A este municipio pertenecen las veredas San Pedro de Arimena, San Miguel, Planas, El Porvenir, Tillavá, Puente Arimena, Puerto Trujillo, Rubiales y La Cristalina, y los resguardos indígenas Wacoyo, Corozal, Domo Planas, Tapaojo, Waleanae, Unuma, El Tigre, Awaliba, Iwiwi y Vencedor Pirirí (Gobernación del Meta & IGAC, 2004, Anexo 2).

Características socioeconómicas

A continuación, se describen algunas características demográficas y socioeconómicas de las poblaciones de Puerto López y Puerto Gaitán en el Meta.

Demografía

Resultados de censos realizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en Puerto López, en los años 1985, 1993 y 2005, muestran incrementos de la población en el municipio, con 21.786, 22.983 y 28.970 habitantes, respectivamente, con una tasa de crecimiento del 32,15% entre el primero y último año del censo.

En el periodo comprendido entre 1985 y 1993, la cabecera municipal tuvo un aumento de población del 14,90%, pasando de 11.694 a 13.436 habitantes; y en el periodo 1993-2005, el aumento fue del 36,91%, para un total de 18.395 habitantes en 2005.

En el área rural se presentó una disminución de la población del 5,40% en el periodo 1985-1993, cuya cifra pasó de 10.092 a 9.547 habitantes; sin embargo, en el periodo 1993-2005, se incrementó en un 8,88%, pasando a 10.395 habitantes. Estos resultados muestran la tendencia hacia una mayor concentración de la población en el área urbana, mientras que en el área rural la tendencia de la población es a permanecer estable (figura 1.4).

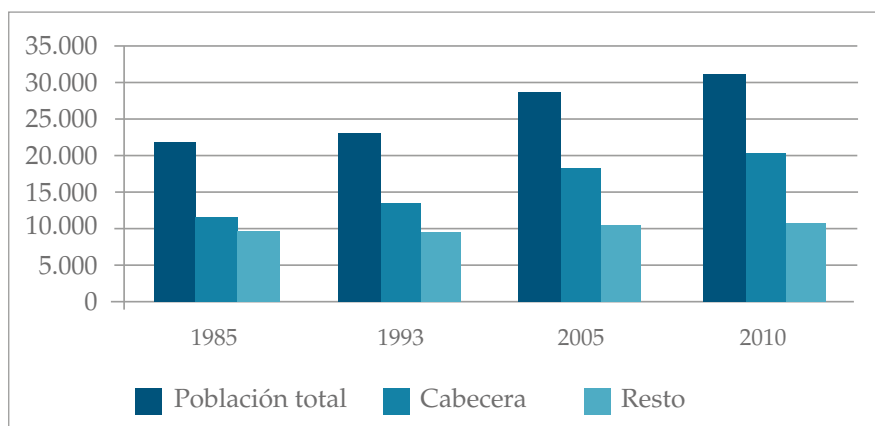


Figura 1.4. Población por área en el municipio de Puerto López.

Fuente: DANE (2005)

Se evidencia que en el año 2010 había una población de 31.183 habitantes, de los cuales un 66 % (20.368) se encontraba en la cabecera municipal, y un 34 % (10.815) en el área rural. En la distribución por género, se observa que el 51,5% de la población está compuesta por hombres y el 48,5% por mujeres. La proporción de hombres es un poco mayor, a causa de la dinámica económica del municipio, en el que se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas, en las que se demanda en mayor medida mano de obra de este sexo (DANE, 2005).

En lo que se refiere a los grupos de edad, hay una base de la pirámide amplia, es decir que la población es joven. En el año 2010, solo el 6 % de los habitantes (1.867) eran adultos mayores (de 65 años y más), de los cuales un 3,2 % son hombres y un 2,8% mujeres. El 39% de los habitantes (12.161) corresponde a adultos jóvenes (15 a 39 años), y entre ellos un 20% son hombres y un 19% mujeres. La población se encuentra en edad económicamente activa (figura 1.5).

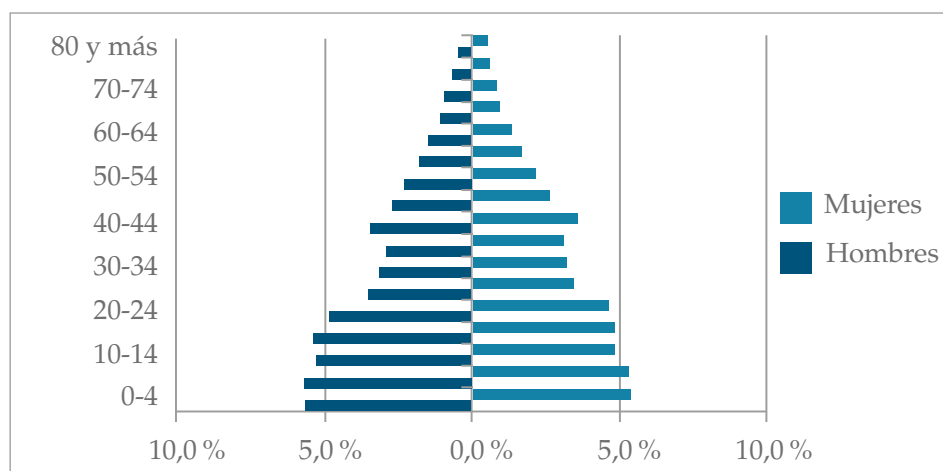


Figura 1.5. Estructura de la población de Puerto López en 2010 por sexo y grupos de edad.
Fuente: DANE (2005)

En cuanto al municipio de Puerto Gaitán, las cifras del censo realizado por el DANE presentaron un incremento de la población del 22,15 % entre 1985 y 1993, y del 9,34 % para 2005; es decir, pasó de 12.954 a 15.823 y 17.306 habitantes, respectivamente.

En la distribución por área, en el periodo 1985-1993, la población de la cabecera municipal aumentó en un 9,81 % para un total de 3.895 habitantes en 1993; mientras que de 1993 a 2005 el incremento fue del 60 %, llegando a 6.232 habitantes. Durante este mismo periodo (1985-1993) el aumento en el área rural fue del 26,80 %, pasando a 11.928 habitantes,

Sin embargo, en el periodo 1993-2005 hubo una disminución del 7,16 % en esa área, en la que se reportaron 11.074 habitantes, lo que puede explicarse, en parte, por factores de orden público que llevaron a migraciones. Al respecto, la Agencia Presidencial para la Acción Social y la Cooperación Internacional (Federación Colombiana de Municipios, 2008b) estableció que, entre los años 1999 y 2008, 2.634 personas (que corresponden a 672 hogares) abandonaron el municipio por esta razón (figura 1.6).

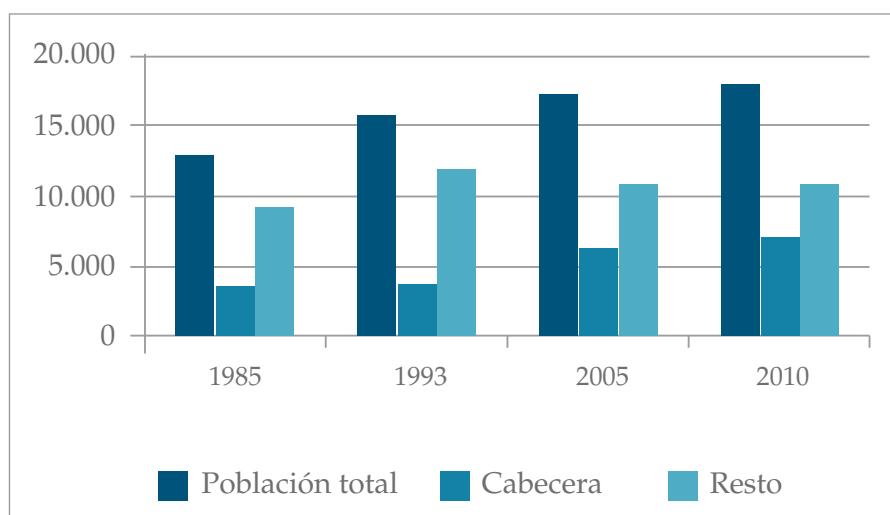


Figura 1.6. Población por área en el municipio de Puerto Gaitán.

Fuente: DANE (2006)

En Puerto Gaitán la población se ha concentrado en mayor medida en el área rural, pues en ella se desarrollan sus principales actividades económicas, como la ganadería y la agricultura. En 1985, el 73 % de la población se encontraba en esta área, y el 27 % en la cabecera municipal, mientras que en 2005 la brecha de la distribución entre las dos áreas disminuyó, con el 65 % de sus habitantes en el área rural, y el 36 % en la cabecera municipal.

Respecto al sexo y los grupos de edad (figura 1.7), se observa que en 2010 la población del municipio era joven: el 39 % de la población (7.100 habitantes) eran adultos jóvenes, y entre ellos el 20 % era población masculina y el 19 % población femenina. La mayoría de las personas está en edad productiva, debido a los flujos de inmigración que se han dado en los últimos años por la explotación de hidrocarburos en la zona, lo que atrae a quienes buscan oportunidades de empleo.

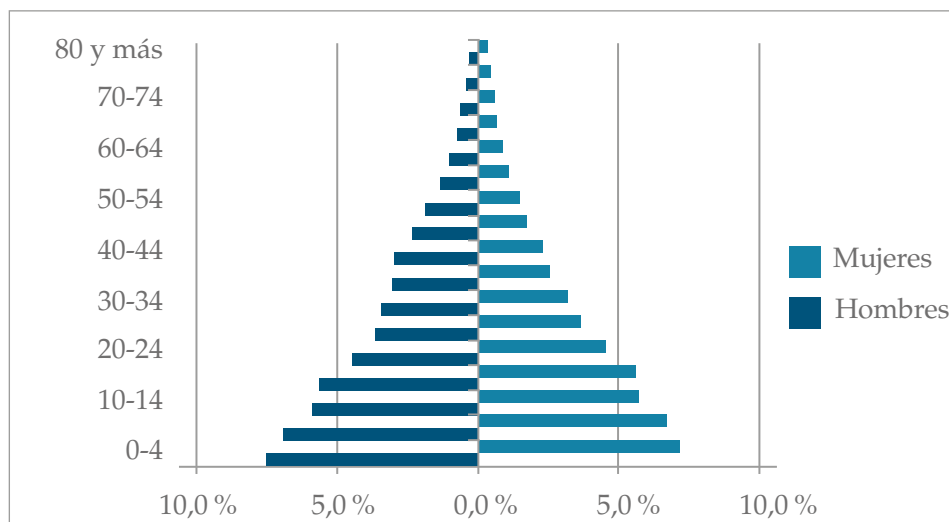


Figura 1.7. Estructura de la población, por sexo y grupos de edad, en Puerto Gaitán en 2010. Fuente: DANE (2006)

Índice de ruralidad

Durante el periodo comprendido entre 2000 y 2011, el municipio de Puerto López presentó un índice de ruralidad del 36 % en promedio, lo cual indica que, aunque el municipio depende económicamente de actividades del campo (como agricultura industrial, ganadería y pesca), la mayoría de la población se concentra en el área urbana, por el acceso a servicios como la educación y la salud, entre otros, y por el desarrollo de actividades económicas generadoras de ingreso.

Por su parte, Puerto Gaitán es un municipio rural en su mayoría. Del año 2000 a 2011, la concentración promedio de la población en esta zona fue del 64 %, lo que se explica por la alta dependencia que tiene su economía de la agricultura y la ganadería.

Educación

En el año 2008, el municipio de Puerto López contaba con trece instituciones y centros educativos oficiales, con 6.793 estudiantes matriculados, y dos centros educativos no oficiales, con 544. En 2005, la inasistencia escolar fue de 653 niños entre los 5 y los 9 años, 442 entre 10 y 14 años, y 1 de 15 a 19 (Federación Colombiana de Municipios, 2008a).

De acuerdo con los resultados del censo realizado por el DANE en 2005, el 44,8 % de la población ha alcanzado el nivel educativo de básica primaria, el 28,9 % de secundaria, el 3,7 % de educación superior y posgrado, y el 14,5 % no cuenta con ningún estudio.

En 2006, 21.942 personas sabían leer y escribir, mientras que 4.868 no. La mayor tasa de analfabetismo se presenta en la zona rural, un promedio del 14 % (figura 1.8), mientras que en la cabecera municipal es del 10,4 %, y en ella se concentran los mayores esfuerzos en cobertura educativa, pues alberga los centros educativos y a la mayoría de población.

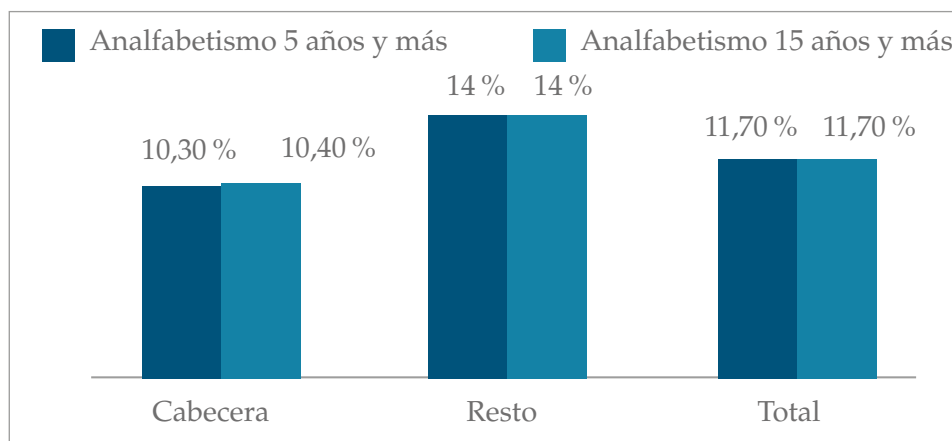


Figura 1.8. Tasa de analfabetismo en Puerto López.

Fuente: DANE (2005)

En el año 2008, Puerto Gaitán contaba con una institución y tres centros educativos, todos oficiales, con 4.993 personas matriculadas (Federación Colombiana de Municipios, 2008b). De acuerdo con el censo del DANE de 2005, los niveles educativos alcanzados por la población del municipio son los siguientes: básica primaria, con el 49,1 %, y secundaria, con el 28,9 %;

mientras que el 21,9 % no ha culminado ninguno. En el mismo año, se abstuvieron de asistir a un centro educativo 494 niños y niñas, de entre 5 y 9 años; 374 entre los 10 y los 14, y 729 entre los 15 y los 19 .

En 2006, 9.264 personas sabían leer y escribir, y 4.365 no. El área rural tiene la mayor tasa de analfabetismo (figura 1.9), que en 2005 fue de 25,5 % en la población de cinco años y más, y más del 25,7 % en aquella de quince años y más. La cobertura en educación es baja, teniendo en cuenta que el 61 % de los habitantes se encuentran en esta área (DANE, 2006).

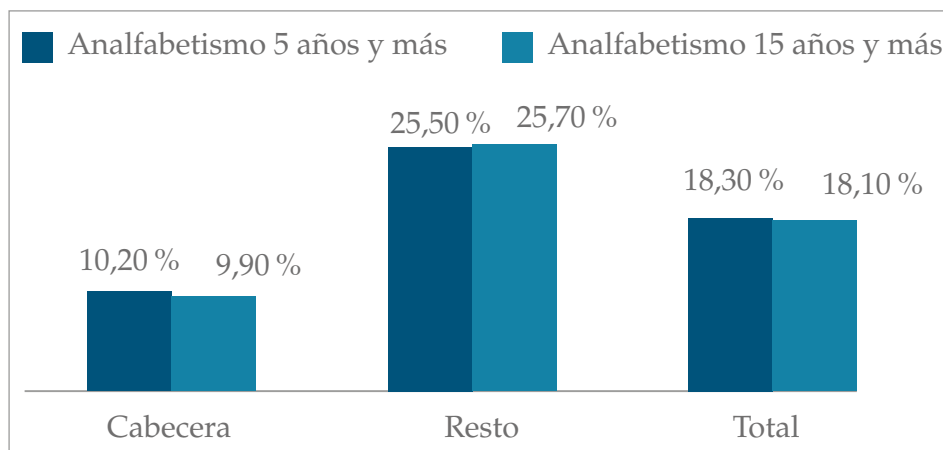


Figura 1.9. Tasa de analfabetismo en Puerto Gaitán.
Fuente: DANE (2006)

Servicios públicos domiciliarios

La ampliación de cobertura y la prestación eficiente de los servicios públicos en el territorio contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de la población. En el análisis de acceso a estos servicios se tienen en cuenta energía eléctrica, acueducto, alcantarillado y telefonía (figura 1.10).

De acuerdo con el censo del DANE, en 2005 el municipio de Puerto López tenía una cobertura de energía eléctrica en el 89,3 % de las viviendas; en la cabecera municipal, del 97,14 %; y en el área rural, del 57,77 %. Puerto Gaitán tenía una cobertura total del 54 %, del 93,44 % en la cabecera municipal y del 16,73 % en el área rural.

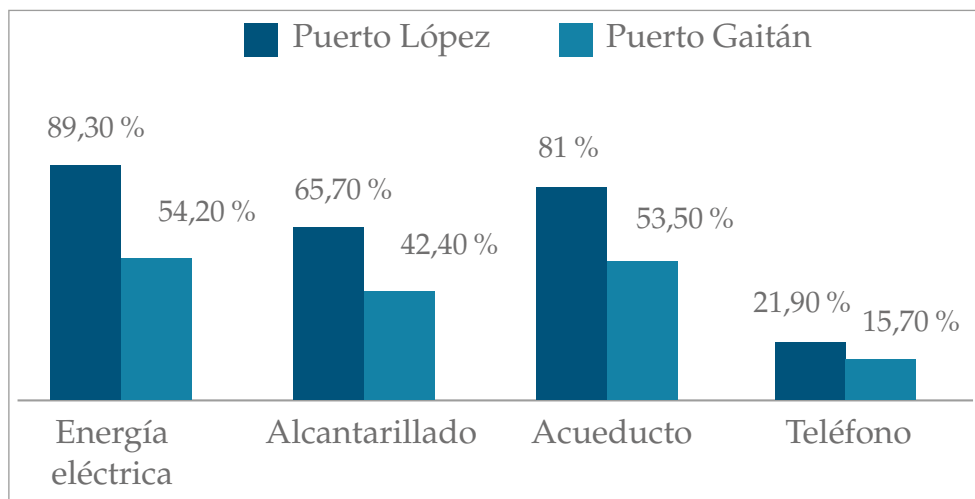


Figura 1.10. Servicios públicos en la vivienda.
Fuente: DANE (2005, 2006)

Los dos municipios presentan un acceso escaso al servicio de telefonía. En Puerto López, la cobertura en 2005 fue del 21,9 %: en la cabecera municipal del 32,94 % y en el área rural de 2,06 %. En cuanto a Puerto Gaitán, fue de 15,7 %: del 30,39 % en la cabecera municipal, y del 2,11 % en el área rural (DANE, 2006).

Por otra parte, el 81 % de las viviendas en Puerto López tiene servicio de acueducto, y el 65 %, alcantarillado; en Puerto Gaitán, el 53 % tiene acueducto y el 42,40 %, alcantarillado.

Necesidades básicas insatisfechas (NBI)

La metodología de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) permite establecer las carencias críticas de la población, y tiene en cuenta indicadores como viviendas inadecuadas o con servicios inadecuados, hogares con hacinamiento crítico, alta dependencia económica o niños en edad escolar que no asisten a la escuela, para determinar necesidades básicas, como vivienda, servicios sanitarios, educación e ingreso.

En 2005, de un total de 2.729 hogares en el área rural de Puerto López, el 50,72 % tenía déficit de vivienda y, entre ellos, el déficit era cuantitativo en el 9,57 % de los casos (261 hogares), es decir que hay escasa disponibilidad

de viviendas adecuadas para los hogares existentes. A su vez, el 41,14 %, que representa 1.223 hogares, tenía déficit cualitativo, en el que se tienen en cuenta el acceso a servicios públicos y las carencias habitacionales en la vivienda, su estructura y sus espacios (figura 1.11).

Por su parte, el área rural de Puerto Gaitán presentaba el mayor déficit de vivienda, pues de 1.522 hogares, el 90,54 % (que corresponde a 1.378) tenía algún tipo de carencia. De estos, en el 55,26 % se daba un déficit cuantitativo de vivienda, y en el 32,28 % era cualitativo (DANE, 2006).

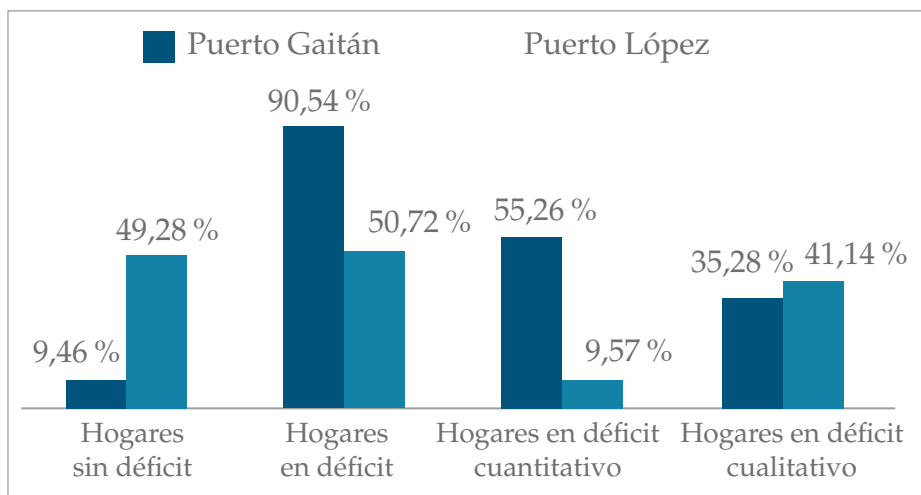


Figura 1.11. Porcentaje de NBI en Puerto Gaitán y Puerto López (2005).

Fuente: DANE (2005, 2006)

De acuerdo con los resultados de los censos del DANE de 1993 y 2005, el indicador NBI en Puerto López presentó una disminución de 14,04 puntos, y en Puerto Gaitán de 7,87, lo que permite determinar que las condiciones de vida de la población han mejorado y los hogares han tenido una mayor cobertura de sus necesidades de acceso a servicios sociales y condiciones básicas.

Quienes habitan en las zonas rurales presentan la mayor cantidad de carencias, lo que se refleja en un NBI más elevado. Según el censo del DANE, en 2005, el indicador NBI en el área rural de Puerto Gaitán fue del 83,37 % y en Puerto López del 42,92 %.

Actividades económicas

La economía del departamento del Meta se basa en la actividad agrícola, pecuaria, la industria, el comercio y la explotación de petróleo y gas. Se cultiva arroz, soya, maíz, yuca, algodón, plátano, cítricos, sorgo, cacao, caucho, forestales y palma.

La actividad pecuaria (ganadería y porcicultura) se destina a la cría, levante y engorde de ganado. Es uno de los departamentos con mayor inventario bovino, y su participación en el total nacional es del 10,16 %. Su territorio se caracteriza por contar con extensas áreas de pastos, que permiten el desarrollo de esta actividad.

La industria del departamento se basa en la trilla de arroz, la extracción y el refinamiento del aceite de palma, la actividad metalmecánica, y la elaboración de bebidas y productos para construcción. Se desarrollan también actividades del sector servicios, como el turismo y el comercio de bienes y servicios, principalmente con el centro del país.

En la zona de la altillanura plana metense (Puerto López y Puerto Gaitán), se realizan actividades económicas del sector primario, como ganadería extensiva de cría, levante de vacunos y agricultura.

En el municipio de Puerto López se cultiva principalmente arroz, algodón, maíz, soya, yuca, plátano, café, frutales y forestales. La ganadería bovina y porcina y la pesca también son de gran importancia para el municipio. En 2009, la población bovina fue de 224.270 animales, se sacrificaron 2.260 entre enero y julio de ese año, y la producción promedio de leche diaria fue de 2.785 litros. El inventario porcino registró 11.140 animales y la producción piscícola llegó a las 1.060 t (Gobernación del Meta, 2011).

En Puerto Gaitán, una de las principales actividades económicas es la ganadería. De acuerdo con el informe de coyuntura emitido por la Secretaría de Agricultura, en 2009 el inventario bovino fue de 161.700 animales y el de porcinos fue de 30.890, y se comercializaron en promedio 1.214 litros de leche diarios (Gobernación del Meta, 2011). Así mismo, la agricultura se desarrolla con cultivos de maíz, soya, arroz, plátano, yuca, palma africana y caucho.

De igual forma, se realizan actividades del sector servicios, como el turismo y la promoción de ferias y fiestas, entre las que se encuentran el Festival de Verano y el Festival Internacional de la Cachama, que atraen a una gran cantidad de personas de otras regiones e impulsan otras áreas, como la hotelera y los restaurantes. A su vez, la explotación de petróleo es muy importante, ya que esta zona es la principal en la producción de este producto en el departamento del Meta.

Contexto de cultivos transitorios

Los cultivos transitorios han sido tradicionales en la Orinoquía colombiana. El enfoque y uso de la rotación de cultivos, como arroz, maíz y soya, en la altillanura colombiana se inicia en los años ochenta. Se trata de un sistema necesario, que funciona como un motor biológico, dado que la diversidad de cultivos conduce a una mayor diversidad de fauna y flora en el suelo, y a la vez funciona como control fitosanitario (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015).

Maíz

En la zona de altillanura, el objetivo principal de los cultivos es producir materia prima para la elaboración de alimentos balanceados para las cadenas productivas avícola, porcícola y bovina.

En Colombia, la producción de maíz se clasifica como tradicional —lo cual hace referencia a los cultivos que no incluyen tecnología en su producción y que, por lo general, se utilizan para autoconsumo y en las labores de “civilización” de tierras (siembras de pasto)— o como tecnificada —en la que el sistema productivo incluye tecnología de punta, semillas certificadas y el compendio de recomendaciones tecnológicas existentes—.

En 2010, la superficie cosechada de maíz fue de 495.048 ha, de las cuales 132.003 corresponden a tecnificado y 363.045 a tradicional. La producción total fue de 1.069.059 t, de la cuales 516.082 corresponden a tecnificado y 552.977 a tradicional. El departamento del Meta se ubica en el quinto lugar de producción de maíz tecnificado, con una participación del 16,2 % del total nacional (MADR, 2012).

En el periodo de 2000 a 2009, en el Meta se sembró un promedio anual de 9.366 ha de maíz tradicional y 13.317 ha de tecnificado; y en el 2010 estas cifras fueron de 8.788 ha y 12.626 ha, respectivamente. En la zona de altillanura (Puerto López y Puerto Gaitán), las áreas de cultivo de maíz tradicional han ido disminuyendo y la producción se ha tecnificado.

En el año 2010 se sembraron en Puerto López 43 ha de maíz tradicional, con una producción de 79 t, para un rendimiento de 1,8 t/ha. En la altillanura se sembró maíz tecnificado en 6.753 ha, 4.574 ha en Puerto López, con una producción de 21.670 t, para un rendimiento de 4,8 t/ha (Gobernación del Meta, 2011).

Soya

La soya es una leguminosa, cuyo cultivo ha sido utilizado como alternativa de rotación, principalmente con cultivos de maíz y arroz, para mejorar las condiciones de los suelos, por su aporte biológico y químico. Su producción también se ha aprovechado como ensilaje para la alimentación animal, con fines comerciales para la venta de grano y, mediante su procesamiento, para la producción de alimentos balanceados para animales.

Colombia, ocupa el puesto 32 en la producción mundial, y el departamento del Meta es uno de los principales productores de soya a nivel nacional, con aproximadamente el 76 % de la producción, repartida en la zona del piedemonte y la altillanura (Gobernación del Meta, 2009).

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, entre 2000 y 2004 el cultivo de soya en el Meta tuvo un incremento de área de 17.260 ha, pasando de 1.220 ha a 18.480 ha. La mayor área sembrada se registró en el año 2004, con 31.160 ha y una producción de 29.399 t. El 10,45 % fue plantado en Puerto López (3.255 ha), donde se produjeron 29.300 t.

En los últimos años (2005-2010), el cultivo de la soya ha tenido un comportamiento relativamente estable, con un promedio de 22.700 ha sembradas al año, con pequeñas disminuciones, debido al comportamiento del precio internacional, que se ha reducido.

Procesamiento de maíz y soya

En la altillanura plana se encuentra la procesadora de la marca La Fazenda, llamada planta Contegral, filial del grupo Aliar S. A., cuya producción es utilizada para el consumo de los 5.200 cerdos criados y engordados en las fincas del mismo grupo. Estos animales son sacrificados en el Frigorífico Guadalupe de la ciudad de Bogotá, y su carne es distribuida en almacenes de grandes superficies. La producción de estos cultivos que no se procesa en esa planta se lleva a Bogotá y se comercializa en la Bolsa Nacional Agropecuaria.

Canales de comercialización para el maíz y la soya

Antes de 2005, se realizó un acuerdo entre productores y las plantas de procesamiento para la absorción de la cosecha (obligación de las plantas procesadoras de comprar la producción nacional), con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

A partir del año 2006, para esta absorción se empleó la fórmula de paridad (herramienta concertada entre el MADR, las plantas procesadoras y los productores para establecer el precio nacional), a través de la Bolsa Nacional Agropecuaria, utilizando el Mecanismo Público de Administración de Contingentes Agropecuarios (MAC).

Según la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce) (2012), la fórmula de paridad de precios se usa para subastar algunos productos en la Bolsa Nacional Agropecuaria: el precio resultante es el valor mínimo con el que debe comprarse la cosecha nacional.

$$PP: \{(((FOB + FM) + SM) * (1 + @) + GP + EPA) * TRM\} + (FCC - FCAC)$$

Donde:

FOB	precio futuro (PF) + Base (B)
FM	flete marítimo
SM	seguro marítimo
@	arancel (%)
GP	gastos portuarios
TRM	tasa representativa del mercado

FCC	flete del puerto al centro de consumo
FCAC	flete del centro de producción al centro de consumo
EPA	efecto de preferencia arancelaria

Arroz

El arroz es un cereal dedicado principalmente al consumo humano, constituye uno de los principales productos en la alimentación y también es usado como materia prima en las industrias cosmética y de alimentos balanceados para animales, entre otras.

En la zona de altillanura, la mayor parte del volumen sembrado se ha utilizado para la multiplicación de la semilla, con el fin de sembrarlas en otras fincas. En los años en los que se ha incrementado (2009-2010), los excedentes se han dirigido al procesamiento en los molinos del municipio de Villavicencio, un total de diecisiete. Por otra parte, de 2009 a 2010, la compañía Kellogg's compró en el departamento del Meta cerca de 10.000 t de arroz de la variedad Corpoica Llanura 11, destinadas a sus productos.

En el Meta, según las cifras registradas por la Secretaría de Agricultura, predomina el sistema seco, del cual, en el área de Puerto López, entre 2000 y 2010, se sembraron en promedio 56.115 ha, frente a 29.574,6 ha en arroz de riego. En 2010, en el Meta se sembraron 68.823 ha en arroz seco, 11.323 de ellas en Puerto López, con una producción de 53.623 t. En arroz de riego se sembraron 25.380 ha en el departamento, y 6.886 ha en Puerto López, con una producción de 36.110 t.

Contexto de los cultivos permanentes

La economía del departamento del Meta se basa en la pluralidad de sus renglones productivos, entre ellos, el agropecuario, el industrial, el comercial y la explotación de recursos minerales. En el renglón agropecuario se encuentra la explotación de perennes o permanentes, como caucho, palma, cacao y forestales (Rodríguez, Bautista, Dias, Stachetti, & Espinosa, 2015).

Por su condición, en su desarrollo productivo los perennes requieren un apalancamiento financiero más fuerte que los cultivos transitorios y las actividades ganaderas, debido a que desarrollan tardíamente su producción o explotación. Sin embargo, combinaciones con otros sistemas de producción pueden generar los flujos de caja necesarios para el mantenimiento inicial de los cultivos.

Caucho

El cultivo del caucho permite obtener el látex, utilizado por la industria como materia prima para la elaboración de diferentes productos. De acuerdo con el informe de coyuntura del año 2010 de la Secretaría de Agricultura del Meta, en Colombia se consumen anualmente cerca de 25.000 t de caucho natural y se producen 2.000 t, lo que representa un déficit del 93 %, que es suplido con importaciones (Gobernación del Meta, 2011). El caucho líquido se importa de Guatemala, y el resto de Tailandia y Malasia.

El departamento del Meta cuenta con condiciones climáticas favorables para el cultivo de caucho, que permiten escapar, en forma natural, de la enfermedad causada por *Microcyclus ulei*, conocida como el mal suramericano de la hoja del caucho (SALB). Los factores que permiten evitarla en la región consisten en que la humedad relativa promedio es del 65 %, y que de diciembre a febrero se presenta un periodo seco de noventa días, en el cual el caucho pasa por defoliación y refoliación, y luego florece.

Según la Secretaría de Agricultura, en 2010 en el Meta se sembraron 10.182 ha de caucho, y en la zona de altillanura 9.220 ha, de las cuales 7.734 ha corresponden al municipio de Puerto López (el 75,9 % del área sembrada en el Meta), con una producción de 1.162 t.

En la altillanura metense se encuentran las plantaciones de Mavalle, empresa que cuenta con una planta de procesamiento para hacer crepé, que se vende a los fabricantes de suelas de Bogotá (\$6.000/kg); la de Cafam, que vende su producción a Mavalle; y las de Tierra Grata y San Carlos, cuya producción es vendida como caucho líquido a la compañía Aguiar S. A. (\$2.000/l), para la elaboración de guantes.

Contexto de ganadería

Según la Secretaría de Agricultura del Meta, en 2011 el departamento contaba con 1.612.750 cabezas de ganado, de las cuales 231.000 provenían de Puerto López. En la altillanura, el ganado gordo se destina al frigorífico de Catama en Villavicencio, que recibe otra parte en su centro de negocios, para los frigoríficos de Bogotá. En Puerto López existe un matadero donde se comercializa principalmente el ganado de reposición para engorde.

En la zona de altillanura, con un índice de extracción del 18 %, en 2010 se vendieron 71.685 cabezas de ganado en el mercado de ganado gordo en Catama: un 71 % (51.168) salió a la venta para Bogotá, y el 29 % restante (20.697) se destinó al consumo interno del departamento.

Oferta tecnológica de AGROSAVIA para sistemas de producción de la altillanura

A través de las tecnologías desarrolladas por los procesos de investigación en AGROSAVIA, se ha buscado mejorar las condiciones de los suelos y crear nuevas variedades, adaptables a condiciones específicas, con el fin de tener cultivos más eficientes y maximizar la producción. A continuación, se describe la oferta tecnológica para la zona de la altillanura plana en cultivos como maíz, soya, arroz, caucho y pastos.

Maíz

En torno al cultivo de maíz se han llevado a cabo proyectos de investigación y desarrollo tecnológico que han permitido que a los productores se les ofrezcan tecnologías para el desarrollo de este importante cultivo en la zona de la altillanura metense.

El cultivo de maíz puede ser una alternativa productiva para comenzar el ciclo en suelos de sabana nativa. Se inicia en el primer semestre del año y, en el segundo, se continúa con un cultivo de rotación con una leguminosa como la soya (Jaramillo & Pulido, 2004). Las tecnologías presentadas para este cultivo y su adecuado desarrollo se describen en las etapas de siembra, mantenimiento y cosecha.

Presiembra

Se refiere a las labores o actividades que se realizan antes la siembra. Es una de las etapas más importantes del cultivo y se fundamenta en la planificación, preparación y acondicionamiento de factores para la siembra.

- *Toma de muestra de suelos y análisis:* es necesario para conocer las condiciones del suelo, a través de un análisis químico y físico. De acuerdo con las condiciones del terreno, se requiere una muestra por cada 10 ha; en lotes nuevos, se recomienda tomarlas en una profundidad de 0 a 20 cm, mientras que en lotes mejorados se aconseja tomarlas en forma estratificada, en intervalos de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, para verificar la movilidad de los nutrientes en las diferentes capas del suelo.
- *Preparación y adecuación del terreno:* es recomendable encalar, para contribuir a disminuir la acidez del suelo e incrementar el contenido de calcio y magnesio. Cuando se siembra maíz por primera vez, y según los resultados del análisis de suelo, se debe aplicar e incorporar la cal en el suelo húmedo, entre treinta y sesenta días antes de la siembra, teniendo en cuenta la saturación de bases, la adaptación del genotipo y el contenido de calcio y magnesio.

En suelos de la altillanura plana en los que se vaya a sembrar por primera vez, se requieren entre 2 y 3 toneladas de cal dolomita por hectárea, cantidad que va disminuyendo en las siguientes siembras. Es indispensable aplicarla con encaladora e incorporarla con el pase de rastra o un arado de cincel rígido, procurando que profundice preferiblemente hasta los primeros 20 cm o más del suelo.

Selección de semillas

Al sembrar por primera vez, se recomienda utilizar los híbridos de maíz amarillo Corpoica Altillanura H-111 y Corpoica H-108. En lotes ya intervenidos, se pueden usar híbridos comerciales que sean aptos para la región. Se debe verificar que la semilla sea de un tamaño uniforme.

Siembra

- Se requiere utilizar una sembradora abonadora, calibrada para ubicar entre 6 y 7 semillas por metro lineal, con distancias entre surcos de 0,80 m. Esto también depende del tipo de cosechadora que se va a utilizar.

- Es necesario disponer las semillas de manera que se cuente con una población de aproximadamente 62.500 plantas de maíz por ha.
- Se debe realizar una labor conocida como *preabonado*, para asegurarse de que el maíz tenga nutrientes en el momento en que germine.
- Se recomienda aplicar yeso cinco u ocho días después de la siembra, en dosis de 300 a 500 kg por ha; puede ser mezclado con cal y debe proceder de procesos industriales.

Mantenimiento del cultivo

Durante el crecimiento del cultivo se ejecutan prácticas de manejo, con el fin de prevenir problemas fitosanitarios y garantizar un buen desarrollo.

Fertilización

En el momento de la siembra, se recomienda aplicar todo el fósforo y la mitad de potasio. A los quince días se fracciona el nitrógeno y se administra con el resto del potasio; a los treinta días de edad se emplea el nitrógeno por última vez.

Las fuentes de alta solubilidad, como los fertilizantes compuestos, se deben usar en el momento de la siembra, en banda o surco. No es conveniente mezclar las fuentes de alta solubilidad de fósforo con cales, y se deben aplicar por separado. Este fósforo debe agregarse durante la siembra.

Se recomienda utilizar cloruro de potasio en banda o surco cerca de la semilla o la planta. La fuente de nitrógeno debe agregarse en partes iguales, quince y treinta días después de la emergencia del cultivo de maíz. En lotes francoarenosos, la cantidad de nitrógeno se debe fraccionar en tres aplicaciones, en banda, y, si es posible, con una distancia del surco de entre 10 y 20 cm.

Manejo integrado de malezas

Prácticas culturales, como la utilización de semilla certificada, la selección adecuada de los lotes, la rotación de cultivos, la densidad de siembra adecuada, la utilización de maquinaria limpia y una adecuada fertilización contribuyen a estimular el buen desarrollo del cultivo y no de las malezas.

El control de malezas se debe realizar entre las primeras tres y cinco semanas después de que ha germinado el maíz. En caso de que se requiera control

químico, se recomienda la asesoría de un agrónomo, con el fin de elegir el producto adecuado y utilizarlo correctamente. Cuando se siembra en suelos de sabanas mejoradas, es necesario el uso de herbicidas desecantes, para el manejo de la vegetación antes de la siembra del cultivo.

Manejo integrado de insectos y plagas

Con el objetivo de controlar y contrarrestar los efectos negativos o daños que producen los insectos plaga que pueden afectar el cultivo y la producción, se deben realizar controles de índole química, biológica o cultural.

- Gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*): es indispensable inspeccionar el cultivo por lo menos una vez por semana, para buscar señales de daño por insectos plaga. Cuando el tiempo esté seco y el daño en fresco sea superior al 35% en cogollo, se debe tomar una medida química de control. Para el control del cogollero se utilizan diversas estrategias, como el uso de trampas de monitoreo con melaza para capturar el adulto (mariposa) o la liberación de la avispa *Telenomus remus*, que parasita los huevos de *Spodoptera* spp. Sobre larvas de hasta tercer estado, se pueden utilizar biopesticidas con un ingrediente activo como el *Bacillus thuringiensis*. Si es necesario aplicar insecticidas químicos, deben ser de baja toxicidad y específicos, como los simuladores hormonales o los inhibidores de la síntesis de quitina.
- Gusano barrenador del tallo (*Diatraea* spp.): es imprescindible realizar un manejo y control cultural y biológico, basado en prácticas de siembra oportunas en el primer semestre, así como liberaciones de la avispa *Trichogramma exiguum* a partir de quince días después de la emergencia del cultivo. En promedio, se utilizan cinco liberaciones de 40 pulgadas por hectárea cada una, de forma que se cubra todo el ciclo vegetativo del cultivo.

En la zona, es importante realizar la siembra del cultivo en forma oportuna, y no hacerlo después del 15 de mayo. Las liberaciones se pueden combinar con otras medidas, de tipo cultural, físico o mecánico, como el uso de las avispas (*Polistes* spp.) o trampas que atraen polillas nocturnas.

Cosecha

La recolección se programa con anticipación y se sincroniza con la siembra del cultivo de rotación. La cosecha se realiza aprovechando el tiempo seco, para que el grano alcance los niveles de humedad más bajos. Los días que transcurran entre la siembra y la cosecha dependen del material plantado.

Soya

El departamento del Meta es uno de los principales productores de soya a nivel nacional, por lo que ha sido de gran importancia el desarrollo de la investigación sobre su cultivo en aspectos tecnológicos, como manejo agronómico, generación de variedades de soya desarrolladas para adaptarse a los suelos ácidos de la altillanura, biofertilizantes y control de plagas, entre otros (Jaramillo & Cubillos, 2006).

Presiembra

Para su óptimo desarrollo, el cultivo de la soya requiere de suelos de textura franca o moderadamente finos, con buenas condiciones de drenaje y contenidos medios de materia orgánica, donde no existan limitantes de tipo químico. En esta etapa también se debe llevar a cabo el tratamiento de semilla. A continuación, se mencionan prácticas de preparación del terreno, para la adecuada siembra de materiales.

Labranza reducida o mínima

Esta práctica consiste en reducir el número de labores en la preparación del suelo, que pueden ser de una a tres, efectuadas con cinceles rígidos o vibratorios, permiten romper capas compactas del suelo y mejoran la aireación y el drenaje. Se recomienda utilizar el cincel vibratorio cuando la compactación del suelo es superficial (0 a 25 cm) y el cincel rígido cuando es más profunda (mayor a 25 cm) (Jaramillo & Cubillos, 2006).

Labranza cero o siembra directa

Esta tecnología permite hacer la siembra sin ninguna labor de preparación, pero requiere suelos en buenas condiciones físicas, químicas y biológicas. Se realiza con una máquina específica, que debe contar con un disco de corte, una sección de siembra, aplicación de fertilizantes y ruedas prensadoras o compactadoras.

Este tipo de siembra se hace gradualmente, después de la labranza reducida. En suelos degradados es necesario usar cinceles y abonos verdes, hasta que se recuperen. Vale la pena señalar que el sistema exige que los implementos y los equipos sean regulados y calibrados.

Correctivos

De acuerdo con los resultados del análisis químico de suelos, se corrige la acidez y los efectos tóxicos del aluminio con cal, que permiten llevar el pH a niveles de 5,5 o 6,0. La cal dolomita, que contiene un 21,6 % de Ca y un 13,1 % de Mg, es el material que más se utiliza. En el cálculo de los requerimientos se utiliza el método Van Raij.

El material se debe aplicar entre los primeros 15 y 20 cm de profundidad, utilizando arado, rastra u otro implemento, y mezclando el material con la capa de suelo donde están las raíces activas del cultivo. Reacciona aproximadamente treinta días después de su empleo. No tiene limitaciones de época para su uso mientras que haya humedad en el suelo y no coincida con la práctica de fertilización (Jaramillo & Cubillos, 2006).

Inoculación

Existen inoculantes para suministrar nitrógeno, como la cepa de *Rhizobium* ICA J-01, que deben utilizarse teniendo en cuenta las siguientes instrucciones y recomendaciones.

- Es importante inocular en la sombra, para proteger los rizobios.
- Preparar una solución de azúcar al 10 % (10 g de azúcar en 100 ml de agua), depositar la semilla en un recipiente limpio (balde, caneca, mezcladora, bolsa plástica o sobre lonas) y agregarle la solución en proporción 1:2 (inóculo: solución de azúcar).
- Adicionar 5 g de inoculante específico para soya por cada kilo de semilla y agitar fuertemente, para que el inóculo se adhiera a la semilla de manera uniforme.
- Dejar secar la semilla a la sombra durante pocos minutos y sembrar el mismo día en que se hizo la inoculación.
- Si se trata de la primera siembra en la altillanura, se debe duplicar o triplicar la cantidad de inoculante, entre 10 g y 15 g por kg de semilla (Jaramillo & Cubillos, 2006).

Siembra

Se deben seleccionar genotipos de buen vigor y llevar a cabo esta fase con sembradoras apropiadas para las condiciones de la región. Para el sistema de siembra en surcos (arroz-soya; maíz-soya) se utilizan sembradoras de

labranza mínima: para la soya, las de cultivos densos, con ajustes y combinaciones, y para cultivos en surcos amplios o estrechos son útiles las sembradoras multipropósito.

Mantenimiento del cultivo

Las recomendaciones y tecnologías para mantener el cultivo están dirigidas al manejo de malezas, plagas y enfermedades.

Manejo de malezas

Con el fin de retrasar o evitar la aparición de malezas nocivas para la producción del cultivo, existen diferentes prácticas, como las culturales, químicas, biológicas y mecánicas, entre otras, que se basan en el manejo agronómico y que permiten el establecimiento y desarrollo de un cultivo fuerte, que compita fácilmente con las malezas. El manejo integrado de malezas se subdivide en el preventivo, el mecánico y el químico.

Manejo preventivo

La rotación de cultivos permite variar el ambiente donde compiten las malezas, para que algunas no sobrevivan y otras no tengan oportunidad. De igual forma, se debe cambiar el tipo de control (herbicida), para que la maleza no desarrolle resistencia.

Dentro del manejo integrado de malezas, otra práctica eficiente es el uso de variedades como los genotipos Soyica Ariari 1 y Corpoica Orinoquía 3, que tienen mayor vigor en los primeros estados de desarrollo de la planta y ofrecen condiciones favorables para competir con las malezas. Otro método consiste en un adecuado arreglo poblacional: las plantas sembradas en espacios cortos (de 17 o 34 cm) permiten mejorar la habilidad competitiva del cultivo frente a las malezas (Bernal, 2006).

Manejo mecánico

Esta práctica se utiliza para controlar problemas de maleza ya establecida, y consiste en eliminar la maleza a mano o con implementos mecánicos. El cultivador rotativo utilizado después de la siembra controla plántulas de maleza con sistema radicular poco profundo (para cultivos de espacios amplios, de 40 a 45 cm).

Manejo químico

Se aconseja realizar una aplicación de un producto químico en presiembra, un herbicida no selectivo. Cuando hay una cobertura densa, se debe hacer un corte mecánico (con desbrozadora o guadaña) o usar un rolo para acostar la cobertura (*Crotalaria* sp., caupí, millo o arroz) y utilizar el herbicida. Otra alternativa es la aplicación doble (secuencial) de herbicidas, fraccionando la dosis del producto. Algunos de ellos deben incorporarse al suelo con implementos agrícolas, para evitar problemas de fotodescomposición o volatilización.

En la postsiembra, se recomienda aplicar en dos momentos clave:

- *Preemergencia*: después de la siembra y antes de la emergencia del cultivo, se deben realizar aplicaciones de herbicidas que actúen en la fase de germinación de las malezas.
- *Posemergencia*: posterior a la emergencia del cultivo, se deben tener en cuenta dos aspectos. 1) El producto a aplicar no siempre actúa como selectivo. 2) Se debe conocer la dosificación y la forma de aplicar el producto. Los herbicidas son más efectivos cuando se aplican sobre malezas jóvenes.

Manejo de plagas

La Japan International Cooperation Agency (JICA, 2007, p. 4) define que esta actividad como “Mantener el nivel del daño de enfermedades y plagas por debajo del límite económico aceptable, combinando varias formas de control”. Este límite se puede interpretar como el balance racional entre los costos de producción, la salud humana y el medioambiente. A continuación, se presentan distintos tipos de plagas que se hacen presentes en los cultivos de soya de la altillanura plana del Meta.

- *Trozadores o tierreros*: de acuerdo con Jaramillo y Cubillos (2006), el control del trozador negro (*Agrotis ipsilon*) y de las larvas de *Spodoptera* requiere que se destruyan los residuos de la cosecha antes de preparar el suelo y realizar control de malezas. También es importante monitorear el daño causado por trozadores a partir de la siembra y durante los primeros 25 días de edad del cultivo.

Si se presenta entre el 5 % y el 10 % de plantas trozadas y más de una larva por metro lineal, es necesario controlar los focos de ataque de la plaga, mediante el uso de cebos tóxicos, manualmente o usando un tractor con boleadora, según el área a tratar. Se aconseja aplicar el producto en horas de la tarde.

- *Perforadores de follaje*: entre ellos se encuentran principalmente los crisomélidos (*Cerotoma*, *Diabrotica* y *Colaspis* spp.). Se aconseja realizar el control de malezas con anticipación y preparar el suelo con labranza mínima. Si se presentan de dos a tres crisomélidos por planta y una defoliación superior al 20% en la época de floración, se debe efectuar un control químico con monocrotofos, carbaril o triclorfón, entre otros, según prescripción del ingeniero agrónomo (Jaramillo & Cubillos, 2006).
- *Comedores de follaje*: las especies de esta clase de insectos que más afectan son *Anticarsia gemmatalis*, *Omiodes indicata* y los plusínidos. Se recomienda realizar un manejo preventivo, basado en el control biológico y, después de treinta días de edad del cultivo, hacer liberaciones semanales de 30 a 40 pulgadas de *Trichogramma* sp. hasta los inicios de la maduración del cultivo.
Si hay defoliaciones mayores al 30% antes de la floración y promedios de veinte larvas pequeñas de comedores de follaje por metro, se deben utilizar insecticidas biológicos, como el *Bacillus thuringiensis* (Bt), o insecticidas selectivos, como los inhibidores de síntesis de quitina.
- *Perforadores de vainas*: en esta categoría, *Maruca vitrata* es considerada la plaga más importante. Su manejo se basa en la utilización de agentes biológicos, como el Bt, que controla cerca del 90% cuando se asperja en los estados iniciales del insecto, ubicado en el terminal de la planta de soya. Esta práctica se puede combinar con liberaciones de parasitoides de huevos de plagas y el control natural del entomopatógeno *Nomuraea rileyi* de *Anticarsia gemmatalis*.
- *Chupadores de vaina*: *Piezodorus guildinii* es el más frecuente entre ellos. Como medida de prevención, se controlan malezas dentro y en los alrededores de los lotes. Se puede realizar control biológico natural de los huevos con parásitos como *Telenomus* sp. y varios predadores. Si en el monitoreo se encuentran más de tres chinches por metro lineal en la época de llenado de grano, se recomienda el uso de productos químicos, como dimetoato, monocrotofos, triclorfón o carbaril, entre otros.
- *Hormigas*: el control de hormigas cortadoras y arrieras del género *Atta* sp. se realiza antes de la siembra, mediante la preparación del suelo con arado de cincel, cuando se encuentran en hormigueros pequeños. En hormigueros de mayor tamaño, se deben insuflar en su interior insecticidas en polvo o utilizar cebos granulados en los caminos y sitios cercanos a su entrada (productos formulados con base en fipronil, sulfluramida, clorpirifos o diflubenzuron).

Manejo de enfermedades

Según la JICA (2007), el manejo de enfermedades es la combinación de varios métodos de control que buscan mantener por debajo del límite económico aceptable el daño por enfermedades o plagas. Al respecto, Tapiero (2006) recomienda las siguientes prácticas para el manejo de enfermedades en el cultivo de la soya (*Glycine max* L.) en los Llanos Orientales de Colombia.

- *Roya*: puede afectar el cultivo en cualquier etapa de su desarrollo fenológico, pero los síntomas se observan en las hojas durante la floración. Para su control se aplican fungicidas específicos, como azoxistrobina, flusilazol/carbendacima, triadimefon, difenoconazol, propiconazol, hexaconazol, ethylenebis (dithiocarbamato). Si se presentan infecciones en el periodo vegetativo, se deben utilizar fungicidas protectantes; en el periodo de floración, se requiere el uso de productos sistémicos, llegando a las hojas del tercio inferior de la planta, donde se concentra la infección.
- *Pudrición de raíces y tallo por Phytophthora*: se presenta con mayor frecuencia en suelos con mal drenaje. Para reducir el riesgo, se deben realizar buenas prácticas agronómicas, como utilizar semilla certificada de variedades con resistencia al patógeno, mejorar el drenaje de los lotes, y evitar la compactación de los suelos; también se pueden aplicar fungicidas en el suelo.
- *Mancha ojo de rana*: afecta principalmente las hojas. Si las lesiones son cercanas al 30% del área foliar, se presenta amarillamiento y luego la caída de las hojas. Para evitarla, se debe utilizar semilla certificada de variedades resistentes, y, en zonas endémicas, se recomienda hacer rotación con otros cultivos durante dos años.
- *Maduraviche*: se conoce como pudrición radicular por *Cylindrocladium*. Puede evitarse utilizando semilla certificada de variedades tolerantes y realizando labores que permitan el drenaje del terreno. Cuando se presenta, se debe realizar rotación de cultivos con especies que no sean susceptibles a ella.
- *Rizoctoniasis*: hace que las plantas sean más pequeñas, amarillentas y tengan un desarrollo radicular pobre. Para su control, se recomienda utilizar semilla certificada, realizar rotación con cultivos no susceptibles, como maíz, sorgo, yuca o plátano, y evitar la compactación del suelo. Además, es importante desarrollar prácticas culturales, que favorezcan el vigor de las plantas, en los estados iniciales del cultivo.
- *Añublos y pudriciones por Fusarium*: se dan frecuentemente en plantas que provienen de semillas de baja calidad y luego se dispersan en el cultivo.

Los síntomas se observan en la mitad del desarrollo del cultivo, en suelos arenosos y temperaturas mayores a 28 °C. Para controlarlos se debe utilizar semilla certificada, realizar labores de preparación que eviten la compactación del terreno y evitar el encharcamiento.

Variedades de soya

A través de procesos de investigación para el mejoramiento genético, se han desarrollado variedades de soya adaptadas a las condiciones del clima y los suelos de la altillanura, con lo cual se busca mayores rendimientos y competitividad. A continuación se describen dichas variedades.

Corpoica Superior 6

Las características generales y los requerimientos de esta variedad de soya se encuentran en la tabla 1.1 (Cubillos & Jaramillo, 2006).

Tabla 1.1. Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica Superior 6

Adaptación	Se adapta a suelos del piedemonte llanero y a suelos mejorados de la altillanura, con altitudes entre los 150 y 1.200 m s. n. m.
Suelos	Bien drenados, con una fertilidad de media a alta, sin problemas de contenidos de aluminio
Densidad de siembra	Población de 588.000 plantas/ha, en arreglos de 17 cm entre surcos y 10 cm entre plantas o de 34 cm y 5 cm respectivamente
Época de siembra	En altillanura (sabana mejorada): • Primer semestre, del 15 al 30 de abril • Segundo semestre, del 15 al 30 de agosto
Fertilización	Según el análisis de suelo
Control de malezas	Control preemergente o posemergente, antes de los primeros veinte días de edad del cultivo
Cosecha	Vainas secas con una humedad del grano inferior a 14 %
Reacción a enfermedades y plagas	• Tolerancia a enfermedades foliares, como mancha ojo de rana, pústula bacteriana, bacteriosis, mildew vellosa y virus del mosaico común • Es susceptible a la roya

(Continúa)

(Continuación tabla 1.1)

Plagas de importancia económica	<i>Cerotoma tingomariana</i> , <i>Maruca vitrata</i> y <i>Anticarsia gemmatalis</i>
Rendimiento	En altillanura, presenta una alta precocidad (madurez fisiológica en menos de ochenta días después de la emergencia), uniformidad de secamiento, alta calidad de grano y rendimiento de grano similar a la variedad tradicional, con un potencial de rendimiento de 3,2 t/ha

Fuente: Elaboración propia con base en Cubillos y Jaramillo (2006)

Corpoica Sabana 7

Esta variedad, diseñada para los suelos ácidos de la altillanura (Valencia & Caicedo, 2010), representa una buena opción para el sistema de rotación de maíz y soya, y responde a dosis medias de fertilizante (tabla 1.2). La variedad de arroz precoz (90-115 días) complementa el sistema rotacional de arroz y soya. El establecimiento de la soya se realiza a finales de agosto y principios de septiembre, y la cosecha se realiza 115 días después.

Tabla 1.2. Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica Sabana 7

Suelos	Suelos bien drenados de mediana fertilidad de la altillanura, con una saturación de bases del 40 % al 60 %
Densidad de siembra	Población de 558.000 plantas/ha, en arreglos de 17 cm entre surcos y 10 cm entre plantas. Se debe revisar el uso de sembradoras en las que el máximo ajuste de los compartimentos de distribución de semillas solo alcanza un estrechamiento mínimo de 40 cm entre surcos
Época de siembra	Segundo semestre en altillanura: del 15 al 30 de agosto
Fertilización	Según análisis de suelos
Control de malezas	Preemergente o posemergente, antes de los primeros veinte días de edad del cultivo
Cosecha	Vainas secas, con humedad del grano del 13 %

(Continúa)

(Continuación tabla 1.2)

Reacción a enfermedades y plagas	• Tolerancia a enfermedades foliares, como mancha ojo de rana, bacteriosis y mildew veloso, y tolerancia moderada a la pústula bacteriana y a los complejos virales • Susceptible a la roya
Plagas de importancia económica	<i>Cerotoma tingomariana</i> , <i>Maruca vitrata</i> y <i>Anticarsia gemmatilis</i>
Rendimiento	• Superó la variedad tradicional en un 21,7% cuando la saturación de bases fue del 25,7% y, en saturación de bases de entre el 40% y el 60%, la diferencia fue 6,4% y 18,1%, con rendimientos promedio entre 2,38 y 2,65 t/ha • Alta adaptación en los oxisoles de la Orinoquía

Fuente: Elaboración propia con base en Valencia y Caicedo (2010)

Corpoica La Libertad 4

Esta variedad (Valencia & Segura, 2004) es una alternativa genética, adaptada a los suelos ácidos de la altillanura (saturación de bases del 40% y el 60%) y a altitudes de entre 150 y 1.200 m s. n. m. Proviene del cruzamiento simple Doko × Elta 06, realizado en 1991 en el Centro de Investigación La Libertad (tabla 1.3).

Tabla 1.3. Características y requerimientos de la variedad de soja Corpoica La Libertad 4

Suelos	En la altillanura plana, se debe sembrar en suelos con textura franca, no compactos y con buen drenaje
Densidad de siembra	Población de 558.000 plantas/ha, en sabanas nativas, con 17 cm entre surcos y 10 cm entre plantas; y en sabanas mejoradas con 34 cm entre surcos y 5 cm entre plantas. La menor distancia entre surcos favorece el crecimiento y el desarrollo de las plantas
Época de siembra	Del 15 al 30 de agosto. Es necesario utilizar una sembradora de surco, calibrada para 100 kg/ha de semilla certificada (100 semillas pesan 17 g)

(Continúa)

Fertilización	• Como enmiendas, es recomendable aplicar cal dolomita, de acuerdo con el análisis de suelos; y se debe incrementar la saturación de bases del suelo entre un 40 % y un 60 %, para alcanzar altos rendimientos • Es importante el uso de nitrógeno, así como inocular la semilla con la cepa de su preferencia. AGROSAVIA recomienda la cepa <i>Rhizobium</i> ICA J-01 • En sabana nativa se debe utilizar 1 kg de inoculante por cada 100 kg de semilla y, en sabana mejorada, 0,5 kg por cada 100 kg • Es indispensable evitar que los fertilizantes entren en contacto con la semilla en la siembra • Teniendo en cuenta que el fósforo es poco móvil, deberá aplicarse a un lado y un poco más profundo que la semilla
Control de malezas	Se realiza siguiendo las recomendaciones del asistente técnico
Cosecha	La madurez completa se presenta cuando el 95 % de las vainas ha alcanzado el color indicado; se da entre los 95 y los 115 días
Reacción a enfermedades y plagas	• Tolerancia a enfermedades foliares, como mancha ojo de rana, pústula bacteriana, bacteriosis, mildew velloso y el virus del mosaico común • Susceptibilidad a la roya • Es indispensable realizar un control integrado de plagas, con énfasis en control biológico
Plagas de importancia económica	<i>Cerotoma tingomariana</i> , <i>Maruca vitrata</i> y <i>Anticarsia gemmatalis</i>
Rendimiento	• Con una saturación de bases del 25 %, la variedad produjo 2.171 kg/ha, y superó en un 28,3 % la producción de grano Soyica P-34 • Con un 52 % de saturación de bases, tuvo rendimientos de 2.470 kg/ha, con una diferencia de 23,2 % respecto a Soyica P-34

Fuente: Elaboración propia con base en Valencia y Segura (2004)

Corpoica Taluma 5

Se trata de una alternativa genética de doble propósito: por una parte, con utilidad forrajera para la alimentación balanceada de rumiantes y, por otra, como productora de grano para la alimentación de monogástricos (Valencia, Pardo, Rincón & Bueno, 2006).

Corpoica Taluma 5 para forraje

El forraje de esta variedad de soya (tabla 1.4) tiene un alto contenido de proteína (17%-24 %) y una importante capacidad de digestibilidad (65%-70 %) cuando el corte se realiza entre los 65 y los 72 días después de la emergencia. Aporta fósforo (0,24 %), potasio (1,4 %), calcio (0,5 %) y magnesio (0,4 %).

Tabla 1.4. Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica Taluma 5 para forraje

Suelos	• Adaptada a oxisoles de altillanura y terrazas altas de la Orinoquía • Se recomienda aplicar cal dolomita en las cantidades establecidas por el análisis de suelos, así como utilizar labranza vertical
Densidad de siembra	Población de 588.000 plantas/ha, en una siembra con 17 cm entre surcos y 5 cm entre plantas, con una producción en biomasa de 36,2 t/ha
Época de siembra	En suelos de altillanura, puede sembrarse en el primer o el segundo semestre del año
Fertilización	En suelos de primera siembra, se requiere aplicar 1 kg de inoculante ICA J-01 por cada 100 kg de semilla. En lotes donde previamente se haya sembrado soya, se recomienda aplicar 0,5 kg/100 kg de semilla
Cosecha	Cuando la soya haya alcanzado el estado de formación completa de vainas e iniciado el llenado de estas, se realiza el corte de la biomasa aérea, que incluye tallos, hojas y vainas (entre 67 y 72 días después de la emergencia)
Reacción a enfermedades y plagas	• Tolerancia a enfermedades foliares, como mancha ojo de rana, pústula bacteriana, bacteriosis, mildew vellosa y virus del mosaico común

(Continúa)

(Continuación tabla 1.4)

Reacción a enfermedades y plagas	• Susceptibilidad a la roya • Es importante realizar un control de plagas con énfasis en la aplicación de entomopatógenos y otros elementos biológicos • Es necesario que el control de malezas, tanto de especies de hoja ancha como de angosta, se haga en presiembra o en preemergencia, para mantener el cultivo libre de competencia en sus primeros 25 días
Plagas de importancia económica	<i>Cerotoma tingomariana</i> , <i>Maruca vitrata</i> y <i>Anticarsia gemmatalis</i>
Rendimiento	Es tolerante al aluminio, adaptada a saturaciones de bases del 40 % al 60 %, con una producción de biomasa vegetal de 15 a 32 t/ha (corte entre los 67 y los 72 días después de la emergencia)

Fuente: Elaboración propia

Corpoica Taluma 5 para grano

Tabla 1.5. Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica Taluma 5 para grano

Suelos	Suelos francos no compactados o degradados, de buen drenaje y con saturación de bases del 40 % al 60 %
Densidad de siembra	Población de 588.000 plantas/ha, con una distancia de 34 cm entre surcos y de 5 cm entre plantas
Época de siembra	En los primeros 15 días de agosto
Fertilización	• Según el análisis de suelos • Es importante inocular con <i>Rhizobium</i> (cepa ICA J-01)
Cosecha	Se hace cuando los granos tengan entre un 12 % y un 14 % de humedad. Es indispensable que se ejecute en el menor tiempo posible, para evitar pérdidas en la calidad y la cantidad de grano
Reacción a enfermedades y plagas	• Tolerancia a enfermedades foliares, como mancha ojo de rana, pústula bacteriana, bacteriosis, mildew vellosa y virus del mosaico común • Susceptibilidad a la roya • Es imprescindible hacer un control integrado de plagas con énfasis en el control biológico

(Continúa)

(Continuación tabla 1.5)

Plagas de importancia económica	<i>Cerotoma tingomariana</i> , <i>Maruca vitrata</i> y <i>Anticarsia gemmatalis</i>
Rendimiento	En sistemas de producción para grano, produce 2,6 t/ha, con un potencial de 4 t/ha en oxisoles. En ensayos comerciales se han alcanzado rendimientos entre 1,8 y 2,7 t/ha, según las condiciones edafoclimáticas y la época de siembra

Fuente: Elaboración propia

Soyica P-34

Es una variedad diseñada para la producción competitiva de grano de soya, gracias a su eficiencia en el uso de la luz y los elementos nutritivos. El manejo debe basarse en el conocimiento de la población existente en los lotes, las características del suelo y las condiciones climáticas (Valencia & Caicedo, 1992) (tabla 1.6).

Tabla 1.6. Características y requerimientos de la variedad de soya Soyica P-34

Suelos	Se adapta a suelos no inundables, de fertilidad media y alta, no propensos al encharcamiento, de textura franca, con una saturación de aluminio inferior al 25% y no limitados por capas endurecidas o por el nivel freático
Densidad de siembra	Buen comportamiento: entre 250.000 a 400.000 plantas/ha, sembradas a distancias de 50 a 60 cm entre surcos, y de 5 a 10 cm entre plantas (10 a 20 plantas por metro)
Época de siembra	En suelos de la altillanura, del 15 al 30 de agosto
Fertilización	• Se recomienda inocular con la cepa ICA J-01 • La soya es exigente en potasio, calcio y fósforo. Si se presentan deficiencias, es indispensable corregir de acuerdo con los requerimientos del cultivo y la magnitud de la deficiencia, siguiendo las instrucciones del asistente técnico
Control de malezas	Debe basarse en el conocimiento de la población de arvenses existente en los lotes, en las características del suelo y en las condiciones climáticas

(Continúa)

(Continuación tabla 1.6)

Cosecha	Se recomienda cuando el grano tenga un 14 % de humedad
Reacción a enfermedades y plagas	• En las condiciones de alta humedad en el piedemonte, es resistente a mancha ojo de rana, mildew veloso y mancha púrpura de la semilla • Es tolerante a la pústula bacterial y a los complejos virales, y es menos preferida por los crisomélidos • Para controlar masticadores del follaje, es recomendable la liberación de <i>Trichogramma</i>. Si después de esta acción se presenta una defoliación superior al 30 %, se requiere usar insecticidas biológicos (<i>Bacillus thuringiensis</i>) o de inhibidores de quitina
Rendimiento	Los resultados de once pruebas regionales, realizadas en parcelas experimentales, presentaron rendimientos promedio de 2.400 kg/ha, mientras que en tres pruebas semicomerciales fue de 2.200 kg/ha

Fuente: Elaboración propia

Soyica Altillanura 2

Constituye la primera variedad de soya desarrollada en Colombia para suelos ácidos de altillanura (Valencia, 2006) (tabla 1.7).

Tabla 1.7. Características y requerimientos de la variedad de soya Soyica Altillanura 2

Suelos	• Tolera hasta un 70 % de saturación de aluminio • No se recomienda para suelos de vega del piedemonte
Densidad de siembra	Población de 400.000 a 500.000 plantas/ha. Es recomendable estrechar la distancia entre surcos a 17 cm y ampliar la distancia entre plantas de 8 a 10 cm
Época de siembra	En el segundo semestre
Reacción a enfermedades y plagas	Resistencia a las principales enfermedades foliares de la zona, como mancha de ojo de rana, mildew veloso, pústula bacterial, bacteriosis y complejos virales
Rendimiento	Varía de acuerdo con los niveles de aluminio presentes en el suelo: con una saturación del 70 %, alcanza 1.500 kg/ha y con una saturación del 63 %, 2.100 kg/ha

Fuente: Elaboración propia

Corpoica Orinoquía 3

Se trata de una variedad recomendada para suelos de vega y sabanas de la Orinoquía, una alternativa para la siembra del primer semestre en suelos de altillanura (Valencia, 2006) (tabla 1.8).

Tabla 1.8. Características y requerimientos de la variedad de soya Corpoica Orinoquía 3

Suelos	• Bien drenados y no compactados • Tolera un 60% de saturación de aluminio y niveles altos de humedad del suelo, frecuentes en el primer semestre
Densidad de siembra	• Buen comportamiento en poblaciones de 350.000 a 500.000 plantas/ha • Es recomendable sembrar en distancias de 17 o 34 cm entre surcos y 10 o 12 cm entre plantas
Época de siembra	• En altillanura, en el primer semestre, del 15 al 25 de abril • En el segundo semestre, del 15 al 30 de agosto
Reacción a enfermedades y plagas	• Resistencia a mancha ojo de rana, mildew vellosa, pústula bacteriana, bacteriosis y a los complejos virales • Tolerancia a hongos de la vaina • Susceptibilidad a patógenos como <i>Fusarium</i> sp., <i>Rhizoctonia</i> sp. y <i>Phytophthora</i> sp.

Fuente: Elaboración propia

Biofertilizante

La interpretación de este término es muy amplia, ya que puede incluir desde microorganismos, abonos verdes y estiércoles, hasta extractos de plantas (Grageda, Díaz, Peña, & Vera, 2012). En síntesis, son productos que contienen microorganismos que, al ser inoculados, pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas y contribuyen a su nutrición y protección (Vessey, 2003).

Estos microorganismos se encuentran de forma natural en el suelo y abarcan diversos grupos, sin embargo, el manejo del suelo y el uso excesivo de agroquímicos afectan su población (Caballero, Carcaño, & Mascarua, 1992; Grageda, Mora, Castellanos, Follet, & Peña, 2003). Son alternativas de fertilización más saludables para el medioambiente, producidas por bacterias y hongos, que fomentan un mejor desempeño de la planta (Santillán, 2016).

Rhizobiol

Es un biofertilizante sólido, que tiene más de 10^8 unidades formadoras de colonias (UFC) de la bacteria simbiótica fijadora de nitrógeno *Bradyrhizobium japonicum* de la cepa ICA J-96, que es específica para soya.

Para su utilización, se deben ejecutar las siguientes acciones: inocular en un lugar sombreado, para evitar que los rayos del sol afecten a las bacterias; preparar una solución de agua con azúcar al 10 % (10 g de azúcar en 100 ml de agua), para que el inoculante se pegue a la semilla; colocar la semilla en un recipiente limpio; agregar 5 g de inoculante por cada kilo de semilla; incorporar 500 ml de solución de agua con azúcar al inoculante y mezclar bien con la semilla; verificar que todas las semillas queden recubiertas con el inóculo; dejar secar la semilla a la sombra por unos pocos minutos; sembrar el mismo día de la inoculación y tapar la semilla.

Este biofertilizante permite la sustitución de hasta 150 kg de nitrógeno por ha (300 kg de urea), el reemplazo del 100 % de la fertilización nitrogenada y la reducción de las pérdidas de nutrientes por lavado, también evita el arrastre por erosión y la volatilización. Además, favorece el aumento de la producción de soya entre 300 y 1.000 kg/ha, reduce los costos de producción entre un 5 % y un 11 % y contribuye a reducir los efectos de la contaminación (Ramírez, Moreno, Serralde, Pérez, & Salamanca, 2011).

Variedades de arroz

El departamento del Meta es uno de los principales productores de arroz a nivel nacional. En la altillanura, la investigación se ha dirigido a la incorporación de variedades adaptadas a condiciones de suelos ácidos, así como a la implementación del cultivo en asociación con pasturas, para recuperar praderas.

Corpoica Llanura 11

Es una variedad mejorada de arroz de alta precocidad, para sabanas de la altillanura plana orinoquense (Tapiero et al., 2003) (tabla 1.9).

Tabla 1.9. Características y requerimientos de la variedad de arroz Corpoica Llanura 11

Siembra	En suelos de sabana nativa, se recomienda la labranza vertical con cincel. Como enmiendas, es recomendable aplicar cal dolomita, en dosis de 500 kg/ha. Si se desea mejorar gradualmente el suelo, para cultivos subsecuentes menos tolerantes a la acidez, como soya y maíz, se pueden aplicar dosis mayores, a las que la variedad tiene buena respuesta
Densidad de siembra	• Población de 80 a 100 kg/ha de semillas, con sembradora de surcos, a 17 o 20 cm • En siembras al voleo, se aumenta la densidad a 140 kg/ha, aunque de este modo los rendimientos en la cosecha son menores
Fertilización	• Para sabana nativa, en la siembra se recomienda aplicar 120 kg/ha de P_2O_5, en forma de fosfato diamónico (DAP) o superfosfato triple. Adicionalmente, 100 kg/ha de K_2O como KCl, dividido en dos aplicaciones, una al momento de la siembra y la siguiente acompañada de la primera fracción de N (100 kg/ha), la cual es fraccionada en tres épocas • Si la fuente de P utilizada es DAP, esta ya contiene un 18% como aporte a la primera fracción de N. El N restante se aplica como urea fraccionada a los 15 o 29 días y a los 35 o 40 días después de la germinación • Se aconseja realizar la aplicación del N en época temprana, a causa de la alta precocidad de la variedad
Manejo integrado de malezas	• Es necesario utilizar semilla certificada. Se recomienda el uso de coberturas leguminosas, como <i>Mucuna deeringiana</i> (vitabosa), con el fin de mantener cubierto el suelo durante periodos de descanso, para que compita con las arvenses nativas y limite su colonización • En arreglos de asociación de arroz y pastos, el control de arvenses se efectúa por medios mecánicos. Se hace un manejo convencional, controles en preemergencia con butaclor o pendimetalín y, en posemergencia, con dosis bajas de una combinación de propanil con butaclor y 2,4 D-amina, sin permitir que las malezas superen un estado de dos o tres hojas

(Continúa)

Manejo integrado de enfermedades y plagas	• Resistencia a infecciones por el hongo <i>Magnaporthe grisea</i> (anaforma <i>Pyricularia oryzae</i>), helmintosporiosis, escaldado, manchado de grano y el virus de la hoja blanca. Se recomienda un manejo con un uso reducido de agroquímicos • Para las plagas de insectos <i>Spodoptera frugiperda</i> y <i>Diatraea saccharalis</i> se recomiendan controladores biológicos como <i>Trichogramma pretiosum</i> y, si son imprescindibles las aplicaciones, simuladores o inhibidores de quitina
Rendimiento	En ensayos, pruebas regionales y lotes demostrativos, se ha obtenido un promedio general de 3.000 kg/ha
Sistemas de producción	• Se destacan los arreglos, la rotación con cultivos anuales, el establecimiento de pasturas con alta productividad y los sistemas agroforestales • En arreglos de asociación de arroz y pastos, es importante utilizar una sembradora de depósito, en la que se encuentren separadas las semillas de arroz, las de pasto y el fertilizante. Es recomendable establecer surcos de arroz con intervalos de 34 cm y en medio los surcos de pasto, así como aplicar fertilizantes en los surcos de arroz • Si las leguminosas son pequeñas y se siembran en asociación con pastos, las semillas de las primeras se mezclan con las de pasto en el mismo surco. Si son medianas, se mezclan con semillas grandes, el arroz y el fertilizante
Recuperación de pasturas degradadas	• Se aconseja realizar pastoreo o guadaña en el inicio de la época de lluvias, hacer un pase de cincel y encalar con cal dolomita • La densidad de siembra del arroz y la fertilización son iguales a las recomendadas para el monocultivo

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta las condiciones favorables que presenta la altillanura para el desarrollo del cultivo de caucho, como zona que se escapa al mal suramericano de las hojas, Corpoica ha desarrollado investigaciones sobre esta especie, mediante la evaluación de clones y el manejo del cultivo, con el fin de ofrecer a los productores alternativas tecnológicas para su implementación y desarrollo.

A continuación, se describen las principales consideraciones técnicas para el establecimiento y manejo del cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Orinoquía colombiana (Martínez, 2007).

Establecimiento y manejo de viveros

La primera etapa del cultivo de caucho contempla el establecimiento, mantenimiento y manejo del vivero, como una materia prima inicial de buena calidad para la posterior siembra en campo.

Germinadores

Es indispensable destinar un espacio diferenciado del terreno para ubicar el vivero, sembrar las semillas y esperar su germinación. Se requiere 1 m² por cada 6 kg de semilla, que equivalen aproximadamente a 200 o 250 semillas.

Es necesario que el sustrato sea de un material suelto y con una profundidad de 40 cm, con el fin de facilitar el desarrollo radicular (arena de río, humus y limo, entre otros). Una vez colocada la semilla, se cubre con viruta de madera, y sobre los germinadores se pone una polisombra del 50 %, para proteger las plántulas recién germinadas. Si no se presentan lluvias, el germinador se riega dos veces al día.

Viveros

Es importante ubicar el vivero en el centro de las áreas definitivas de siembra y que tengan agua a su disposición. Los viveros se manejan en bolsas de 40 × 20 cm, de polietileno de plástico negro, no reciclado, con protección uv, calibre 4 con fuelle doble, con cuatro huecos a los lados y un hueco de 1 cm en el fondo, por donde saldrá la raíz principal.

Las bolsas se entierran en el suelo, a una profundidad de aproximadamente tres cuartas partes de su tamaño, en surco doble y en tresbolillo, en un canal de 0,30 cm de ancho. La distancia entre dos surcos dobles es de 1 m, para posteriormente facilitar la labor de injerto; con esta distribución, deben caber 120.000 bolsas en 1 ha de vivero.

Riego

Es importante garantizar el suministro de agua y establecer un sistema de riego sencillo para la época seca. El riego se hace en las horas de la tarde, con el fin de evitar la evapotranspiración.

Fertilización

Se puede fertilizar un mes después de trasplantar las plántulas a la bolsa, aplicando 5 g de abono cafetero 13-6-18-2, que contiene un 1 % de boro y un 0,5 % de zinc. Otra fórmula de fertilización, que se puede realizar dos meses después del trasplante, consiste en aplicar 10 g de lombricompost y continuar alternando abono químico con orgánico, hasta el momento del injerto.

Los fertilizantes se pueden administrar al vivero en forma líquida (*drench*): una solución de 5 kg de urea diluidos en 200 L de agua, 35 días después del trasplante de la plántula a la bolsa, calculando 50 cm³ por cada una de ellas. Tres semanas después, se utiliza una mezcla de 50 cm³ de 12,5 kg de Triple 15 por plántula, diluidos en 200 L de agua. Este procedimiento se repite cada seis semanas, hasta el injerto.

Injerto

A continuación, se presentan diversos métodos de propagación vegetativa.

- *Injerto temprano o en verde*: se realiza cuando las yemas por injertar se encuentran aún verdes, ya que por ser un material joven el prendimiento se facilita y se evitan problemas con el comején, dado que se lleva muy poco material lignificado al campo.
- *Injerto en café*: se lleva a cabo ocho meses después y en adelante. En las zonas productoras de caucho de la Orinoquía, pueden presentarse problemas de bajo prendimiento en los injertos, teniendo en cuenta que se realizan en la época de mayores precipitaciones (junio y julio).

Para el injerto se utilizan una navaja y plástico transparente calibre 4 no reciclado, que se retira veinte días después del injerto, que se deja diez días en observación. Pasado este periodo, se elimina el patrón, 5 cm por encima del injerto, se lleva a un sitio definitivo o se deja en vivero, para que se produzcan uno o dos lanzamientos maduros.

La siembra en su sitio definitivo se realiza en el inicio del periodo de lluvias y los clones se deben renovar máximo cada siete años.

Presiembra y siembra

Presentamos las tecnologías propuestas para la preparación del material y los procesos de siembra en el sitio definitivo.

Encalado

Se recomienda la aplicación de cal dolomita, de acuerdo con los resultados del análisis de suelos, con el fin de disminuir la saturación de aluminio e incrementar el pH del suelo. Es necesario calcular tanto la saturación de bases inicial como la ideal, que para el caucho corresponde al 50 %.

En la altillanura, se inicia con una saturación de bases de alrededor del 22 %, se emplean cales en octubre del año anterior si se quiere sembrar al inicio de lluvias del año siguiente; se recomienda el uso de cinceles para que los correctivos penetren las capas inferiores del suelo.

Antes de calcular la cantidad de cal que se va a utilizar, se debe establecer la saturación de bases del suelo, a fin de identificar la que requiere el cultivo que se va a establecer.

$$\text{Saturación de bases} = ((Ca + Mg + K) / (Ac.i + Ca + Mg + K)) * 100\%$$

Ca:	miliequivalentes / 100 g de suelos de Ca
Mg:	miliequivalentes / 100 g de suelos de Mg
K:	miliequivalentes / 100 g de suelos de K
Ac. i.:	acidez intercambiable

Para el cálculo de la cantidad de cal, se aplica la fórmula de Van Raij (Espinosa & Molina, 1999):

$$Cal\ requerida = ((V1 - V2) * (CICE) * f) / 100$$

V1:	porcentaje de saturación de bases deseado
V2:	porcentaje de saturación de bases que presenta el suelo
CICE:	capacidad de intercambio catiónico efectiva

$$f = 100 / PRNT$$

PRNT:	poder relativo de neutralización total
-------	--

Trasplante del *stump*

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en su Resolución N.º 001478 (2006), define el *stump* como el árbol de caucho que ha sido injertado después de haberlo arrancado, cortado y podado sus raíces primarias, el cual se encuentra listo para el trasplante al sitio definitivo. El trasplante se puede hacer mediante las siguientes alternativas.

Stump a raíz desnuda: con el fin de estimular la salida de las raíces, la parte radicular de los *stump* se deja embebida en ácido alfa naftalenacético (ANA) durante cuarenta minutos. El sitio definitivo en el que se ubique debe estar rodeado por un hueco de 40 cm. El suelo que se sacó se mezcla con 300 g de roca fosfórica, para estimular el crecimiento de las raíces, y con 500 g de un fertilizante orgánico, como gallinaza humificada. Cuando se coloque el *stump*, se va llenando el hueco con la mezcla.

Stump en bolsa: se elimina el fondo de la bolsa con un cuchillo y luego un lado de ella, para poner el cespedón de suelo en el hueco. En el momento de la siembra, la base del injerto debe quedar al nivel del suelo o un poco debajo de él.

Poda de mantenimiento: es necesario realizarla por lo menos cada dos meses, para eliminar las ramas secundarias que se encuentren en estado no lignificado.

Poda de formación: ocho o nueve meses después de que la planta ha sido trasplantada a campo, se realiza la poda a una altura de 2,5 m. Se cortan las hojas a nivel del pecíolo del último lanzamiento cuando estén maduras o amarrando el último lanzamiento ya maduro por los pecíolos para que las yemas laterales germinen en forma alterna y evitar que todas las ramas salgan de un solo punto.

Manejo integrado de malezas

Si se establece el cultivo en un terreno de sabana natural y se siembra cuando comienzan las lluvias, a finales del año anterior se debió haber hecho un control de malezas inicial, con una rastra. Antes de que finalice el periodo de lluvias, cuando el suelo está en capacidad de campo, se aplican los correctivos al suelo y se incorporan con un rastrillo. Al año siguiente, una vez que la humedad del suelo lo permita, se pasa una desbrozadora, y cuando la maleza se seque se incorpora al suelo con una rastra, para luego trazar y sembrar el caucho.

Después de la siembra en la plantación, el control de malezas se hace mediante plateo y limpieza de las calles, con un herbicida como el glifosato, en una concentración que depende de las malezas presentes.

Manejo de plagas y enfermedades

El comején: se evita su presencia mediante el injerto temprano, llevando la plántula al campo con uno o dos lanzamientos maduros y con poca cantidad de material lignificado presente.

El gusano cachón: cuando ataca se puede tratar de recobrar el equilibrio con controladores biológicos, aplicando *Bacillus thuringiensis* (Thuricide, comercialmente) o el virus de la poliedrosis nuclear.

El venado: ramonea el cultivo cuando está en etapa joven, haciéndolo perder la dominancia apical, lo que obliga a hacer podas para poder recobrarla. En estado adulto, los machos afilan la cornamenta con el tronco y eliminan la totalidad de la corteza a 50 cm sobre la zona de injerto y la parte que se encuentra arriba del daño se seca. Para recobrar el árbol se hace necesario formar un chupón.

Enfermedades: el mal suramericano de la hoja (*Microcyclus ulei*) se controla con el uso de fungicidas en viveros y jardines clonales. Otro modo de control es la obtención de clones resistentes, en zonas que no tienen condiciones para ser consideradas adecuadas para el escape de la enfermedad.

Para combatir la *Phytophthora palmivora* en panel de sangría, se debe aplicar mensualmente sobre este, con un cepillo de dientes, una mezcla de 40 cm³ de carprofeno con un litro de agua.

Cosecha y beneficio

A continuación, presentamos las actividades que se desarrollan desde la maduración del árbol o época de recolección, hasta el beneficio o procesamiento del látex.

Apertura del panel de sangría

La planta está lista para el proceso cuando el perímetro del tallo alcanza un mínimo de 0,45 m y una altura de 1,20 m desde el suelo. El momento oportuno se da cuando el 75 % o más de los árboles de la plantación presentan estas medidas.

Se necesitan los siguientes elementos: una banderola, para marcar los paneles; un punzón, que se utiliza para dibujar la banderola sobre la corteza del árbol; una cuerda con un nudo en la mitad; una cuchilla de sangría; una taza para la recolección del látex; un anillo de alambre calibre 12, y una lengüeta de latón por donde fluye el látex hasta la taza.

Vestida del árbol

En este procedimiento se pone la lengüeta de latón a 0,15 cm del punto más bajo del canal de sangría, mientras la taza va a 0,30 m del punto más bajo del panel de sangría, y es soportada por un anillo de alambre calibre 12, al que se le ha dado la forma de espiral para que se adecue al grosor del tallo.

Estimulación para mejorar la producción del látex

El etileno, en bajas concentraciones, incrementa el flujo de látex de caucho, disminuye la frecuencia de sangría y mejora la productividad del cultivo. Con estos fines, se aplican sustancias como ethrel (ácido-2-cloroetil-fenólico), que induce la liberación de etileno en el sistema laticífero, lo que estimula el árbol.

Es importante tener en cuenta la edad y el tipo de clon, así como la frecuencia y el tipo de sangría, para determinar la concentración y la frecuencia de aplicación de ethrel: la estimulación se programa de acuerdo con el metabolismo y la reserva de azúcares.

Este proceso empieza después del segundo año de sangría, pasada la época seca y cuando se hayan acumulado al menos 100 mm de precipitación, circunstancia que en la altillanura se da en la tercera semana del mes de abril.

Procesamiento del látex

Si se va a vender como látex preservado, antes del rayado se aplican algunos centímetros cúbicos de amoníaco, en concentraciones que van del 6 % al 70 %, dependiendo del uso que se le va a dar al producto. Posteriormente se raya el árbol, y en cada litro de látex se disuelven 3 cm³ de amoníaco a la misma concentración —para evitar que se coagulen los solutos del látex—, más 4 cm³ del preservante tetrametiltiuram disulfuro (TMTD).

Si se va a comercializar en forma de coágulos, una vez que se termina el escurrimiento en la taza, como coagulante se usa ácido fórmico, aproximadamente 5 cm³ en una solución del 5 % al 8 %. Después de varias rayadas, se recogen los coágulos y se llevan al comprador.

Ganadería: pastos y forrajes

Para el sistema de producción bovina en la altillanura, han sido desarrolladas diferentes tecnologías, que buscan un aumento en la productividad (producción de carne y leche), con el propósito de lograr una mayor competitividad.

La investigación se ha dirigido a temas como alternativas forrajeras en gramíneas y leguminosas; prácticas para el establecimiento y manejo de praderas; degradación de praderas y su recuperación, y los sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles.

Alternativas forrajeras

Las gramíneas y leguminosas forrajeras son una importante fuente de alimentación para los bovinos. Las primeras son buenas productoras de forraje, se encuentran en pastizales naturales o pueden ser cultivadas, se desarrollan en diferentes tipos de clima templado, tropical o subtropical. Por su parte, las leguminosas producen forrajes ricos en proteínas de buena digestibilidad, tienen altos contenidos de calcio, fósforo y vitaminas A y D, y además son una fuente de fijación de nitrógeno.

En la tabla 1.10 se describen las diferentes alternativas forrajeras, tanto en gramíneas como en leguminosas. Todas estas especies pueden ser cultivadas en la altillanura, si se hace un manejo de suelos y se satisfacen las necesidades de fertilización de cada forraje (Pardo & Pérez, 2010).

Tabla 1.10. Gramíneas y leguminosas forrajeras aptas para las condiciones de los suelos de los Llanos Orientales

Nombre científico	Nombre común	Ventajas	Desventajas
Leguminosas			
<i>Pueraria phasecoloides</i>	Kudzu	Nivel medio-alto de calidad nutricional, buena calidad de la semilla, fácil asociación con gramíneas y mejoramiento de las repuestas en producción animal.	Persistencia media en la asociación, desarrollo en suelos de mediana fertilidad.
<i>Arachis pintoi</i>	Maní forrajero perenne	Nivel medio-alto de calidad nutricional, buena calidad de semilla, fácil asociación con gramíneas, mejoramiento de la respuesta en producción animal, alta persistencia en asociación, buen consumo animal, altamente palatable y tolerancia a alta humedad del suelo.	Exigente en suelos de calidad media de fertilización, altos costos de producción de semilla, intolerancia a suelos arenosos y de baja fertilidad, y alta defoliación en época seca.
<i>Desmodium heterocarpum</i> (L.) D. C. subsp. <i>ovalifolium</i> (PRAIN.) OHASHI	Desmodium, Maquenque	Nivel medio de calidad nutricional, buena calidad de semilla, fácil asociación con gramíneas, mejoramiento de las repuestas en producción animal y mediana persistencia en asociación.	• Poco palatable, susceptible a plagas (nematodos) • Por bajo consumo puede desplazar a la gramínea

(Continúa)

(Continuación tabla 1.10)

Nombre científico	Nombre común	Ventajas	Desventajas
Leguminosas			
<i>Stylosanthes capitata</i> Vog.	Capica	Buena calidad y consumo, alta producción y buena calidad de semilla; buen desarrollo en suelos arenosos y rápida germinación.	Bianual, desarrollo de enanismo de planta y poca persistencia en la pradera.

Nombre científico	Nombre común	Ventajas	Desventajas
Gramíneas			
<i>Brachiaria decumbens</i>	Pasto amargo	Rápido establecimiento, buena producción y calidad de semilla, fácil propagación, buena asociación con leguminosas, buenos valores nutritivos y de consumo, tolerancia a la quema y buena recuperación.	Susceptibilidad a salivazo, fotosensibilizador, los equinos jóvenes no lo consumen, falta de resistencia a suelos húmedos y lenta recuperación.
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	Pasto llanero	Adaptación a suelos ácidos y de baja fertilidad, tolerancia a la sequía, buena recuperación después de la quema, compatibilidad con la leguminosa tipo <i>Arachis pinto</i> i, buena producción de semilla y crecimiento invasor.	Lento establecimiento por semilla, susceptibilidad a hormigas, lento y escaso enraizamiento de los estolones, mayor latencia de la semilla e intolerancia a encharcamientos prolongados.

(Continúa)

Nombre científico	Nombre común	Ventajas	Desventajas
Gramíneas			
<i>Brachiaria humidicola</i>	Pasto dulce	Adaptación a suelos ácidos, a alta saturación de aluminio y a la baja fertilidad; propagación por material vegetativo o por semilla; crecimiento estolonífero; tolerancia a la sequía; resistencia a la carga animal alta; y tolerancia a la quema, plagas y enfermedades en zonas húmedas.	Baja producción de semilla viable y latencia prolongada; calidad nutritiva de moderada a baja en términos de proteína cruda; disminución de la calidad de forraje a través del tiempo; productividad animal menor a la de otras especies de <i>Brachiaria</i> y posibilidad de ataques de roya.
<i>Brachiaria brizantha</i> (Hochst ex A. Rich.) Stapf	Pasto La Libertad	Fácil asociación con leguminosas; tolerancia al salivazo; buena calidad nutritiva de consumo y de la semilla; poca proliferación de garrapatas en los potreros; y rápido establecimiento.	Exigente en suelos de media a alta fertilidad, baja producción de semilla, intolerancia a suelos húmedos, recuperación lenta y bajo vigor en suelos arenosos.
<i>Brachiaria brizantha</i> (Hochst ex A. Rich) Stapf	Pasto Marandú	Fácil asociación con leguminosas, resistencia al salivazo, buena calidad nutritiva y de consumo, rápido establecimiento y buena calidad de la semilla.	Exigente en suelos de mejor fertilidad, baja producción de semilla y susceptibilidad a enfermedades como el añublo foliar producido por <i>Rhizoctonia solani</i> .

(Continúa)

(Continuación tabla 1.10)

Nombre científico	Nombre común	Ventajas	Desventajas
Gramíneas			
<i>Brachiaria brizantha</i> CIAT 26110	Pasto Toledo	Alta producción de biomasa, posibilidad de uso como cultivo para ensilar, buena calidad de semilla, fácil asociación con leguminosas y resistencia a alta carga animal.	Requiere suelos de fertilidad media, calidad nutricional media y es susceptible a enfermedades.
<i>Brachiaria híbrido</i> ciat 36087	Pasto Mulato II	Alta producción de biomasa, calidad nutricional de media a alta, buena calidad de la semilla, fácil asociación con leguminosas y mejores respuestas en producción animal.	Exigente en fertilidad de suelos, susceptibilidad a humedad, a plagas y a enfermedades, y alto costo de la semilla.
<i>Panicum maximum</i> Jacquin	Pasto Guinea	Alta producción de biomasa, calidad nutricional de media a alta, buena calidad de la semilla, fácil asociación con leguminosas y mejores respuestas en producción animal.	Exigentes en fertilidad de suelos y es susceptible a humedad, plagas y enfermedades.
<i>Panicum maximum</i>	Pasto Tanzania		
<i>Panicum maximum</i>	Pasto Mombasa		
<i>Panicum maximum</i>	Pasto Massai		

Fuente: Pardo y Pérez (2010).

Establecimiento de pastos en sistemas ganaderos

De acuerdo con Rincón y Caicedo (2010), para la siembra de pastos es importante tener en cuenta aspectos como el clima, el tipo de suelos y la especie que se va a sembrar, así como las siguientes recomendaciones para su establecimiento.

Presiembra

Consiste en prácticas que se desarrollan antes de la siembra de los pastos y que determinan su viabilidad.

Determinación del área y análisis de suelo

Es indispensable hacer un análisis de suelo, con el fin de conocer sus características en cuanto a fertilidad, drenaje, textura y grado de compactación. También, se requiere considerar la disponibilidad y el acceso al agua para bebederos, así como la infraestructura en vías, corrales y cercas.

De igual forma, es importante conocer la incidencia de malezas que puedan afectar el desarrollo del cultivo. En las sabanas de la altillanura con poca intervención no son muy frecuentes los problemas de malezas en el establecimiento de pastos, mientras que en sitios donde se ha hecho rotación de cultivos durante varios años es un problema potencial.

Selección de las especies forrajeras

Para hacer una adecuada selección, es necesario considerar las condiciones del clima, las características de suelo del terreno donde se va a sembrar y los problemas que se pueden presentar en la siembra (malezas, enfermedades y plagas); asimismo, es necesario conocer las características de los pastos que se van a utilizar: tipo de crecimiento, exigencias nutricionales, producción y calidad nutritiva.

Los pastos adaptados a baja fertilidad y aquellos que exigen una mayor fertilidad (recomendados para suelos mejorados) no deben sembrarse con los mismos requerimientos. Adicionalmente, es imprescindible tener información acerca de la calidad, disponibilidad y precio de la semilla en el mercado.

Sistemas de labranza de conservación

Labranza convencional: es la combinación de uno o dos pases de arado de disco y de dos o tres pases de rastra, más un pase de pulidor. El objetivo es aflojar, remover y voltear el suelo, no obstante, puede ocasionar compactación y pérdida del suelo (Caicedo et al., 2004).

Labranza de conservación: mediante el uso de maquinaria especializada, se hace rotación de cultivos, uso de coberturas o rastrojos, y manejo integrado de plagas y malezas. El 30 % de los residuos del cultivo quedan en la parte superficial del suelo, y se busca controlar la erosión, hacer un uso racional de los insumos y mantener la productividad.

Labranza mínima o reducida: es de tipo correctivo y se basa en la reducción de labores de preparación del suelo, pues se realiza de una a tres labores. Se usan implementos para una labranza vertical; el principal es el cincel rígido (para corregir compactación a una profundidad mayor de 25 cm) o el cincel vibratorio (para profundidades menores de 20 cm). Se hace un pase de rastra para uniformizar el terreno y destruir los terrones grandes; por último, un pase de pulidor, que deja al suelo en condiciones adecuadas para la siembra.

Labranza cero o siembra directa: comprende la rotación de cultivos, el uso de coberturas o abonos verdes y la no labranza del suelo. Permite la siembra del cultivo sin ninguna labor de preparación. Requiere de suelos sin limitaciones físicas, químicas o biológicas. Se emplea una sembradora especializada y se inicia con el uso de coberturas y rastrojos, mediante la utilización de un implemento de corte y la aplicación de desecantes de contacto o sistémicos. La selección del herbicida se hace conforme al tipo de especies predominantes.

Calidad y cantidad de semilla

La calidad de la semilla se mide de acuerdo a su poder de germinación y su pureza —pues es imprescindible que no esté mezclada con semillas de otras especies, malezas o residuos de cosecha—, y para conocer sus características se hace una prueba de germinación.

Para la siembra de especies de *Brachiaria* son necesarios de 2 a 3 kg/ha, con una pureza del 80 % y una germinación mayor al 30 %. Si la calidad es menor, se debe aumentar la cantidad de semilla. En cuanto a las leguminosas, la

cantidad de semillas que se siembran depende de su calidad y tamaño: si son grandes, las dosis por hectárea son mayores que si son pequeñas.

En Colombia, las normas para semillas de especies forrajeras están definidas en términos de semilla pura germinable (SPG), que es el valor obtenido a partir de la pureza y de la germinación de la semilla: $SPG = (\text{pureza \%} \times \text{germinación \%}) / 100$.

Estos resultados se tienen en cuenta para permitir que una semilla sea comercializada, y la División de Semillas del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) ha establecido unos valores mínimos reglamentarios para cada especie forrajera.

Tamaño de la semilla

El tamaño de la semilla varía según la especie que se va a sembrar y, a partir de él, se establece la densidad y el método de siembra. Determinar la cantidad que se sembrará depende de su pureza, de cuántas semillas tiene un kilo, cuántas tienen la capacidad de germinar (aquellas que finalmente emergen del lote) y de la población de plantas que se quiera tener en la pradera. La densidad de siembra puede variar por la calidad de la semilla, ya que, a medida que disminuye la pureza, esta densidad aumenta.

Fertilización

La aplicación de fertilizantes a las praderas se hace según las necesidades de cada pasto, teniendo en cuenta los resultados del análisis químico de suelos y las exigencias de saturación de bases. A partir de esto, se calculan los requerimientos de cal dolomita, que permite mejorar los contenidos de calcio y magnesio en el suelo.

Una saturación de bases menor al 30 % afecta el desarrollo del forraje. Los pastos poco exigentes, como *B. decumbens*, *B. humidicola* y *B. dictyoneura*, requieren una saturación de bases del 30 % al 35 %, mientras que los pastos *B. brizantha* cv. Marandú, *B. brizantha* cv. Toledo y *Panicum* spp. necesitan una fertilidad del 40 % al 45 % (Vilela, Solares, Sousa, & Macedo, 1998).

Con el objetivo de mejorar las condiciones de fertilidad, en suelos ácidos de altillanura se realiza rotación o asociación de cultivos y pastos que, mediante

enmiendas y fertilizantes aplicados al cultivo, permiten el aumento de fósforo y azufre, y la reducción de la saturación de aluminio.

Con el fin de obtener un mayor aprovechamiento de los pastos, se han establecido las condiciones adecuadas de fertilidad, en rangos de contenidos de nutrientes en el suelo, para pastos adaptados con menores o mayores exigencias.

Cuando se va a realizar una explotación intensiva, con un mayor número de animales por área y producción más rápida, es recomendable disponer de mayor biomasa de buena calidad, lo cual se logra con niveles de fertilización más altos, con fuentes más solubles y aplicaciones más frecuentes.

Asociación con leguminosa forrajera

La asociación entre gramínea y leguminosa permite acumular carbono, incrementar la actividad biológica y la biomasa de la fauna del suelo; también contribuye a la fertilidad y el aumento de la materia orgánica. En esta asociación, la leguminosa realiza transformación de nitrógeno.

La fijación de nitrógeno se realiza mediante una inoculación de las semillas de leguminosa. En un recipiente limpio se mezcla la semilla con el inóculo que tiene la bacteria (rizobios). Para inocular un kilogramo de semilla, se mezclan 100 ml de agua con 10-20 g de azúcar, que actúa como adherente. Luego, se adiciona el kilogramo de semillas y 50 g de inóculo, y se mezclan bien hasta que haya una buena distribución y cubrimiento. Posteriormente, a las semillas inoculadas se les agrega roca fosfórica, cuya cantidad depende del tamaño de estas. Después de *peletizarlas*, se dejan veinte minutos en la sombra, para que se sequen. La inoculación debe hacerse al menos para cada 5 kg de semilla.

Siembra

La siembra se puede realizar mediante dos métodos: siembra con semilla (sexual) o con material vegetativo (asexual).

Siembra con semilla

Se lleva a cabo realizando una mezcla de los fertilizantes de establecimiento —como roca fosfórica, cal dolomita o yeso agrícola— con las semillas. La

distribución se hace al voleo, con una voleadora accionada por tractor o con el uso de una encaladora, que distribuye las semillas con los fertilizantes, en distancias de 15 cm entre surcos.

Luego, con ramas o una cadena pesada, se cubren las semillas con una ligera capa de tierra, y se ejerce una ligera compactación, para que hagan un buen contacto con el suelo. Cuando la siembra se realiza con maquinaria para grano fino, se realiza en surcos a una distancia de 30 a 50 cm.

La época de siembra ideal es en los meses de abril y mayo, cuando comienzan las lluvias, o en agosto y septiembre. La semilla no debe sembrarse de manera muy superficial, ni con una profundidad mayor de 8 cm; el pasto Toledo y las especies de *Brachiaria* pueden quedar sembradas entre 2 y 6 cm de profundidad, tapadas con suelo.

Siembra con material vegetativo

El establecimiento se realiza en los meses de mayor precipitación. Es importante que el lote de donde se obtenga el material vegetativo haya sido pastoreado o cortado con guadaña previamente. Para cosechar el material de gramíneas, es necesario que las plantas no tengan una altura mayor de 20 cm y que tengan una mayor presencia de tallo que de hojas para evitar la deshidratación del material. Después de cosecharlo, es indispensable sembrarlo el mismo día del corte.

La distribución del material vegetativo en el lote se puede realizar con diferentes métodos:

- Distribuir uniformemente el material en el lote y, más adelante, incorporar un pase de rastra.
- Poner el material, con distancias de 50 cm entre surcos y 50 cm entre plantas, ahoyando el sitio de siembra o arrojando un poco de tierra sobre el material vegetativo. Se pueden establecer praderas de gramíneas puras, o praderas asociadas de gramíneas y leguminosas en surcos alternos.
- Utilizar máquinas sembradoras que abren surcos con escardillos o discos. El material vegetativo se coloca manualmente y, posteriormente, el material y el suelo se tapan y compactan en una sola operación. Se pueden establecer surcos alternos de gramínea y leguminosa o surcos de solo gramínea.

Control de malezas

El desarrollo de la ganadería bovina en la altillanura colombiana se relaciona con temas agrícolas y pecuarios. Las praderas requieren manejos como los de cualquier cultivo, entre ellos, los controles de malezas.

Métodos preventivos de control de malezas

Es indispensable realizar una preparación oportuna, sembrar cuando comiencen las lluvias y utilizar una mayor cantidad de semilla en suelos con una alta reserva de semilla de maleza. Otra opción es sembrar varias especies mezcladas, una de crecimiento inicial rápido, con otra de crecimiento lento. Por otra parte, cuando hay malezas de hoja ancha, se pueden reducir mediante la labranza en días soleados y mediante la aplicación de herbicidas uno o dos meses después de la labranza.

Control mecánico

Cuando las praderas recién sembradas presentan malezas, se realiza un control manual, con machete, o mecánico, con guadañadora o rolo. Otra opción es el pastoreo ligero, procurando evitar el daño por pisoteo.

Control químico

El herbicida se utiliza en el forraje cuando las malezas estén en crecimiento activo y tengan hojas para su adsorción, cuando haya humedad en el suelo y en días despejados, lo que evita que las lluvias se lleven el producto. Para que se dé una mayor adherencia en las hojas, se recomienda adicionar algún producto coadyuvante a la mezcla.

En la mezcla del herbicida se requiere usar agua limpia. Su aplicación debe hacerse con boquillas de abanico, con el fin de lograr uniformidad. Es importante seguir las instrucciones del rótulo del envase para aplicar la dosis recomendada. Por último, no se debe fumar durante la aplicación; los operarios deben protegerse con mascarilla, guantes y vestidos impermeables; y es indispensable que se bañen y se cambien de ropa una vez que terminen la labor.

Control de plagas

La principal plaga en la fase de establecimiento es la hormiga arriera. Cuando se da una alta población de esta, es imprescindible establecer especies tolerantes, como *Brachiaria humidicola*, así como hacer una preparación temprana de los suelos con laboreo cuando el periodo de lluvias esté terminando. Durante el primer mes de establecimiento, se requiere hacer un control permanente de la hormiga, insuflando los hormigueros con insecticida en polvo.

Resiembra

Se realiza cuando hay fallas en el establecimiento, y es indispensable hacerla de manera oportuna (puede ser un mes después de la siembra, luego de que la semilla haya germinado). Se hace de forma manual, esparciendo la semilla sobre las áreas menos pobladas o reemplazando el material vegetativo que no haya rebrotado.

Manejo del pastoreo

Según Rincón (2010), son varias las prácticas o actividades que pueden aliviar el impacto negativo que tiene el abuso en el pastoreo de los animales sobre los factores ambientales. Dichas prácticas se describen a continuación.

Altura y frecuencia de corte o pastoreo

La altura de pastoreo depende del hábito de crecimiento de los pastos: en los de crecimiento semierecto debe hacerse a una altura entre los 20 y los 25 cm y en aquellos de crecimiento estolonífero e invasor se lleva a cabo a menor altura (tabla 1.11). Cuando el corte o pastoreo se realiza a menores alturas que las recomendadas, se pueden afectar las reservas nutritivas que permiten el rebrote del pasto.

El tiempo indicado para que el pasto se recupere, produzca nuevos brotes y una alta disponibilidad de forraje de buena calidad está entre los 25 y los 35 días, según la fertilidad de los suelos y la altura del pastoreo.

Tabla 1.11. Periodo de descanso y altura de pastoreo recomendada para diferentes pastos

Pasto	Periodo de descanso (días)	Altura de pastoreo (cm)
Amargo (<i>B. decumbens</i>)	30 -42	20 - 25
Toledo y Mombasa (<i>P. maximum</i> cv. Mombasa)	21 - 35	30 - 35
Mulato II (<i>B. híbrido</i>)	21 - 42	25 - 30
Llanero y dulce (<i>B. dictyoneura</i> y <i>B. humidicola</i>)	21 - 30	10- 15

Fuente: Rincón (2010)

Consumo de forraje durante el pastoreo

Un animal adulto consume entre 50 y 70 kg diarios de materia verde de las hojas, ocupa el 38 % de su tiempo en pastoreo, del 4 % al 38 % en rumia y el 25 % en otras actividades. Los mayores periodos de pastoreo ocurren cerca del amanecer y al final de la tarde (Bernal, 1994).

Presión de pastoreo

Consiste en la relación entre la cantidad de forraje seco disponible en una pradera y el peso vivo de los animales en pastoreo. Es importante hacer ajustes periódicos en la carga animal, con el fin de mantener la disponibilidad de materia seca: se recomienda disponer de un rango entre 3 y 4 kg de forraje seco por cada 100 kg de peso vivo animal al día.

Sistemas de pastoreo

Pastoreo continuo: en este sistema las praderas no tienen descanso, y se usa principalmente en explotaciones extensivas. Los animales son selectivos en el forraje y consumen plantas más nutritivas, sin permitir su recuperación. Cuando hay sobrepastoreo puede producirse un agotamiento de las reservas de pasto; por el contrario, el subpastoreo conduce a un desperdicio de forraje. Cabe señalar que los animales gastan bastante energía buscando las mejores pasturas.

Pastoreo alterno: consiste en un sistema de rotación en el que la pradera se divide en dos partes; mientras una se encuentra en pastoreo con un grupo de animales, la otra parte descansa y se recupera, lo que permite la acumulación

de reservas. El periodo de descanso de un potrero depende del tiempo durante el cual el otro pueda alimentar a los animales. Se necesita una cerca adicional; se pueden usar los mismos beberos y saleros.

Pastoreo rotacional: el terreno se divide en tres o más potreros, y mientras se ocupa uno, los otros descansan, lo que hace posible una mayor recuperación y calidad del forraje (Rincón, 2010). Tolera capacidades de carga más altas, reduce la selectividad de los animales y estimula el rebrote de las hojas. Sin embargo, hay desventajas, causadas por la alta concentración de animales en áreas pequeñas, lo que afecta la disponibilidad del forraje y compacta el suelo; además, requiere una mayor inversión en cercas, bebederos y saleros.

Pastoreo en franjas: diariamente o por periodos menores a un día, se asignan fajas de potreros a los animales (mediante cerca eléctrica), suficientes para su alimentación. Con este sistema se realiza un pastoreo uniforme, se disminuye la selectividad del animal y se permite la recuperación del pasto. Sus desventajas son el costo de la cerca y la mano de obra para el manejo.

Capacidad de carga animal

La capacidad de carga corresponde al número de animales que sostiene una pradera por unidad de área, capacidad que debe ser ajustada de acuerdo con el forraje disponible y al área de cada potrero. Se expresa en términos de UA/ha (unidad animal), que para la Orinoquía equivale a un bovino macho de 400 kg o a una vaca con su cría en una hectárea. El cálculo de la carga animal que puede soportar una pradera en pastoreo se realiza mediante los siguientes pasos (Rincón, 2010).

- Determinar la cantidad de forraje disponible en el potrero. El forraje se pesa en muestras al azar, tomadas de un marco de 50 × 50 cm (0,25 m²).
- Estimar las pérdidas de forraje por pisoteo; se consideran como tales cuando se encuentran entre el 20 % y el 40 %.
- Calcular el forraje neto disponible, que equivale al forraje verde total en kg/ha menos las pérdidas por pisoteo.
- Calcular la producción o acumulación de forraje por hectárea/día.
- Determinar los requerimientos diarios de forraje, en términos de materia seca por animal.
- Establecer el número de animales que se pueden mantener con el forraje producido.

División de potreros para el pastoreo

Cerca convencional: su alto costo hace que se emplee para la periferia del potrero. Está hecha con alambre de púas y postes de cemento o madera inmunizada, con una distancia de 3 m entre postes.

Cerca Carimagua: en este caso, la distancia entre postes es de 15 m, se usan estaciones templadoras cada 105 m (seis postes) y, para conservar la distancia entre hilos, cada 3 m se trenzan entre ellos torniquetes de alambre liso n.º 8.

Cerca eléctrica: se utiliza en la división interna de los potreros y funciona con energía eléctrica o un panel de energía solar. Consta de un polo a tierra, un impulsor que se conecta a una red eléctrica, postes cada 10 o 20 m (que pueden ser de cemento o madera inmunizada) y alambre galvanizado (con uno, dos o tres hilos, dependiendo de los animales que se vayan a controlar).

Fertilización de mantenimiento

Los minerales retornan al suelo en las excretas de los animales, en un promedio entre el 100 % y el 150 % de kilogramos por hectárea al año de potasio y de 10 a 20 kg/ha de fósforo (Bernal, 1994). Sin embargo, estos valores no son uniformes en el terreno, por lo que su incidencia es pequeña. El nutriente más importante en la producción de forrajes es el nitrógeno, que determina el contenido de proteína, por lo que es necesaria la asociación de gramíneas y leguminosas o la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

La fertilización de mantenimiento debe diseñarse de acuerdo con el estudio bromatológico de los pastos (o de calidad foliar en la producción de forraje) y según el análisis de suelos (que se puede tomar cada dos años). Esta fertilización se debe hacer dos años después de la siembra, con el fin de mantener el balance de los nutrientes extraídos por los animales o los causados por pérdida de suelo (Rincón, 2010).

Plagas y enfermedades en el mantenimiento de las praderas

Mion de los pastos: se desarrolla en un microclima de alta humedad relativa. Su picadura afecta las plantas, causa amarillamiento foliar y escaso desarrollo del pasto; el ataque de adultos provoca secamiento del follaje. Cuando se presentan pequeños sectores amarillos en las praderas, se utiliza un alto

número de animales en el pastoreo para controlarlo, pues la altura escasa de los pastos permite la entrada de rayos solares y la consecuente deshidratación de las ninfas. Para evitar pérdidas por esta plaga, se recomienda sembrar varios tipos de pastos.

Hormigas: afectan la siembra de los pastos y su desarrollo, porque cortan el material emergente. Es importante desarrollar estimaciones de la densidad de los hormigueros y sus daños en sabana, para controlar químicamente. Es de anotar que controlar un solo hormiguero es antieconómico.

Chinches: el ataque del insecto produce secamiento del forraje. Para el control de ninfas, se lleva a cabo la labranza en febrero, marzo o abril y, para el de adultos, se ponen trampas de luz en junio y julio.

Gusano ejército: sus larvas consumen el forraje. Para su control se utilizan insecticidas biológicos, como *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki*. Se deben detectar los focos iniciales para evitar la migración y el aumento de larvas. También se realizan otros controles biológicos con las avispa *Polistes* sp. y los hongos patógenos *Nomuraea rileyi*, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*.

Recuperación y renovación de praderas

La recuperación se desarrolla cuando hay población y cobertura de la especie forrajera. Con el fin de mejorar la productividad, se realizan prácticas como fertilización, labranza con fertilización e introducción de leguminosas.

Por otra parte, la renovación de praderas se lleva a cabo cuando hay pérdida de la cobertura de la especie forrajera, por lo que se debe sembrar de nuevo la misma especie u otra. Se realizan prácticas como labranza, fertilización y siembra de pastos (gramíneas puras o asociadas) o el establecimiento de asociaciones de cultivos con pastos (Rincón, 2010).

Fertilización

Inicialmente, se debe realizar un análisis químico de suelos, con el objetivo de determinar la saturación de bases y así poder calcular los requerimientos de cal dolomita, que permite mejorar los contenidos de calcio y magnesio en el suelo. Pueden aplicarse productos nitrogenados o se pueden establecer

praderas asociadas con leguminosas forrajeras, para mejorar las características químicas y físicas de los suelos.

Por lo general, la fertilización de establecimiento se hace con una cantidad de 100 a 250 kg/ha de roca fosfórica. Cabe recordar que los minerales más importantes para el desarrollo de las especies forrajeras son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre (Rincón, 2010).

Labranza

Se lleva a cabo cuando existe un avanzado estado de degradación de las praderas, con el fin de estimular el desarrollo de las plantas y la germinación de semillas que se encuentren en el suelo. Se utilizan implementos mecánicos, como el arado de cinces rígido y vibratorio, así como la rastra.

Después de la labranza del suelo, se deben aplicar fertilizantes para que la recuperación de praderas sea efectiva y se obtengan mayores rendimientos. La tecnología enfocada en la recuperación o renovación de praderas se describe a continuación.

- La labor se realiza a comienzos de la época de lluvias, e inicia con la eliminación de la biomasa que se encuentra en el lote, por medio del sobrepastoreo o medios mecánicos (guadaña o desbrozadora).
- Cuando se presenta una alta compactación y presencia de biomasa en la superficie del suelo, se empieza con un pase de rastra, para que luego el tractor tenga un mejor agarre y profundice la labranza con uno o dos pases de cincel (según la textura y el grado de compactación de los suelos).
- La labranza vertical se debe hacer a una profundidad mínima de 25 cm, con el fin de contribuir al desarrollo de las raíces de los pastos.
- Se lleva a cabo un pase de pulidor o rastra con poca traba, para uniformar la superficie del suelo y permitir la germinación de las semillas, que se mezclan con el fertilizante y se distribuyen con encaladora.
- La reducción del problema de malezas se logra preparando el suelo y sembrando a comienzos de la época de lluvias, con una alta densidad de semillas de buena calidad y especies de crecimiento estolonífero e invasor (*B. dictyoneura*, *B. humidicola* o *A. pintoii*) o de rápido establecimiento (*B. decumbens* o pasto Toledo).
- Si en el suelo hay una reserva de semilla de maleza de hoja ancha, se debe esperar que germine y aplicar herbicida.

Introducción de leguminosas

La siembra de leguminosas en praderas de gramíneas permite mejorar la calidad y disponibilidad del forraje al fijar nitrógeno del aire, lo que convierte esta práctica en un complemento de la labranza y la fertilización. La tecnología para introducir leguminosas a las praderas es la siguiente (Rincón, 2010).

- Hacer sobrepastoreo para eliminar biomasa del suelo.
- Realizar un pase de cincel vibratorio y uno en sentido contrario, superficial de rastra o pulidor. En lugar de cincel, se pueden hacer dos pases de rastra en forma cruzada.
- Se pueden usar los siguientes sistemas de labranza: cincel vibratorio más un pase superficial de rastra y cincel rígido más un pase superficial de rastra o dos pases de rastra.
- Las especies que se van a sembrar se deben seleccionar de acuerdo con el clima y las condiciones del suelo del sitio de siembra.
- Después de la labranza, los fertilizantes se mezclan con la semilla de leguminosa, que luego se aplica al voleo o con voleadora mecánica. También se puede sembrar con encaladora o con sembradora de precisión.
- El maní forrajero es una leguminosa de excelentes características para la recuperación de praderas, pues posee un alto valor nutritivo, contribuye a una buena producción de forrajes, puede ser asociado con todas las gramíneas y tiene alta persistencia. Para conseguir una buena presencia de leguminosa en la pradera, desde los primeros meses de su introducción, se siembran simultáneamente kudzú y maní forrajero.

Praderas de *B. humidicola* asociadas con maní forrajero

Esta asociación mejora la calidad de forraje en lo que se refiere a digestibilidad y cantidad de proteína. La leguminosa aporta nitrógeno al suelo y contribuye al desarrollo de la gramínea al aumentar la producción de forraje. Ambas especies tienen un crecimiento estolonífero e invasor, que permite una mayor cobertura del suelo, y se siembran con material vegetativo, por la baja disponibilidad de semilla.

Se pueden sembrar en franjas alternas, con un ancho de 3 m cada una, compuestas por siete surcos, separados a 50 cm cada uno, o se pueden hacer franjas de 2,8 m, con cuatro surcos separados en 70 cm.

Introducción de maní forrajero en praderas de *B. humidicola* ya establecidas

Esta asociación permite la recuperación de *B. humidicola*, una mayor calidad del forraje y un incremento en la ganancia de peso del animal. Las recomendaciones tecnológicas se enuncian a continuación.

- Hacer sobrepastoreo a *B. humidicola* y reducir la biomasa del suelo con guadañadora.
- Realizar labranza vertical en franjas alternas, con cinceles o con rastra profunda.
- Emplear fertilizantes en la franja donde se va a sembrar maní forrajero, de acuerdo con el resultado del análisis de suelos. La mezcla se aplica con encaladora y se incorpora al suelo con un pase de rastra.
- Uno o dos meses después de la aplicación de fertilizantes, *B. humidicola* se debe controlar con herbicidas sistémicos, para permitir el desarrollo del maní forrajero en su etapa de establecimiento. Con ese fin, se recomienda utilizar glifosato, en una dosis de dos litros por hectárea.
- Sembrar el maní forrajero, luego de aplicar el herbicida. Puede hacerse con semilla, utilizando una sembradora de granos grandes como la de maíz, en surcos separados a intervalos de 50 cm y con una distancia entre plantas de 30 a 50 cm; o sembrar con material vegetativo.
- Realizar pastoreo a baja altura tres meses después de sembrar el maní forrajero, para controlar el crecimiento de *B. humidicola* y evitar la sobremaduración.

Praderas asociadas con leguminosas y praderas fertilizadas con nitrógeno

Las leguminosas pueden reemplazar la fertilización nitrogenada sin afectar la producción de forraje, por el contrario, incrementan su contenido de proteínas y minerales, y su producción es de mayor calidad. El suelo de las praderas mejoradas con la introducción de leguminosas tiene incrementos en los niveles de materia orgánica, calcio y magnesio, aunque con algunas deficiencias en fósforo.

La asociación permite que los animales ganen peso y tengan una mayor productividad: si se hace un buen manejo de la pradera, el periodo de ceba podría reducirse a la mitad, aumentar la carga animal de 1 a 2 animales/ha, y la ganancia de peso puede pasar de 150 a 500 kg/ha/año (Rincón, 2010).

Renovación de praderas con cultivos

Para contrarrestar los efectos de la degradación de las praderas, se realizan siembras simultáneas, complementarias y combinadas, con diferentes especies. A continuación, se describen algunos de los casos.

Agropastoril, arroz y pastos

Se llevan a cabo siembras simultáneas de arroz con una baja densidad de pasto, mediante siembra mecanizada, con una distancia entre surcos de 35 cm y con la especie forrajera ubicada en el medio. Otra alternativa es establecer y fertilizar arroz con sembradora en surcos y distribuir las especies forrajeras al voleo.

El establecimiento de este sistema en sabanas de altillanura se inicia con la preparación del suelo al final de las lluvias, con uno o dos pases de cincel, y se debe encalar a comienzos de la época de lluvias del siguiente año.

La fertilización se realiza con 250 kg/ha de superfosfato triple, 100 kg/ha de cloruro de potasio y 20 kg/ha de sulfato de zinc, treinta y sesenta días después de la siembra; y se aplican 200 kg/ha de urea y 100 kg/ha de cloruro de potasio, repartidos en partes iguales, para las dos fertilizaciones.

Agropastoril, maíz y pastos

En suelos de altillanura, esta asociación permite el establecimiento de praderas y la recuperación de las ya existentes que se encuentran degradadas. En la preparación para la siembra antes de la labranza, se recomienda realizar un pastoreo con un alto número de animales, con el fin de reducir la biomasa presente en el suelo, posteriormente se hace un pase de rastra, que permita la acción de los cinceles, a una profundidad mínima de 25 cm.

Cuarenta y cinco días antes de la siembra, de acuerdo con los resultados del análisis de suelos, se aplican enmiendas con cal dolomítica, roca fosfórica y yeso agrícola, incorporadas con un pase de rastra; por último, se hace un pase de pulidor.

En esta asociación se pueden utilizar híbridos de maíz, como el Corpoica H-108, con una densidad de siembra de 25 kg/ha, la especie forrajera de 4 kg/ha de semilla de la gramínea y 3 kg/ha de semilla de la leguminosa kudzú.

La cosecha del maíz se inicia después de ciento veinte días de la asociación, cuando el grano tenga un 20 % de humedad.

Los residuos de las plantas de maíz y el pasto se aprovechan en la alimentación de los bovinos, como ensilaje o cosechado en forma directa por el animal. Por cada 100 kg de peso vivo, el animal debe disponer de 3,5 kg de forraje seco o 10,5 kg de forraje verde.

Agropastoril, soya y pastos

Esta asociación permite el establecimiento de nuevas praderas y la recuperación de aquellas que han perdido su productividad, con soya Corpoica Taluma 5 y pastos. Se conserva en ensilaje para la alimentación de bovinos.

- *Suelos*: después de eliminar la biomasa vegetal, se realiza la labranza, de acuerdo con las exigencias del cultivo. Se inicia con un pase de rastra, que facilite posteriormente la labranza vertical con cinceles. Se aplican enmiendas con cal dolomita, yeso agrícola y roca fosfórica, según el análisis de suelos.
- *Densidad de siembra*: cuarenta y cinco días después de haber hecho las enmiendas, se hace la siembra, con una densidad de 100 kg/ha de semilla de soya y 4 kg/ha de semilla de pastos. En la soya se establece una distancia entre surcos de 17 cm, y en el pasto, de 30 a 50 cm o al voleo.
- *Época de siembra*: en suelos de altillanura, puede hacerse en el primer o el segundo semestre del año, en el inicio de la época de lluvias.
- *Fertilización*: la soya debe ser inoculada con 1 kg de la cepa ICA J-10 por 100 kg de semilla. Es indispensable que la fertilización se haga de acuerdo con los requerimientos de este cultivo, teniendo en cuenta las características químicas de los suelos.
- *Cosecha*: es necesario que la cosecha del forraje (soya y pasto Mulato) se haga cuando las vainas se hayan formado por completo y se haya iniciado el llenado. Se realiza a los setenta días de edad del cultivo, con un corte del forraje a una altura de 30 cm.
- *Reacción a enfermedades y plagas*: es tolerante a enfermedades foliares, como mancha ojo de rana, pústula bacteriana, bacteriosis, mildew veloso y virus del mosaico común, pero es susceptible a la roya. Lo afectan plagas de importancia económica como *Cerotoma tingomariana*, *Maruca vitrata* y *Anticarsia gemmatilis*. En el control de plagas se hace énfasis en la aplicación de entomopatógenos y otros elementos biológicos. El control de malezas, tanto en hoja ancha como angosta, se desarrolla en la presiembra o la preemergencia.

- *Rendimiento*: la soya, sembrada a intervalos de 17 cm, y asociada con pasto Mulato en surco o al voleo, alcanzó una producción total de 23 t/ha de forraje verde.

Sistema silvopastoril

En este sistema hay una interacción entre cultivos leñosos perennes (árboles y arbustos), no leñosos (forrajes herbáceos) y ganado. Beneficia la conservación del suelo, el desarrollo del forraje y la producción pecuaria (Bueno, 2010), y se puede organizar con los siguientes arreglos.

Plantación de árboles en el contorno de la finca

Este arreglo se lleva a cabo con propósitos como la protección contra los vientos, la delimitación de la propiedad o de los potreros, la producción (de madera o alimentos), dar sombra y mejorar el paisaje. Se utilizan especies como *Eucalyptus* sp., *Acacia mangium*, melina, yopo, pino caribe y frutales.

Cercas vivas

Se componen de árboles sembrados en línea, que sirven de soporte al alambre de púas o alambre liso y permiten la división del terreno. La distancia entre árboles puede ser de entre 4 y 8 m.

- *Franjas en potreros*: en el sistema silvopastoril se trazan franjas paralelas de tres a cinco hileras de árboles con fines comerciales, como eucalipto, acacia, yopo y melina. Por su parte, para su pastoreo, los callejones con pastos se organizan a distancias de 15 a 20 m.
- *Cortina rompevientos*: permite controlar la velocidad del viento, para proteger los cultivos y los animales.
- *Bosquete en potrero*: los árboles se establecen en grupos (en un cuarto o una hectárea, según el tamaño del terreno) y deben ubicarse a intervalos de entre 4 y 10 m, dependiendo de la especie que se vaya a sembrar. Este arreglo permite que los animales obtengan sombra y refugio.
- *Árboles dispersos en los potreros*: en este arreglo, los árboles se siembran a diferentes distancias, entre 4 y 10 m o más, en formas que pueden ser uniformes o no, con callejones donde los animales puedan pastar.
- *Arreglo bajo plantaciones forestales*: utiliza estas plantaciones para el pastoreo de animales.

Especies arbóreas en sistemas silvopastoriles

- *Eucalipto*: especie que se adapta a fácilmente a suelos ácidos, bien drenados y de textura liviana a media. De acuerdo con Álvarez y García (2007) se usa para maderas de aserrío, durmientes, pisos, madera estructural, construcción (pesada, liviana, naval y de botes), muebles, postes para cercas, pilotes para puentes y leña.
- *Acacia*: se adapta a suelos ácidos y bien drenados, con altos contenidos de aluminio e incluso a suelos de reacción neutra y ligeramente salinos. Tiene buen crecimiento en suelos minerales, arenosos o francos de origen aluvial y erodados. Se usa como cerca viva (para brindar sombra a los animales), cortina rompeviento, linderos maderables, forraje y leña. Su madera es liviana y con ella se pueden elaborar postes, guacales y puertas en ebanistería (Álvarez & García, 2007).
- *Melina*: caducifolia de rápido crecimiento y de larga vida, que llega a medir 30 m de altura y 80 cm de diámetro. Su rebrote es de buen comportamiento y el desarrollo de la planta varía desde hábitats húmedos hasta secos (Sistema de Información de los Recursos Forestales de Costa Rica [Sirefor], 2004). Se emplea como cerca viva, maderable, forraje y leña.
- *Yopo*: se adapta a suelos ácidos, de mediana fertilidad y húmedos. Se usa para producir sombra y leña. De su semilla se extrae una sustancia alucinógena utilizada por los chamanes.

Manejo de vivero

Es posible obtener el material arbóreo de un vivero reconocido y certificado, que garantice la calidad del material, o a través de un vivero temporal, localizado en la finca. Según Fonseca y García (2007), para establecer el vivero se deben seguir las indicaciones que presentamos a continuación.

El vivero debe crearse lo más cerca posible al sitio definitivo de siembra y a vías de fácil acceso en vehículos. Se necesita disponibilidad de agua durante todo el año; es importante evitar el ingreso de los animales que puedan dañar los árboles.

La pendiente del terreno debe permitir el drenaje natural del vivero; se requiere una adecuada circulación del aire y que las eras de crecimiento estén orientadas en dirección este-oeste, para lograr una mejor luminosidad y

aprovechamiento de las horas de sol. Por último, es aconsejable que haya área disponible para una posible ampliación de la producción en el vivero.

Establecimiento del árbol en un sitio definitivo

Es indispensable llevar a cabo el establecimiento en los inicios del periodo de lluvias, entre abril y septiembre, y se aconseja cumplir los siguientes requerimientos.

- *Protección perimetral:* con la finalidad de evitar el daño por las quemas y por animales.
- *Limpieza:* en el caso de las cercas vivas, se hacen dos pases de rastra del ancho de trabajo del implemento; para longitudes cortas, es recomendable platear y remover el suelo, en un círculo con un diámetro de un metro. En bosquetes, se controla la vegetación mecánicamente, con guadaña o rastra. De igual forma, se requiere platear el sitio donde se plantará el árbol.
- *Trazo:* para el establecimiento de cercas vivas, se utiliza el sistema de siembra en línea, con una distancia entre árboles de entre 4 y 6 m. Cuando hay una distribución por franjas, que pueden ser de dos o más hileras, se siembra al tresbolillo o en triángulos, que permiten una mayor densidad de siembra. En bosquetes, se pueden emplear los sistemas de línea, triángulo o tresbolillo; y para bosques dispersos en un potrero, el sistema de cuadro o rectángulo.
- *Ahoyado:* cuando las plántulas se transportan en bolsas plásticas, se cavan hoyos de 20 cm × 20 cm, con una profundidad de entre 15 y 20 cm. Cuando se trata de tubetes y bandejas plásticas, el hoyo es de menor tamaño.
- *Aplicación de correctivos y primera fertilización:* se realiza de acuerdo con el resultado del análisis de suelos y los requerimientos de cada especie. En suelos ácidos de altillanura, se cubren las deficiencias del suelo, y se aplica cal dolomita en una medida de 150 g/planta; roca fosfórica: 150 g/planta, y yeso agrícola: 100 g/planta. Quince días después de la siembra, se aplican 75 g/planta de fosfato diamónico (DAP), 75 g/planta de Sulpomag y 5 g/planta de borozinco.
- *Establecimiento:* en el momento de la siembra, el material en bolsa se embebe de agua y se compacta antes de retirar la bolsa, que se corta con dos cortes longitudinales. Las plántulas se colocan de manera vertical, con el cuello a ras del suelo. No es conveniente que las raíces queden dobladas ni trenzadas, es necesario que el tallo permanezca vertical; la tierra debe ser compactada con el pie, para que la planta quede anclada y se evite la formación de bolsas de aire.

- *Mantenimiento y fertilización*: una vez transcurrido el segundo mes de siembra, se realiza un plateo de un metro de diámetro. En la fertilización se aplican, en forma de corona y a 20 cm de cada plántula, 150 g/planta de fosfato diamónico (DAP), 150 g/planta de Sulpomag y 10 g/planta de borozinco; si se usa fertilizante orgánico, serán 500 g de humus por planta. Después de tres años, se hace mantenimiento: un plateo de 1,50 m de radio y una fertilización con las mismas dosis.
- *Control fitosanitario y de malezas*: se realiza monitoreo y control constante, mediante ubicación y eliminación de hormigueros, utilización de cebos tóxicos, aplicación de purines, alelopatía, control biológico y, en casos extremos, control químico.
- *Resiembra*: la mortalidad de las plántulas no debe ser mayor al 10%, y se resiembra con el mismo procedimiento del primer establecimiento.

Cultivos forrajeros

Los cultivos forrajeros son una alternativa de alimentación animal, ideales durante la época seca, pues proporcionan energía y proteína, lo cual mejora la productividad del animal. La caña de azúcar y la *Cratylia* constituyen una gramínea y una leguminosa perennes, las cuales se suministran a los animales en fresco o en ensilaje. Por su parte, el maíz y la soya son cultivos semestrales, que se establecen para cortarse y almacenarse en silos, que sirven de alimento a los bovinos cuando hay escasez de forraje (Pérez & Bueno, 2010).

Caña de azúcar

Es una planta perenne, utilizada para la alimentación de monogástricos y rumiantes. Puede picarse para ser suministrada en fresco o como ensilaje, mezclada con *Cratylia argentea*. Dentro de las variedades aptas se encuentran Cenicaña 8475, Janoru 6419 y República Dominicana, que se destacan por su alta producción de biomasa, adaptación, concentración de azúcares y tolerancia a plagas y enfermedades (Pérez, Pérez, Bueno & Mojica, 2003).

En su composición hay un 40% de azúcares totales, y entre un 6,0% y un 7,6% de proteína cruda en el follaje. El consumo de materia seca varía entre el 1,5% y el 1,9% del peso vivo y, para forraje verde, entre el 6,0% y el 9,0%. Los animales en pastoreo que reciben como suplemento la mezcla de 8 kg/animal de caña y *Cratylia argentea* pueden producir 300 kg/ha (Pérez et al., 2003).

***Cratylia argentea* cv. Veranera**

Esta leguminosa es un arbusto perenne. En su corte y acarreo la planta se usa entera o picada, y se suministra a los animales (bovinos, caprino y porcinos) en fresco. También se utiliza mezclada con caña de azúcar o pasto de corte, como ensilaje. Por último, se muelen sus hojas (cortadas y secadas) y se produce harina, que constituye una fuente de proteína en la elaboración de suplementos para el ganado.

Su producción promedio es de 20 t/ha de forraje verde por corte. Tiene altos contenidos de proteína cruda, una degradabilidad ruminal aceptable y un bajo contenido de fibra en detergente neutro. De cuatro a seis meses después de la siembra se realiza el primer corte; los posteriores se hacen con intervalos de cincuenta a noventa días, a una altura de 40 a 50 cm.

Maíz

Para la producción de forraje se puede utilizar cualquiera de sus variedades. El grano se emplea para balancear las dietas de monogástricos y rumiantes, mediante el ensilaje. Durante sus primeras tres a cinco semanas, el cultivo de maíz para forraje se ve perjudicado por malezas. La principal plaga de importancia económica que lo afecta es el gusano cogollero y *Diatraea* sp. La cosecha se lleva a cabo entre los 75 y 85 días de edad del cultivo, cuando el grano está en estado lechoso-pastoso.

La composición del forraje consta del 56 % al 63 % de tallo, de un 15 % a un 20 % de hojas y de un 21 % a un 25 % de mazorcas. Su contenido de proteína está entre el 6 % y el 7 %, y tiene una buena degradabilidad superior al 65 %. En altillanura, en dos cosechas al año, la variedad Guacavía produce entre 60 y 80 t/ha de forraje verde; Puyita, 25 t/ha; y la variedad Clavijo, 26 t/ha.

Soya

Es una leguminosa perenne, fuente de proteína (del 30 % al 46 %) y aceite (del 20 % al 22 %). En forraje cuenta con un 20 % al 24 % de proteína. Es usada para ensilaje en asociación con gramíneas, para la alimentación de bovinos y como materia prima para concentrados.





Capítulo II

Adopción de tecnología para la introducción de sistemas productivos agropecuarios en la altillanura plana del Meta

Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray
Roger Alonso Bautista Cubillos
Samuel Caicedo Guerrero

Introducción

El propósito fundamental de las actividades institucionales de investigación y desarrollo tecnológico para la altillanura de la Orinoquía ha sido ofrecer productos y recomendaciones para la introducción de sistemas productivos agropecuarios, en condiciones competitivas y sostenibles.

Lograr este objetivo requería desarrollar tecnología que posibilitara la siembra de cultivos y materiales genéticos adaptados a las condiciones edafoclimáticas particulares de la región y adaptar los suelos para contribuir al crecimiento de cultivos.

En primera instancia, se introdujeron especies de pastos y forrajes, adaptados a condiciones de acidez, baja saturación de bases y alta saturación de aluminio. También se diseñaron alternativas para la aplicación de correctivos de acidez y fertilizantes, que permitieran suplir las limitaciones naturales de la fertilidad de los suelos.

Luego, se trabajó en el desarrollo y la adaptación de materiales genéticos de arroz, soya y maíz, que, en rotación, facilitarían la producción y el mejoramiento progresivo de la capacidad productiva de los suelos de la región.

Más recientemente, el proceso investigativo ha generado recomendaciones para el establecimiento de cultivos de caucho, solo o en asocio con cultivos transitorios en sus primeros años de crecimiento.

Para poder producir dichos materiales genéticos en condiciones comerciales, se desarrollaron conjuntos de recomendaciones tecnológicas, que incluyen la aplicación de correctivos de acidez como la cal dolomítica, la roca fosfórica y el yeso; así como prácticas de preparación de suelos, siembra, fertilización del suelo, control de malezas, manejo integrado de plagas y enfermedades, y cosecha y poscosecha, entre otras acciones agronómicas (que fueron presentadas en detalle en el capítulo anterior).

Dada la multiplicidad de elementos que constituyen la tecnología recomendada y con el fin de analizar su adopción en el ámbito regional, en el presente estudio se evalúa y cuantifica la introducción —durante el periodo de 1990 a 2010— de los principales sistemas productivos o especies en la región. Se pone énfasis en aquellos que han sido objeto de las actividades institucionales de investigación y desarrollo (I+D), como es el caso de los pastos mejorados para ganaderías de carne, el maíz, la soya, el arroz y el caucho. La toma de información de tal introducción, así como de las recomendaciones tecnológicas vinculadas, se realizó mediante el diseño, la prueba, el ajuste y la aplicación de una encuesta semiestructurada.

Características de las fincas y los individuos encuestados

En el año 2011, se aplicaron 42 encuestas, para cuyo análisis se seleccionaron 38 fincas, en las cuales estaban presentes los sistemas productivos antes descritos. Dichas fincas suman un total de 29.268 ha, que representan el 28,8 % del área total de estudio. El 42 % de ellas tiene un área total de 500 hectáreas o menos, el 29 % entre 501 y 1.000 ha, y el 29 %, más de 1.000 ha, con un promedio general 770,2 ha.

Un 71 % de las encuestas fueron contestadas por administradores y un 29 % por los propietarios de las fincas. El 52 % de los administradores entrevistados tienen estudios de primaria, el 26 % de secundaria, el 15 % son tecnólogos y el 7 % profesionales. En el caso de los propietarios entrevistados, el 64 % son profesionales y el 36 % tienen estudios de secundaria.

De acuerdo con los resultados de la encuesta, el 92 % de los propietarios son hombres y tan solo en un 8 % de las fincas se reporta la propiedad en cabeza de una mujer. El 10 % de los propietarios tiene 40 años o menos, el 40 % entre 41 y 50, el 24 % entre 51 y 60, y el 26 % tiene más de 60 años, para un promedio de 54 años. Por otra parte, el 13 % de los propietarios de las fincas es oriundo de la región de la Orinoquía, el 82 % es originario de otro lugar del país y el 5 % son extranjeros.

La introducción de los sistemas productivos

La figura 2.1 presenta la evolución de los sistemas productivos en la región de estudio, entre los años 1990 y 2010. Al analizar la dinámica de estos sistemas, se aprecia la disminución progresiva de la sabana nativa, la cual se ha ido reemplazando con la introducción de pastos y de cultivos de maíz, soya y arroz, principalmente.

Los pastos fueron introducidos antes de los noventa, como producto de la investigación del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Del 2000 en adelante se nota un incremento de las áreas dedicadas a los cultivos semestrales, en las que se alternan las especies de maíz, soya y arroz, con tecnologías desarrolladas, en buena parte, por el CIAT y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), hoy AGROSAVIA. En la última década, es notorio el aumento del cultivo del caucho, pero la mayor parte de estos cultivos no han iniciado su fase productiva.

También se observa la reciente introducción de caña de azúcar, con el propósito de producir bioetanol, pero estos cultivos hasta ahora se encuentran en la fase experimental y de multiplicación de material para la siembra. Por último, se percibe la presencia de especies forestales, que corresponden a emprendimientos de carácter privado y que se vienen realizando desde los años ochenta.

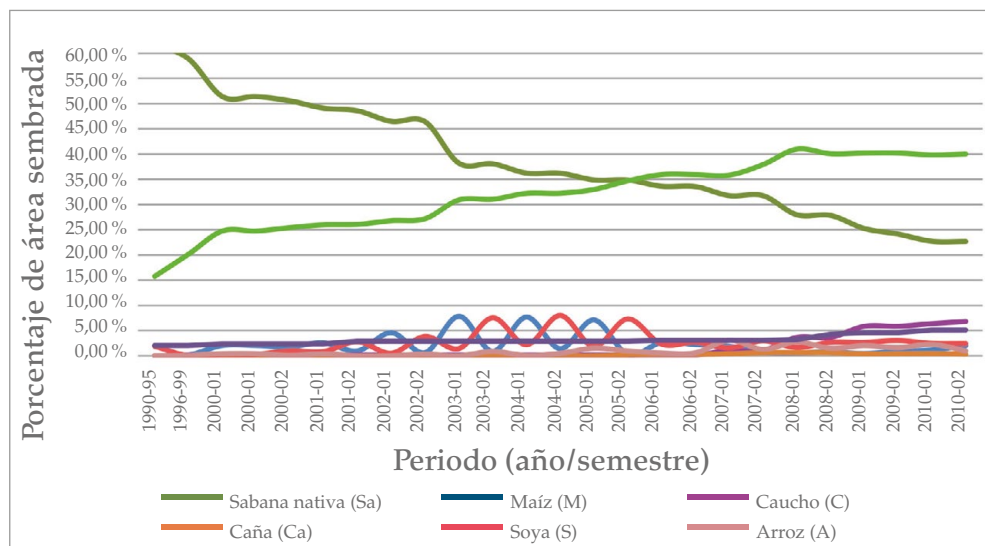


Figura 2.1. Evolución de los sistemas productivos agrícolas en la altillanura plana del Meta (1990-2010).

Fuente: Elaboración propia

En el momento en el que se realizó la encuesta, el 84 % de las fincas tenía uno o más lotes dedicados a praderas mejoradas, principalmente para el desarrollo de ganaderías de carne. El 32 % destinaba uno o más lotes al cultivo del maíz, el 21 % a la soya y el 8 % al arroz. En lo que respecta a los cultivos permanentes, el 21 % manifestó dedicar uno o más lotes al cultivo del caucho, el 11 % a especies forestales y el 8 % a caña de azúcar para la producción de bioetanol.

En conjunto, el 90 % de los encuestados había introducido nuevos sistemas de producción, con las recomendaciones tecnológicas asociadas, y un 10 % aún no lo había hecho. El 45 % manifestó que todavía tenía áreas de sabana nativa y el 92 % dijo que conservaba áreas en bosque de galería (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Indicadores de adopción de sistemas de producción (número de fincas)

Sistemas de producción	Número	Porcentaje
Pastos mejorados	32	84,2
Cultivo de maíz	12	31,6
Cultivo de soya	8	21,1
Cultivo de arroz	3	7,9

(Continúa)

(Continuación tabla 2.1)

Sistemas de producción	Número	Porcentaje
Cultivo de caucho	8	21,1
Cultivo de forestales	4	10,5
Cultivo de caña	3	7,9
Sabana nativa	18	44,7
Bosques de galería	35	92,1
Fincas con adopción	34	89,5
Fincas sin adopción	4	10,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.2 se presentan los porcentajes del área dedicada a cada uno de los sistemas productivos. Se aprecia que, en términos de área, los pastos mejorados para ganadería de carne representan cerca del 50% del área cultivable, el área en cultivos transitorios de rotación de maíz, soya y arroz representan en conjunto el 9,2% del área y el cultivo de caucho representa el 9,7%. Se calcula que cerca del 25% del área cultivable aún se conserva en sabana nativa.

Tabla 2.2 Indicadores de áreas de adopción (por hectáreas)

Sistemas de producción	Hectáreas	Porcentaje
Pastos mejorados	11.815	49,6
Maíz	1.062	4,5
Soya	746	3,1
Arroz	390	1,6
Cultivos transitorios	2.198	9,2
Caucho	2.316	9,7
Forestales	1.595	6,7
Caña	95	0,4
Sabana nativa	5.800	24,4
Área con adopción	18.019	75,6

Fuente: Elaboración propia

Determinantes de la adopción de tecnología

Para analizar estos determinantes, se utilizó la información de corte transversal de la encuesta aplicada en el segundo semestre de 2011 y se construyó el siguiente modelo lineal:

$$Y_i = \beta X_i + \varepsilon$$

Donde:

- Y_i es la variable dependiente, que corresponde a la proporción del área ocupada por el sistema productivo respecto al área total cultivable de la finca i .
- X es el vector o conjunto de características de los productores y de las fincas que permite explicar la adopción de un sistema productivo.
- ε es el término de error, que se distribuye en forma normalizada.

Se probó la adopción de los sistemas productivos desarrollados y transferidos institucionalmente —praderas mejoradas (P), cultivos transitorios de rotación (T), caucho (C) y un indicador ADOP, que recoge la adopción de los anteriores sistemas—. Como variables explicativas se probaron el género, la edad, el nivel educativo, el origen, la experiencia y los años en la zona del propietario de la finca; el tamaño de la finca, el tipo de tenencia y la acción institucional en la transferencia tecnológica. En la tabla 2.3 puede observarse los resultados del modelo explicativo de la adopción de tecnología de las fincas adoptantes.

Tabla 2.3. Modelo de variables explicativas de la adopción tecnológica en sistemas productivos agrícolas

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T (estadístico t)	Sig. (significancia)
	B (valor del coeficiente)	Error típico			
Predarea	0,000	0,000	- 0,172	-2,608	0,015
Género H	0,576	0,129	0,630	4,452	0,000
Nativo	0,096	0,110	0,040	0,870	0,392
Experprod	0,-005	0,003	- 0,136	-1,376	0,181
Edad	0,-006	0,004	- 0,351	-1,332	0,195
Nivacadp	0,-050	0,052	- 0,156	-0,951	0,351
AGROSAVIA	0,157	0,095	0,113	1,649	0,112
CIAT	0,011	0,156	0,004	0,071	0,944
Mavalle	0,-100	0,148	- 0,032	-0,677	0,504
Distribuidor	0,246	0,077	0,170	3,192	0,004
Propiedad	0,614	0,142	0,681	4,322	0,000
Tiempprz	0,006	0,004	0,184	1,309	0,202
Propia	0,084	0,091	0,085	0,922	0,365

Nota: Coeficientes ^{a,b}. a: variable dependiente (Adopcpor); b: regresión lineal a través del origen.
Fuente: Elaboración propia

Las siguientes son las variables independientes o explicativas que se probaron en el modelo de adopción tecnológica:

- *Predarea*: tamaño del predio
- *GéneroH*: productores masculinos
- *Nativo*: productores nativos de la región
- *Experprod*: años de experiencia como productor agropecuario
- *Edad*: edad del productor
- *Nivacadp*: nivel académico del productor

- *AGROSAVIA*: reconocimiento del encuestado de tecnologías generadas y difundidas por AGROSAVIA
- *CIAT*: reconocimiento del encuestado de tecnologías generadas y difundidas por el CIAT
- *Mavalle*: reconocimiento del encuestado de tecnologías difundidas por Mavalle
- *Distribuidor*: reconocimiento del encuestado de productos difundidos por distribuidores locales de insumos
- *Propiedad*: tenencia de la tierra en propiedad
- *Tiemprrz*: tiempo de residencia del productor en la zona
- *Propia*: aplicación de tecnologías propias
- *Adopcpor*: la variable dependiente o de análisis es el porcentaje de adopción

Se considera que una variable explicativa es significativa si la significancia estadística de su coeficiente es mayor a 0,01 y menor o igual a 0,05, y es altamente significativa si es menor o igual a 0,01.

De acuerdo con el modelo, la adopción de tecnología se explica principalmente por el género del propietario de la finca y por el tipo de tenencia. Esta es más frecuente en los predios en los que el propietario es del género masculino y en aquellos que son tenidos en propiedad (frente a otro tipo de tenencia, como el arrendamiento).

Este último aspecto es explicable, en especial, cuando se trata de la introducción de pastos o de cultivos permanentes como el caucho, que para entrar en plena producción requieren de mucho tiempo, casos en los que, por lo general, se exceden los periodos normales de arrendamiento semestral o anual.

Otra variable explicativa de la adopción está dada por la acción divulgativa de productos tecnológicos que hacen los distribuidores de insumos, ante todo, de semillas, fertilizantes y pesticidas. Sobre este punto vale la pena resaltar que, para los encuestados, el distribuidor o la casa comercial son generalmente más reconocidos que las instituciones que desarrollan la tecnología.

En el modelo puede observarse que, como variable explicativa de la adopción, el coeficiente de los distribuidores es bastante significativo y superior a la significancia de aquel de AGROSAVIA (0,11). Si bien AGROSAVIA y el CIAT no presentan valores significativos que expliquen el índice general de adopción

de tecnología, estas dos entidades son reconocidas por los encuestados cuando se trata de productos tecnológicos específicos, como variedades de maíz y soya, en el caso de AGROSAVIA, y de algunas variedades de arroz y de pastos, en el caso del CIAT.

Una variable explicativa con coeficiente negativo y significativo es el tamaño del predio, de tal forma que hay una mayor adopción de tecnología en predios relativamente pequeños. Lo anterior puede deberse a que en los predios de grandes extensiones es más difícil introducir la tecnología en toda su extensión, por los volúmenes de capital y de trabajo que se requieren.

La edad y la experiencia del propietario presentan valores negativos y una significancia relativamente baja (0,19 y 0,18, respectivamente), lo cual parece indicar una ligera tendencia a que, entre mayor y más experimentado es el propietario, menor es el índice de adopción de tecnología o, dicho de otra manera, los productores más jóvenes y con menor experiencia tienen una mayor propensión a innovar en sus fincas.

Características de las tecnologías asociadas a los sistemas productivos introducidos

Los suelos de altillanura son ácidos, con baja saturación de bases y alta saturación de aluminio, por ello se ha recomendado aplicar correctivos antes de la siembra; aquellos usados con mayor frecuencia para la acidez del suelo son la cal dolomítica, el calfos, la roca fosfórica y el yeso. Con el fin de evaluar la frecuencia de su aplicación, se registraron el área y el periodo de utilización, como se observa en la figura 2.2.

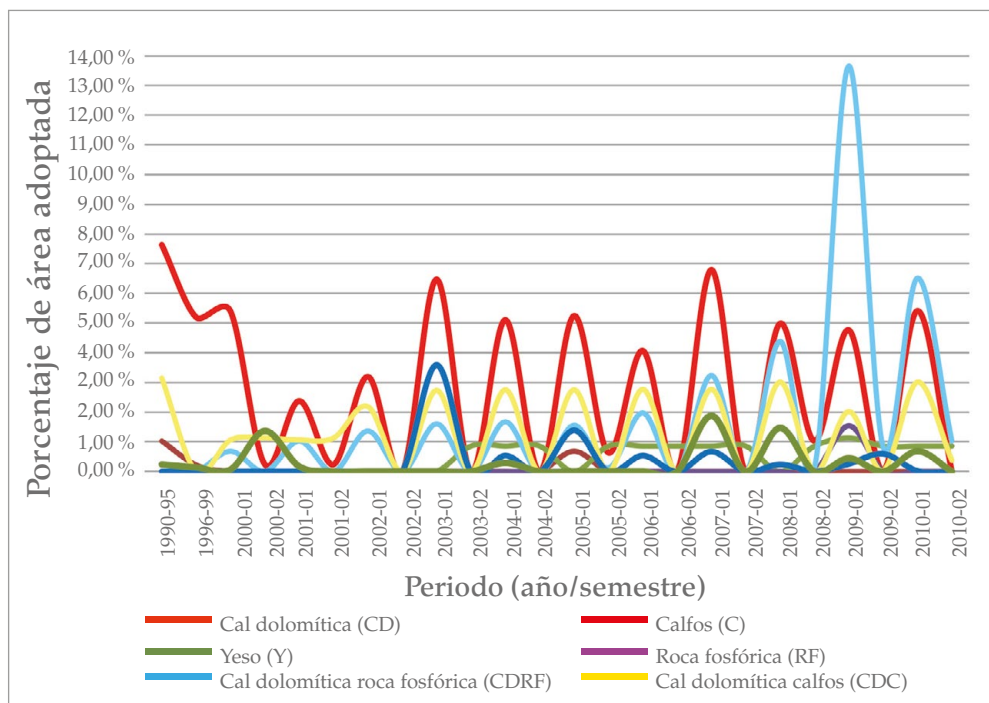


Figura 2.2. Evolución de la aplicación de correctivos de acidez en los suelos (1990-2010).
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que hay una aplicación permanente de los correctivos en los sistemas agrícolas evaluados, en los cuales predomina la cal dolomítica sola y la mezclada con roca fosfórica, desde la década de los noventa.

Esta cal es una fuente importante de calcio y magnesio, que aumenta la saturación de bases, disminuye la acidez y neutraliza el aluminio presente en el suelo. Su aplicación con roca fosfórica genera un aporte adicional de calcio y de fósforo.

En la figura 2.2 se advierte un comportamiento oscilatorio en el empleo de correctivos que muestra que, por lo general, se aplican una vez al año, principalmente, en el primer semestre.

Tecnologías reportadas en cultivos de arroz

Esta sección hace referencia a los resultados (analizados estadísticamente) reportados por los agricultores de la altillanura plana que, en su desarrollo productivo, han sembrado arroz.

Material genético

Entre las encuestas realizadas en la altillanura, solo el 21 % de las fincas informaron sobre cultivos de arroz. En la tabla 2.4 se presentan los materiales genéticos reportados por los productores entrevistados. Allí se observa que la semilla Línea 30 es el material utilizado con mayor frecuencia.

Tabla 2.4. Material genético para cultivos de arroz

Nombre	Reportes
Línea 30	75 %
Oryzica Sabana 10	12 %
Oryzica Sabana 6	12 %

Fuente: Elaboración propia

Correctivos

El uso de correctivos de suelo permite mejorar su fertilidad y desarrollar un potencial agropecuario que haga posible manejar productos comerciales de buena calidad. Esta aplicación en los cultivos fue reportada de manera semestral y anual. Vale la pena anotar que el hecho de que varios de los encuestados reportaran no utilizar correctivos se debió a que el análisis de suelos les indicaba que no era requerido, a raíz de los efectos acumulados de aplicaciones anteriores (figura 2.3).

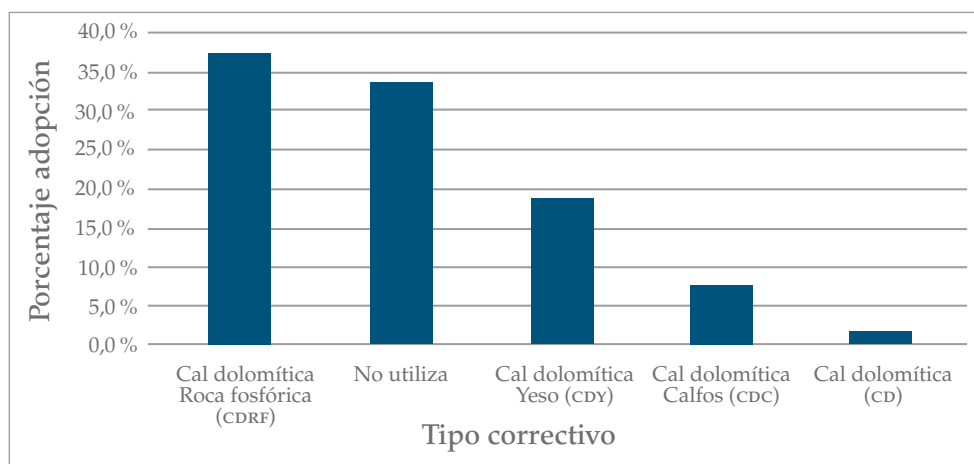


Figura 2.3. Correctivos de acidez de suelo utilizados en cultivos de arroz.
Fuente: Elaboración propia

- *Modo de aplicación:* según los encuestados, el método más frecuente es el uso de la encaladora.
- *Modo de incorporación:* el 90% de los encuestados que reportó la siembra de arroz manifestó que la hacía mediante el cincel, la rastra u otro implemento agrícola (figura 2.4). El uso del cincel y la rastra favorece mejoras en cultivos de arroz donde los suelos presentan problemas de compactación.

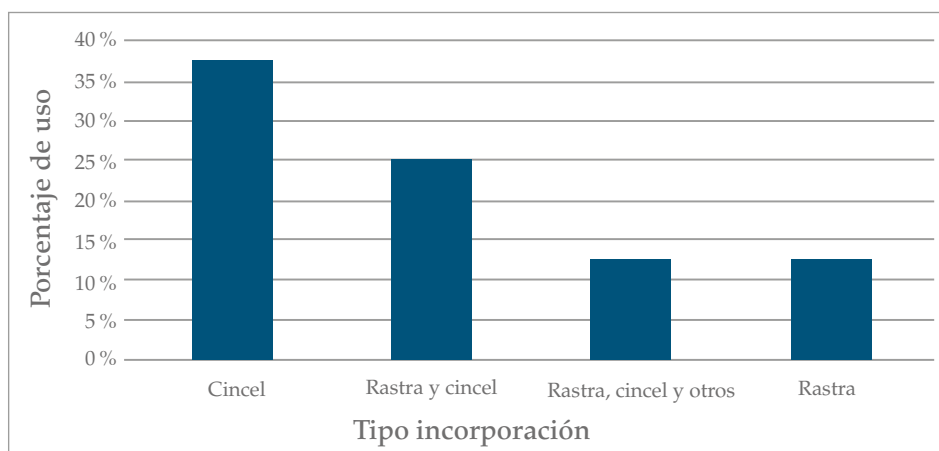


Figura 2.4. Modo de incorporación de los correctivos de acidez de suelos en cultivos de arroz.
Fuente: Elaboración propia

Fertilizantes

En la tabla 2.5 se registra la frecuencia de uso de los fertilizantes en los cultivos de arroz. Se observa que en la mayor parte de ellos se aplican fertilizantes compuestos, que responden a los requerimientos identificados en los análisis de suelos. En menor proporción se aprecia la utilización de fertilizantes simples, como la urea y el zinc.

Tabla 2.5. Fertilizantes reportados en cultivos de arroz

Nombre del fertilizante	Porcentaje
15-0-25-3	38
Otro	25
Zinc	25
24-0-17-5-6	25
23-0-30	13
23-0730	13
20-30-10	13
14-25-14	13
12-24-12-2	50
Elementos menores	13
15-4-23-4	13
Urea	13

Fuente: Elaboración propia

Control de malezas

En el caso del arroz, el medio de control más frecuente son los herbicidas, utilizados en el 88 % de las fincas. El glifosato es el que registra el mayor reporte de uso en presiembra, pues durante el cultivo se usan otros herbicidas específicos. La totalidad de los encuestados manifestó que aplicaba herbicidas con el uso de tractor (figura 2.5).

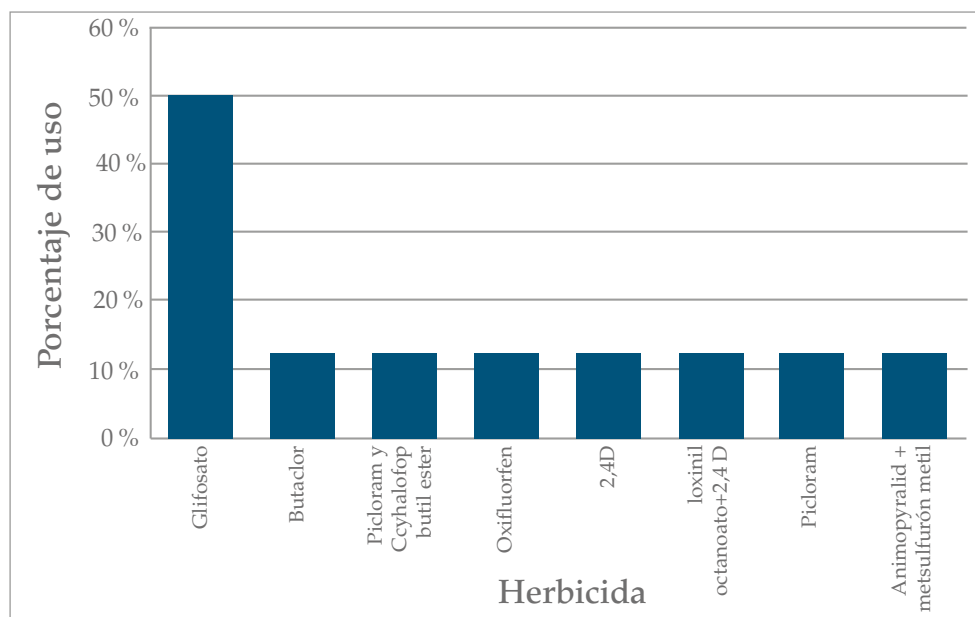


Figura 2.5. Herbicidas utilizados en cultivos de arroz.

Fuente: Elaboración propia

Manejo de plagas y enfermedades

En la figura 2.6 se presentan las enfermedades más frecuentes en los cultivos de arroz de la altillanura. De acuerdo con el concepto de los técnicos, al tratarse de una zona más seca que la del piedemonte, las enfermedades son menos virulentas con los cultivos y, por lo tanto, son más manejables. Por lo general, son tratadas con fungicidas químicos específicos.

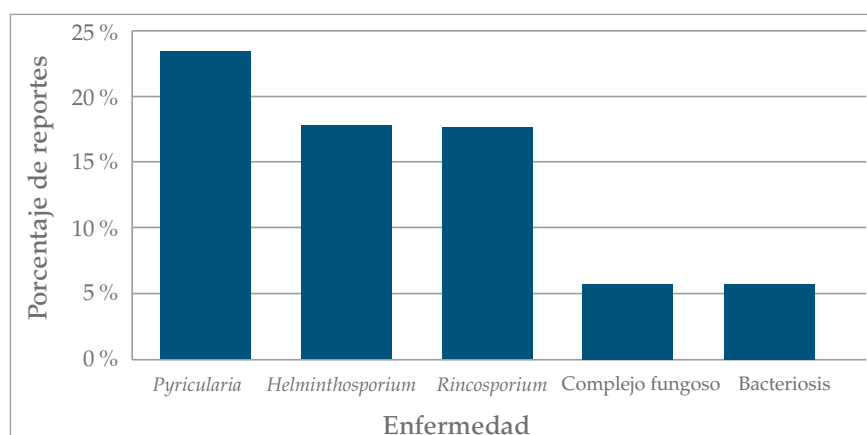


Figura 2.6. Enfermedades reportadas en cultivos de arroz.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a insectos plaga, el 62 % de los cultivadores de arroz reportó ataques de *Spodoptera* y el 50 % informó acerca de la incidencia del chinche de la raíz; los dos se controlan mediante la aplicación de insecticidas químicos.

Tecnologías reportadas en maíz

Este apartado hace referencia a los resultados de lo manifestado por los agricultores de la altillanura plana que en su desarrollo productivo han sembrado maíz.

Material genético

En la evaluación de los sistemas agrícolas, se identificó el material genético presente en las 38 fincas encuestadas, de entre las cuales 16 reportaron cultivos de maíz. Cada una de ellas informó haber manejado hasta cuatro materiales genéticos de este producto. La frecuencia de uso de cada material se presenta en la figura 2.7.

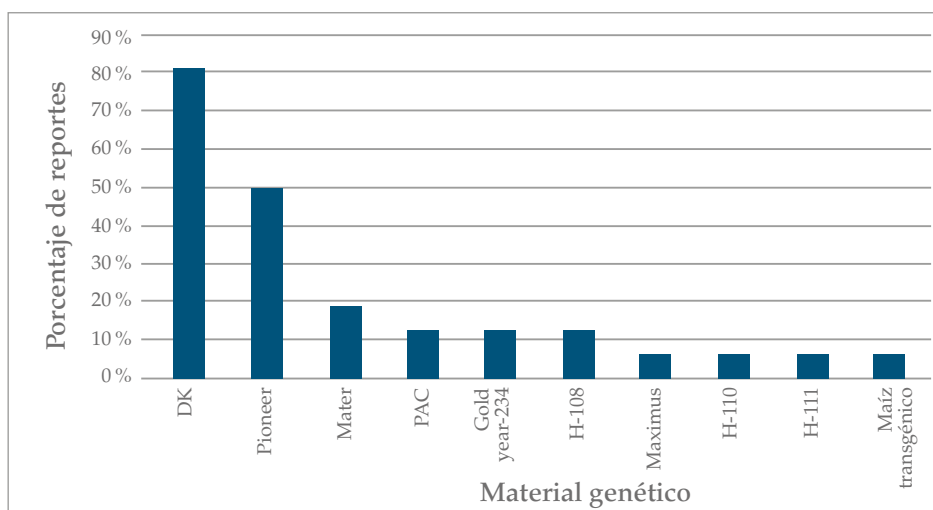


Figura 2.7. Materiales genéticos de maíz reportados en las fincas encuestadas.

Fuente: Elaboración propia

El 26 % de las semillas que mencionaron los encuestados fueron recomendadas por comercializadoras presentes en la región. El 21 % del material genético fue recomendado por AGROSAVIA, y se indicó que la utilización de variedades e híbridos condujo a un buen rendimiento.

De acuerdo con el concepto de los encuestados, los materiales H-108, H-110 y H-111 son utilizados por lo general en los primeros cultivos para colonizar la sabana, y luego, cuando el suelo ha sido mejorado, se introducen otros materiales que ofrecen un mayor rendimiento.

Correctivos

En los cultivos de maíz se evidenció que el 36 % del área sembrada emplea la mezcla de cal dolomítica y yeso. Sin embargo, otro 36 % no utiliza correctivos, debido a que, mediante aplicaciones anteriores, ya se ha logrado disminuir la acidez y mejorar la saturación de bases (figura 2.8).

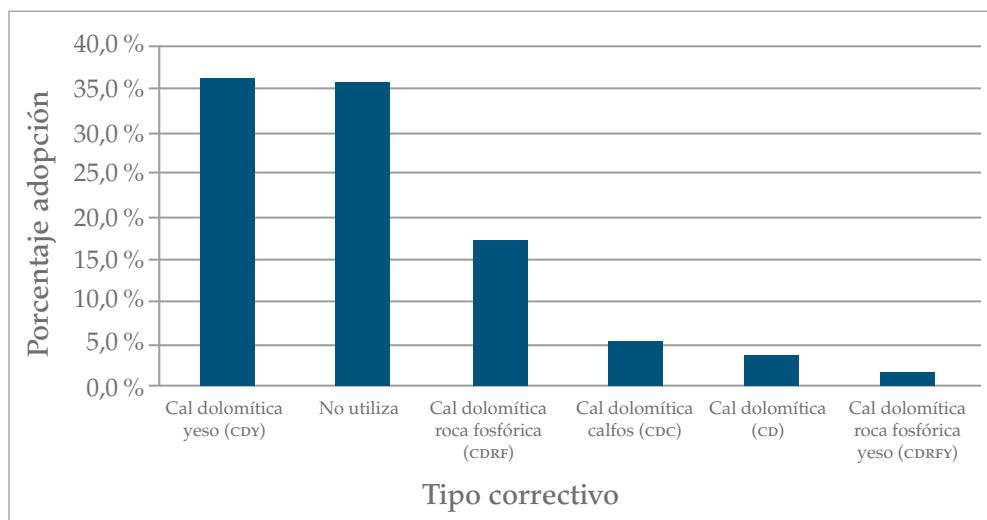


Figura 2.8. Correctivos de acidez de suelo utilizados en cultivos de maíz.

Fuente: Elaboración propia

- *Modo de aplicación:* la totalidad de los encuestados que cultivan maíz reportó que la encaladora era el medio más frecuente para aplicar los correctivos de acidez.
- *Modo de incorporación:* el 65 % de los cultivadores de maíz reportó que incorporaba los correctivos mediante rastra o cincel (figura 2.9) y el 35 % restante manifestó no incorporarlos.

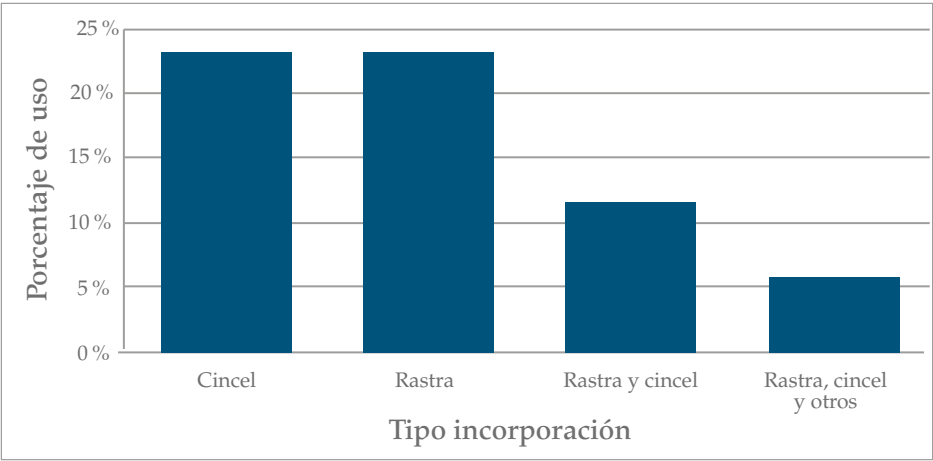


Figura 2.9. Modo de incorporación de los correctivos de acidez de suelos en cultivos de maíz.
Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos, el uso de estos implementos agrícolas responde a la decisión de los productores, aunque se registran recomendaciones de AGROSAVIA y del CIAT.

Fertilizantes

La aplicación de los fertilizantes en los cultivos de maíz permite mantener el balance de los nutrientes que han sido extraídos por el corte, la escorrentía, la lixiviación y la volatilización natural, lo que mantiene y conserva la capacidad productiva de los cultivos.

Los fertilizantes registrados para el maíz se detallan en la tabla 2.6, en la que se observa el uso de abonos compuestos, pero también el empleo de abonos simples, como la urea, el cloruro de potasio y el fosfato diamónico, entre otros.

Tabla 2.6. Fertilizantes reportados en cultivos de maíz

Nombre del fertilizante	Porcentaje de uso
Urea	16,7
otros	13,0
12-24-12-2	13,0
15-0-25-3	11,1

(Continúa)

(Continuación tabla 2.6)

Nombre del fertilizante	Porcentaje de uso
Cloruro de potasio	7,4
0-0-60	7,4
Borozinco	5,6
21-0-0	5,6
Fosfato diamónico (DAP)	3,7
23-50	1,9
35-0-15	1,9
Elementos menores	1,9
Yeso	1,9
Zinc	1,9

Fuente: Elaboración propia

Control de malezas

En los cultivos de maíz, los herbicidas han sido considerados el medio más práctico, efectivo y económico para reducir la competencia de las malezas, las pérdidas de rendimiento y los costos de producción. En la figura 2.10 se describe la frecuencia de uso de los diversos herbicidas.

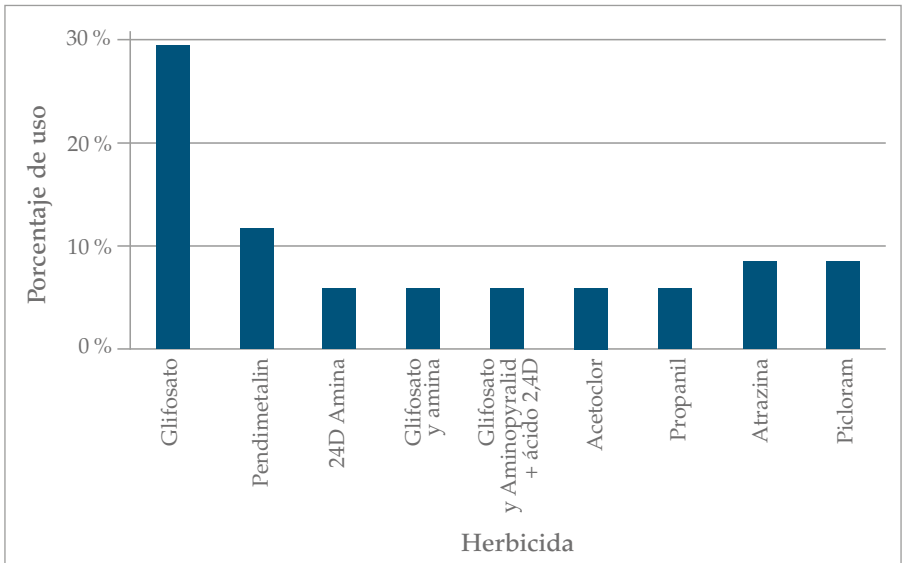


Figura 2.10. Herbicidas utilizados en cultivos de arroz.

Fuente: Elaboración propia

Control de plagas y enfermedades

El maíz puede ser atacado por varias enfermedades que afectan de alguna forma el normal desarrollo de las plantas y que son favorecidas por las condiciones ambientales, el tipo de suelo y la susceptibilidad de los materiales.

Aquellas enfermedades de origen viral son causadas por circunstancias que propician la migración, el establecimiento y la supervivencia de los insectos vectores. Entre las fincas que registraron la siembra de maíz, el 76 % reportó haber tenido problemas de enfermedades y plagas, cuya frecuencia se describe en las figuras 2.11 y 2.12.

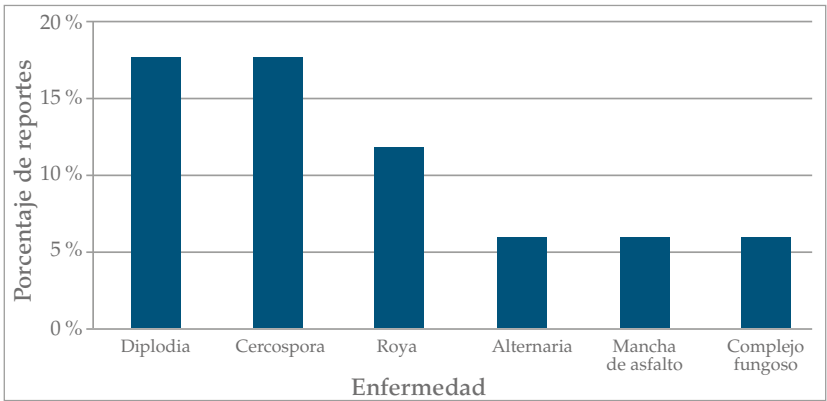


Figura 2.11. Enfermedades reportadas en cultivos de arroz.
Fuente: Elaboración propia

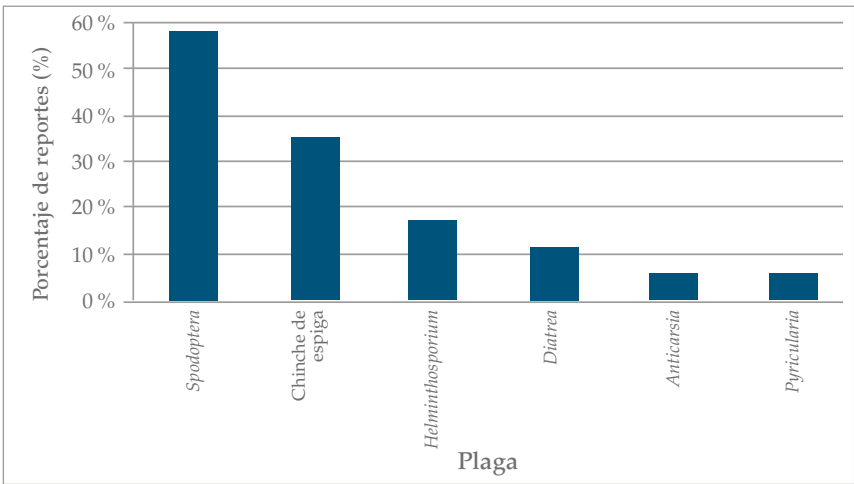


Figura 2.12. Plagas reportadas en cultivos de maíz.
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a insectos plaga, los más frecuentes son *Spodoptera*, el chinche de la espiga y *Diatraea*. El tipo de control más frecuente de plagas y enfermedades es el químico, con el 94 %; el 6 % restante informa que realiza control biológico y cultural. El 61 % de las fincas indica que el tractor es el modo de aplicación más frecuente, el 31 % lo hace de manera aérea, y el 8 % restante con bomba de espalda.

Tecnologías reportadas en soya

En esta sección se hace referencia a los resultados reportados por los agricultores de la altillanura plana que en su desarrollo productivo han sembrado soya.

Material genético

En las fincas que reportaron el cultivo de soya, el material genético más utilizado es la variedad P-34, informado por el 61 % de los encuestados. La frecuencia de cada material genético reportado se presenta en la figura 2.13.

Respecto a la institución de la que recibieron las recomendaciones, un 44 % manifestó que había sido una decisión propia, el 29 % dijo que respondía a una recomendación de AGROSAVIA, un 12 %, a la de una distribuidora de semillas, el 9 %, de Fenalce y el 6 %, de la Fundación San Martín.

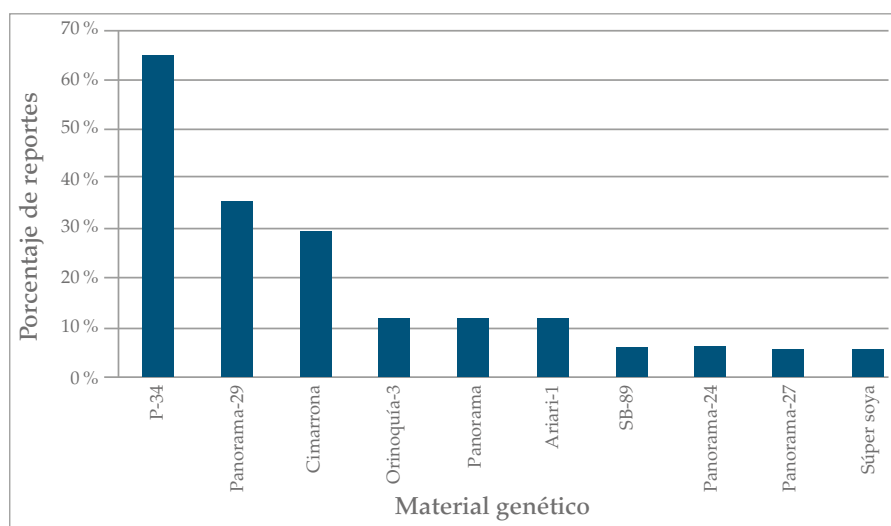


Figura 2.13. Materiales genéticos de soya reportados en las fincas encuestadas
Fuente: Elaboración propia

Correctivos

Para los cultivos de soya se estableció que en el 63 % del área sembrada no se emplearon correctivos; en el 23 % se indicó que se aplicó la mezcla de cal dolomítica y yeso y en el 7 % se aplicó una mezcla de cal dolomítica y calfos (figura 2.14).

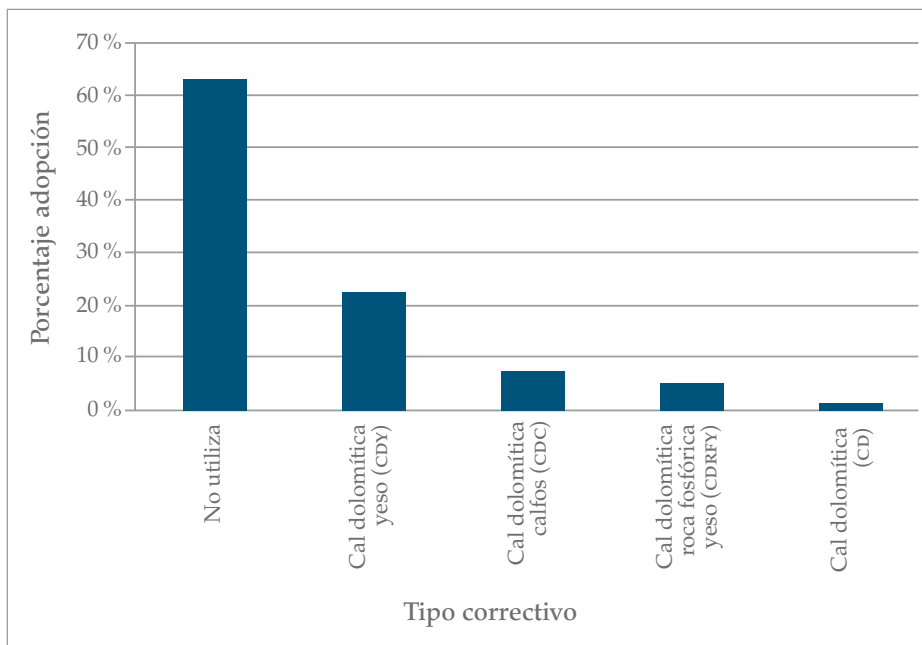


Figura 2.14. Correctivos de acidez de suelo utilizados en cultivos de maíz.

Fuente: Elaboración propia

- *Modo de aplicación:* el 100 % de los encuestados declaró que el método más recurrente para aplicar correctivos es el uso de encaladora. Este instrumento se reporta desde las primeras siembras de soya.
- *Modo de incorporación:* 17 de las fincas encuestadas registraron cultivos de soya, de las cuales el 71 % hacen incorporación y el 29 % no. Este procedimiento se realiza mediante rastra o cincel (figura 2.15).

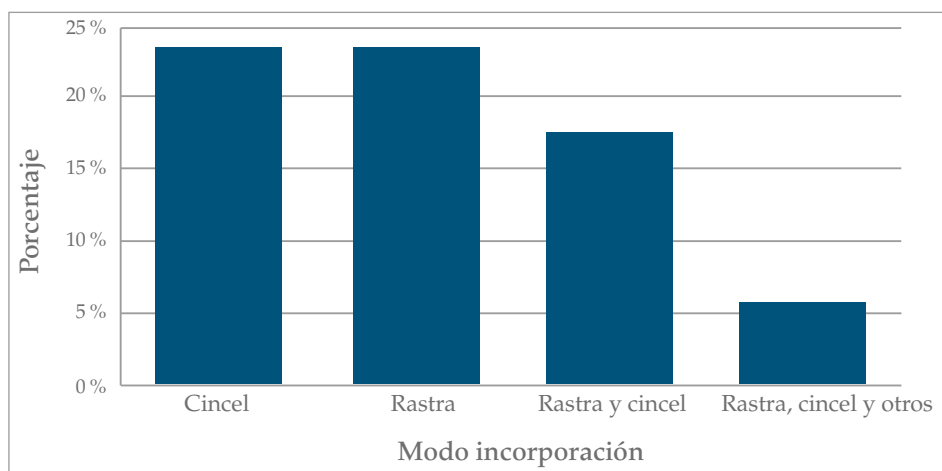


Figura 2.15. Modo de incorporación de los correctivos de acidez de suelos en cultivos de soya.
Fuente: Elaboración propia

Fertilizantes

Los fertilizantes de uso más frecuente se registran en la figura 2.16. La mayor parte de los abonos utilizados son simples, como el cloruro de potasio y la urea; se aprecia también el uso de biofertilizantes como *Rhizobacter*.

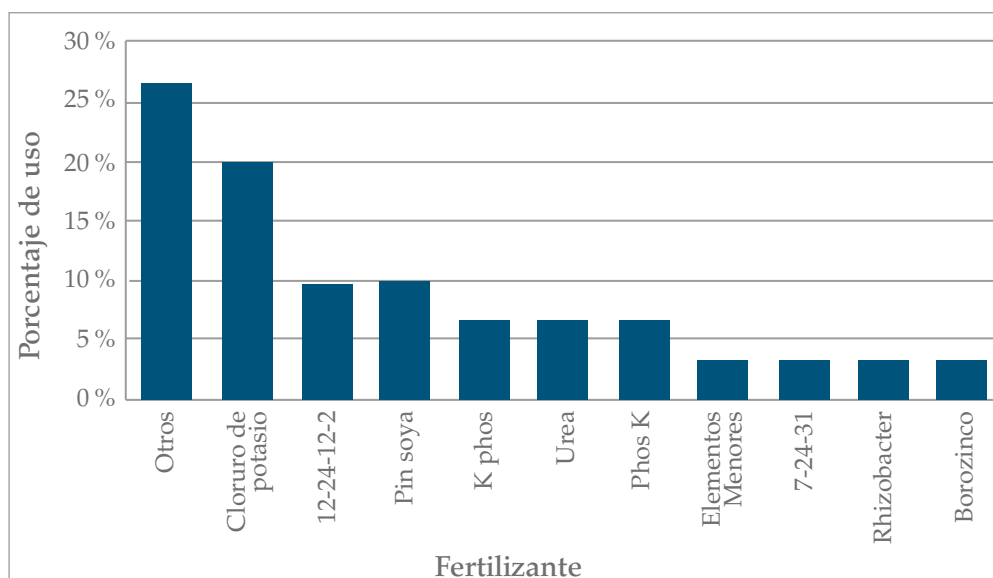


Figura 2.16. Fertilizantes empleados en cultivos de soya.
Fuente: Elaboración propia

El 57% de los encuestados manifestó que había seleccionado los fertilizantes por decisión propia, el 10% por recomendación de AGROSAVIA, el 7% por la del CIAT y el 3% por la de Abocol.

Control de malezas

El método de control de maleza usado con más frecuencia en los cultivos de soya es la aplicación de herbicidas. Aquellos de mayor uso con esta función se presentan en la figura 2.17.

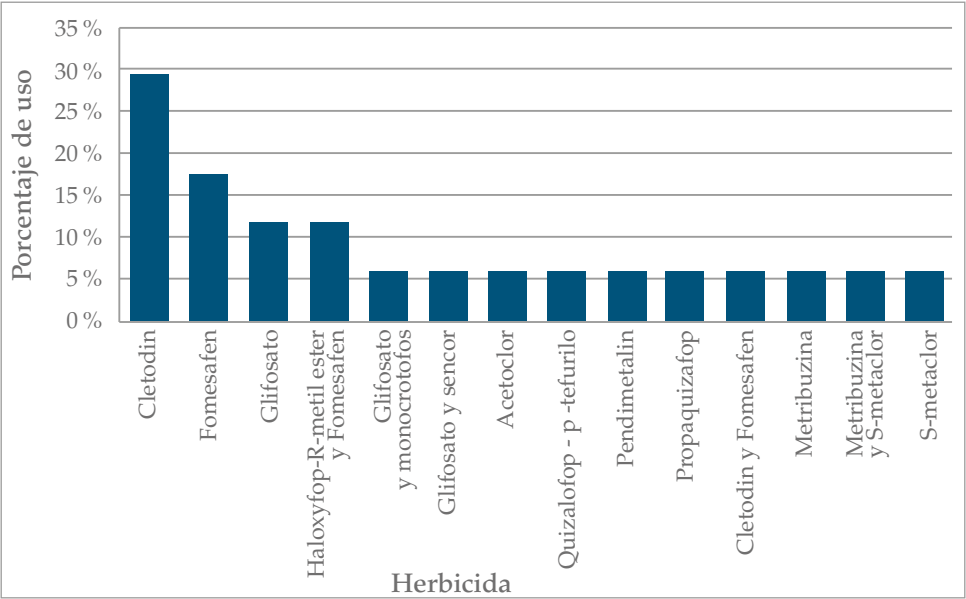


Figura 2.17. Herbicidas utilizados en cultivos de soya.
Fuente: Elaboración propia

Plagas y enfermedades

Se han reportado varios patógenos que causan enfermedades en las zonas productoras de soya. Las principales enfermedades reportadas por las 17 fincas con este cultivo fueron la roya y la mancha ojo de rana (*Cercospora sojina*), ambas con un 29%, además de pudriciones de la parte radicular originadas por *Rhizoctonia*, enfermedad que representa el 12%. Por su parte, los insectos plaga más habituales son los crisomélidos, con el 40%, *Anticarsia* con el 12% y *Spodoptera* con el 9%.

Tecnologías reportadas en pastos y forrajes

Los resultados de la encuesta indican que en el 81,5 % de las fincas consultadas se reportó la introducción de pastos y forrajes con destino a ganaderías de carne en la altillanura. A continuación, se presentan las principales características de la tecnología utilizada.

Recursos genéticos

Como se mencionó anteriormente, la introducción de pastos y forrajes en la altillanura se inició en los años ochenta, y los técnicos los han clasificado como pastos de primera o de segunda generación, como se describe en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Materiales genéticos de pastos introducidos

Generación	Nombre científico	Nombre común
1953-1993	<i>Brachiaria decumbens</i>	Decumbens
	<i>Brachiaria dictyoneura</i>	Llanero
	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. La Libertad	La Libertad
	<i>Cynodon nlenfuensis</i>	Estrella
	<i>Brachiaria humidicola</i>	Humidicola
1994-2002	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombasa	Mombasa
	<i>Brachiaria</i> híbrido cv. Mulato (CIAT 36061)	Mulato I
	<i>Brachiaria</i> híbrido cv. Mulato II (CIAT 36087)	Mulato II
	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzania	Tanzania
	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Toledo	Toledo

Fuente: Elaboración propia

Estos materiales genéticos fueron introducidos por diferentes entidades, principalmente, por el CIAT y el ICA, y luego por AGROSAVIA. Sin embargo, cuando se les preguntó a los encuestados acerca de la procedencia de la recomendación de los materiales que introdujeron, el 56 % manifestó que estas especies fueron establecidas directamente por el criterio del productor, el 24 % por recomendación de Semillano, el 13 % por indicación de AGROSAVIA, el 5 % recordó que fue una recomendación del ICA y el 2 % afirmó que fue una recomendación de la Fundación San Martín.

Uno de los géneros de gramíneas forrajeras con mayor presencia en la altillanura plana es *Brachiaria*, con más de 150 especies, pero solo 11 de estas tienen una frecuencia significativa en los reportes de las fincas encuestadas. En la figura 2.18 se presenta la evolución de los pastos introducidos en la altillanura en el periodo que va de 1990 a 2010.

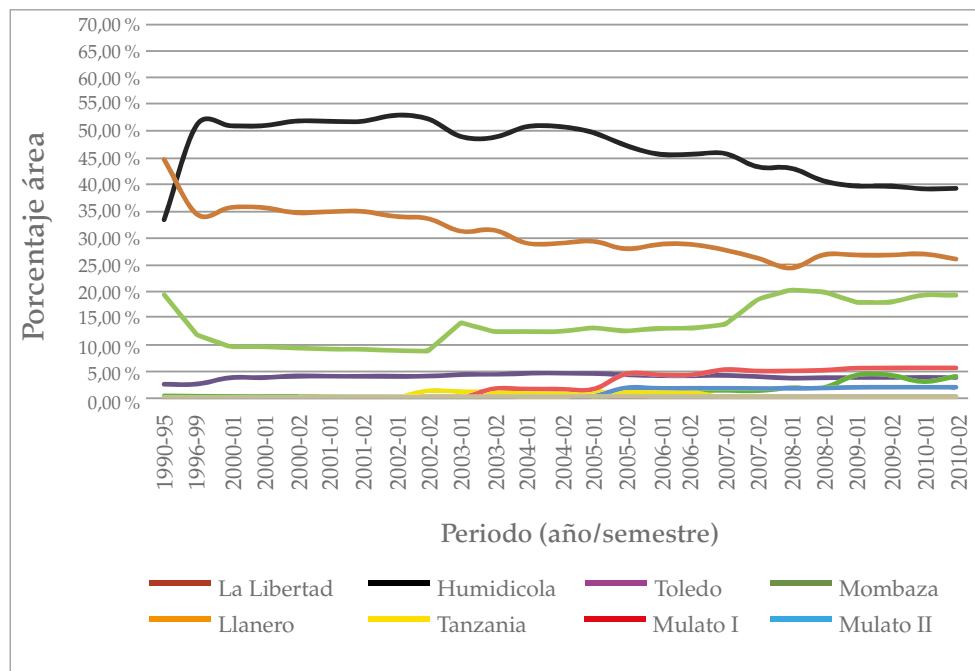


Figura 2.18. Evolución de los pastos introducidos y mejorados (1990-2010).

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que los principales pastos introducidos corresponden a las especies *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria dictyoneura* (llanero) —ambos de la primera generación— y *Panicum maximun* (Mombaza) —de la segunda—, cuyo uso se ha venido incrementando en los últimos años en praderas para ganaderías de carne.

En la figura 2.19 se presentan las especies de pastos introducidos más reportados en el momento en que se realizó la encuesta. Se observa el predominio de *B. dictyoneura*, *B. humidicola* y *B. decumbens*, seguidos por *P. maximun* (Mombaza), *B. brizantha* (Toledo) y los híbridos Mulato I y Mulato II, desarrollados por el CIAT.

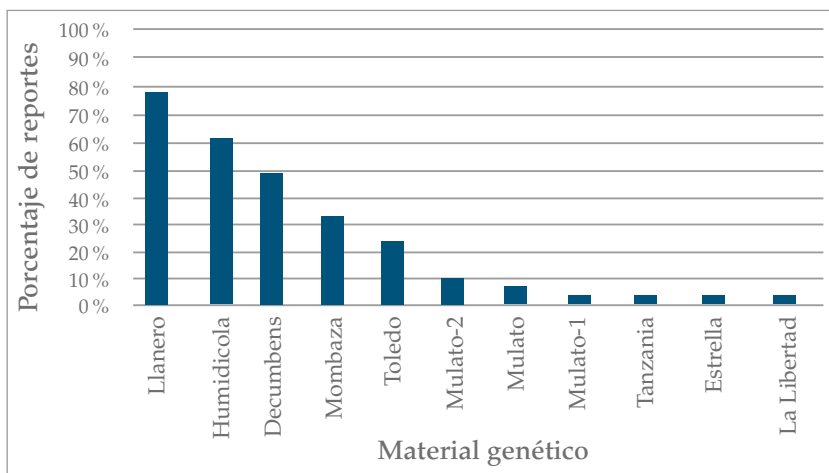


Figura 2.19. Materiales genéticos de los pastos reportados en las fincas encuestadas.
Fuente: Elaboración propia

Correctivos

Al consolidar la información de las encuestas, se encontró que la cal dolomítica es el correctivo que registra el mayor número de usos a través de los diferentes periodos evaluados (equivalente al 11 % del área sembrada en pastos), seguido por la mezcla de cal dolomítica y calfos (que corresponde al 3%) (figura 2.20).

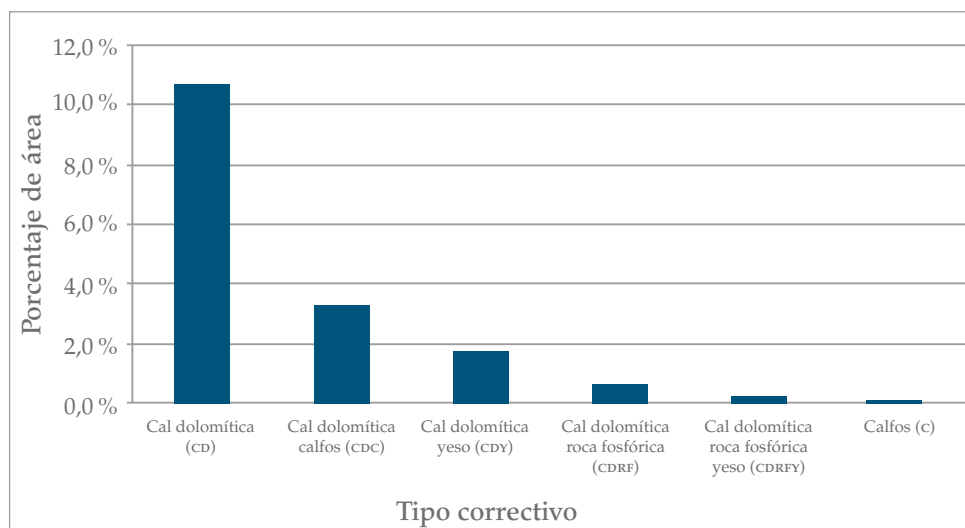


Figura 2.20. Correctivos de acidez de suelo utilizados en pastos.
Fuente: Elaboración propia

- *Modo de aplicación:* la totalidad de los encuestados que introdujeron pastos manifestó que el método más recurrente en la aplicación de correctivos es el uso de encaladora.
- *Modo incorporación:* el 48 % de las fincas que reportaron pastos informaron que incorporaban los correctivos y el 52 % manifestó que no lo hacía. Dentro de los métodos más utilizados se encuentran la rastra, con el 23 %, junto con otros instrumentos agrícolas, como el *rotospeed* y el rastrillo, que representan el 10 % del uso en pastos (figura 2.21).

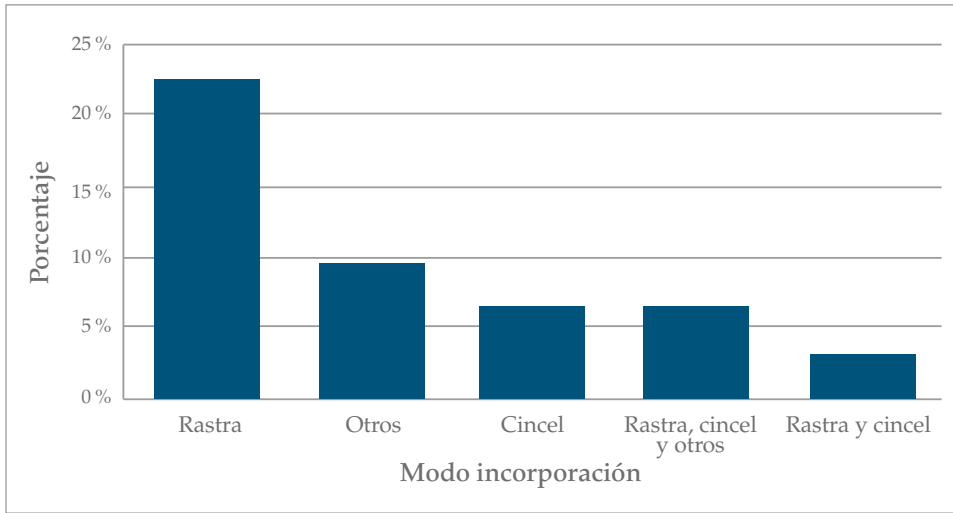


Figura 2.21. Modo de incorporación de los correctivos de acidez de suelos para pastos.
Fuente: Elaboración propia

Fertilizantes

La aplicación de fertilizantes en el establecimiento de las praderas suple la insuficiencia de los elementos nutritivos en el suelo, lo que asegura el desarrollo rápido de las plantas y una alta producción de forraje en las praderas.

En la tabla 2.8 se presentan los fertilizantes utilizados con más frecuencia en el establecimiento de los pastos. La mayor parte de los encuestados utiliza abonos compuestos de diversas formulaciones y, en menor medida, abonos simples, como la urea, el cloruro de potasio y el humus, como fuente de materia orgánica.

Tabla 2.8. Fertilizantes reportados en cultivos de soya

Nombre fertilizante	Porcentaje de uso
Diversos compuestos	46
Cloruro de potasio	8
Elementos menores	8
Humus	8
Urea	8

Fuente: Elaboración propia

Control de malezas

Las malezas en las praderas son más habituales en lotes que han sido dedicados previamente a la producción de cultivos como arroz, maíz y soya. Los encuestados que mencionaron problemas de malezas en la fase de establecimiento de los pastos, afirmó realizar controles mecánicamente con *rotospeed* y pala.

Una minoría de los encuestados informó que empleaba el método comúnmente denominado *desmatonar*, mediante la eliminación manual. Sin embargo, el tipo de control más utilizado es el químico. En la figura 2.22 se encuentran los herbicidas declarados por los encuestados.

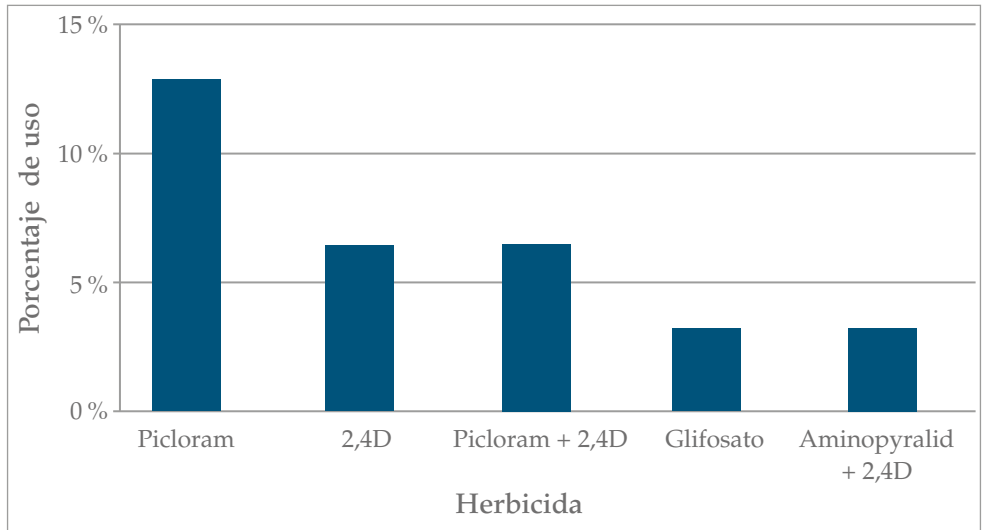


Figura 2.22. Herbicidas utilizados en pastos.

Fuente: Elaboración propia

El 83 % de los herbicidas reportados fueron introducidos principalmente por el criterio del productor y por recomendación de las distribuidoras de insumos.

Plagas y enfermedades

Según los reportes de los productores, el mion de los pastos afectó de forma esporádica pasturas con cargas animales bajas, pero en todos los casos se recuperaron satisfactoriamente. En contraste con otras pasturas de primera generación, *B. dictyoneura* (llanero) presentó algunos ataques de la hormiga arriera.

Los encuestados también informaron cierto grado de susceptibilidad del pasto Mulato al ataque de *Rhizoctonia solani*, en particular, en periodos del año con alta humedad relativa y temperaturas elevadas. Otra de las plagas que algunas veces atacó los pastos fue el gusano ejército, conocido como *Spodoptera*. No obstante, de los 82 lotes que registraron pastos, solo cuatro reportaron afectaciones por las plagas aquí mencionadas.



Capítulo III

Análisis de la rentabilidad privada de los sistemas de producción agropecuaria en la zona de estudio

Roger Alonso Bautista Cubillos
Otoniel Pérez López
Samuel Caicedo Guerrero

Introducción

La evaluación financiera de proyectos se utiliza como un instrumento para la toma de decisiones del inversor. De igual modo, la actividad agropecuaria requiere resoluciones que sean económicamente rentables y conduzcan a la competitividad y al bienestar de los productores. Este capítulo se desarrolló con un enfoque retrospectivo: los escenarios se basaron en periodos de diez y veinte años, según el sistema a analizar, hasta el año 2010. Para este fin existen varios indicadores, que orientan las determinaciones sobre alternativas de inversión, entre ellos, el valor presente neto (VPN), que convierte todos los ingresos y egresos derivados de un flujo de caja a pesos de hoy o al valor presente, utilizando una tasa de interés de oportunidad (TIO) o costo de oportunidad, que es la alternativa que el inversor sacrifica con el fin de realizar otra actividad (Baca, 2007).

Una de las primeras preguntas que se hace un inversionista es la siguiente: ¿Qué tan rentable fue o puede ser mi inversión? Para responderla se aplica otro indicador, como la tasa interna de retorno (TIR), que es característica de cada proyecto y, por lo tanto, objetiva; dicha tasa mide la rentabilidad en términos porcentuales (Baca, 2007). Como información

complementaria, se tienen en cuenta otros indicadores financieros, como costos de producción, eficiencia, rendimientos, precios y utilidades, expresados en precios constantes del 2010.

En las encuestas que se aplicaron en las fincas de la región se evidenció la presencia frecuente de seis sistemas de producción, que han sido resultado de procesos de generación y transferencia de tecnologías institucionales y particulares, así como de adopción de los productores. Por consiguiente, a continuación se enuncian los escenarios de los modelos de producción que se van a simular.

- Ganadería en sabana nativa
- Ganadería en praderas introducidas
- Sistemas de rotación de soya y maíz (cuatro años iniciales) y ganadería en sabana mejorada (seis años finales)
- Sistemas de rotación de arroz-soya (dos años iniciales) y de maíz-soya (ocho años)
- Sistemas de rotación de soya (tres ciclos o tres semestres continuos), rotación con maíz en el cuarto semestre y, sistemáticamente, soya y maíz para los ocho años siguientes
- Sistema de producción de caucho en monocultivo

Los sistemas que involucran ganadería se calcularon exclusivamente para el rendimiento de carne. La simulación se realizó para un periodo de diez años en los cultivos de rotación y ganadería, y de veinte años para el sistema de producción de caucho en monocultivo.

En todos los escenarios se partió de la introducción de los cultivos o los pastos a la sabana nativa. Vale la pena mencionar que el sexto escenario corresponde a cifras estimadas, dado que la mayor parte de los cultivos de caucho presentes en la zona aún se encontraban en sus fases iniciales de desarrollo y no habían alcanzado niveles estables de producción de látex.

En la tabla 3.1 se presenta la secuencia de introducción de los sistemas de cultivos transitorios y de pastos introducidos en las sabanas nativas que fueron analizados.

Tabla 3.1. Secuencia de introducción de cultivos transitorios y de pastos para ganadería bovina (diez años)

Año	Sistema (1)	Sistema (2)	Sistema (3)	Sistema (4)	Sistema (5)
0	Ganadería en sabana nativa	Ganadería en pastos introducidos	Soya-maíz	Arroz-soya	Soya-soya
1	Ganadería en sabana nativa	Ganadería en pastos introducidos	Soya-maíz	Arroz-soya	Soya-maíz
2	Ganadería en sabana nativa	Ganadería en pastos introducidos	Soya-maíz	Maíz-soya	Soya-maíz
3	Ganadería en sabana nativa	Ganadería en pastos introducidos	Soya-maíz	Maíz-soya	Soya-maíz
4	Ganadería en sabana nativa	Ganadería en pastos introducidos	Ganadería en pastos introducidos	Maíz-soya	Soya-maíz
5	Ganadería en sabana nativa	Ganadería en pastos introducidos	Ganadería en pastos introducidos	Maíz-soya	Soya-maíz
6	Ganadería en sabana nativa	Ganadería en pastos introducidos	Ganadería en pastos introducidos	Maíz-soya	Soya-maíz
7	Ganadería en sabana nativa	Ganadería en pastos introducidos	Ganadería en pastos introducidos	Maíz-soya	Soya-maíz
8	Ganadería en sabana nativa	Ganadería en pastos introducidos	Ganadería en pastos introducidos	Maíz-soya	Soya-maíz
9	Ganadería en sabana nativa	Ganadería en pastos introducidos	Ganadería en pastos introducidos	Maíz-soya	Soya-maíz

Fuente: Elaboración propia

La secuencia de establecimiento y manejo del cultivo de caucho se realiza para un periodo de veinte años.

Análisis de costos de producción por especie

Para llevar a cabo este análisis, se desagregaron los costos de producción de cada una de las especies evaluadas, con el fin de calcular el peso de cada actividad en el costo total de producción. La fuente de esta información son los costos de producción de ganadería, arroz, maíz, soya y caucho desarrollados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) (tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5).

Ganadería

Los sistemas ganaderos simulados en el presente estudio, como los de ceba en sabana nativa y ceba en pastos introducidos, presentan variaciones entre los costos de producción por kilogramo de carne, en la carga animal por hectárea, en los kilogramos producidos al año y en el ciclo de producción. A continuación se describen las características generales de los sistemas y sus costos de producción por kilogramo de carne (tabla 3.2).

Ceba en sabana nativa

Este sistema inicia con la incorporación de 500 ha para la producción o ceba de 150 animales con un peso desde 180 kg. Según las encuestas a productores de la región, este sistema de ganadería extensiva puede soportar cargas de 0,3 animales por hectárea. En treinta meses los animales deben adquirir 270 kg, para ser vendidos con un peso de 450 kg. Anualmente, el ejercicio puede producir 27.000 kg de carne para la venta.

Los costos totales de producción por kilogramo de carne son de \$2.803. Al arrendar la tierra se debe tener en cuenta que cada cabeza tiene un costo de \$8.000, lo cual significa que para la producción de 1 kg se requieren \$533,33, que constituyen un 19,03 % de la estructura de costos.

Por su parte, la compra de animales cuesta \$3.000/kg, que en la estructura tiene un peso del 42,81 %, y para producir 1 kg se requieren \$1.200/kg. A su vez, la mano de obra necesaria para el ciclo completo de producción es de 1,5 trabajadores, que, aunado al factor prestacional de 1,55, tiene una participación del 20,89 %.

Por otro lado, la alimentación registra un 6,24 % y la sal mineralizada el 8 %, este último es un factor que se debe tener en cuenta, ya que se suministran 2,1 kg por animal mensualmente, y esta actividad tiene un costo de \$175/kg.

Así mismo, es necesario aplicar cinco dosis de vacunas contra la aftosa y dos contra el carbón, que participan en un 0,44 % en la estructura. Por otra parte, las drogas, como antibióticos y vitaminas, además de los baños al lote, que cuestan \$3.600 por animal, se reflejan en un 0,68 %. El rubro de maquinaria y herramientas de trabajo incluye la dotación para los empleados y la compra de aperos, actividad que se refleja en la estructura de costos con un 0,66 %.

El transporte está dividido en cuatro actividades: la movilización del ganado a la finca —representado en 6 viajes de 25 animales, a \$250.000 cada uno—; el transporte de los insumos de la producción, como la sal —con un costo de \$60.000 por tonelada—; el traslado mensual del administrador, para actividades inherentes a la producción, y, por último, el acarreo del ganado al punto de venta en el matadero —11 viajes de 14 animales a \$350.000 cada uno—. Este rubro representa un 8,62 % del total de los costos.

Los costos indirectos, que tienen una participación del 0,62 %, están compuestos por el impuesto de la Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán), de \$3.400 por animal y \$3.800 la báscula, más los costos de la guía sanitaria del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Ceba en pastos introducidos

Debido al mejoramiento de los suelos y a las múltiples posibilidades con las que el productor o el ganadero cuentan para la siembra de mejores gramíneas y leguminosas, los sistemas extensivos de producción se pueden convertir en praderas mejoradas y tecnificadas, que permiten una mayor productividad y rentabilidad del sistema.

El sistema inicia con la simulación de la incorporación de 100 ha de praderas mejoradas a la producción. La carga por hectárea es de 1,5 animales, lo que implica la compra de 150 cabezas de 180 kg, que durante el periodo de la ceba (año y medio) deberán adquirir 270 kg, para ser vendidos con un peso de 450 kg. La producción anual asciende a 45.000 kg.

Los costos totales de producción por kilogramo de carne son de \$2.431,54, lo que representa una disminución del 15,28% respecto a la sabana nativa. A continuación, se realiza un paralelo de los costos de producción por kilogramo de carne entre la sabana nativa, anteriormente descrita, y las praderas mejoradas.

El arriendo de la tierra por cabeza tiene un costo de \$15.000, lo cual significa que la producción de 1 kg requiere \$600, lo que muestra un aumento del 11,11% frente a la sabana nativa. Esto se debe a las mejoras que se han realizado en los terrenos: su preparación, la siembra de semillas, la nutrición, el control de plagas y enfermedades y el control de malezas. Por su parte, la compra de animales es igual que en la sabana nativa: 150 animales de 180 kg. El precio por kilogramo es de \$3.000.

Además, por lo general la reducción en los costos de empleo, alimentación, vacunas, drogas, maquinaria y herramientas de trabajo está asociada con el manejo adecuado de los bovinos, en praderas de mayor producción y calidad forrajera.

Un adecuado sistema de pastoreo debe estar relacionado con las características morfológicas y fisiológicas de las plantas y debe impactar en la nutrición y salud del animal, de manera directa y positiva (Rincón & Caicedo, 2010). Además, los tiempos de producción son diferentes, ya que en la sabana nativa son necesarios dos años y medio para completar su ciclo, mientras que en los pastos introducidos se requiere un año y medio.

- *Empleo*: se necesita el mismo número de empleados que en la sabana nativa, pero la duración del ciclo productivo es inferior, lo que reduce los costos en un 66,67%.
- *Alimentación*: para los pastos introducidos disminuye también en un 66,67%, debido a que las dosis de sal mineralizada se suministran al ganado durante un tiempo menor.
- *Vacunas y drogas*: las dosis de vacunas contra la aftosa y el carbón en la sabana nativa son cinco y dos, respectivamente, y en este sistema se reduce en un 52,52%. Así mismo, la aplicación de drogas disminuye en un 109%.
- *Maquinaria y herramientas*: el cálculo se realiza para un año y medio, lo que hace que los costos decrezcan en un 66,67% respecto a la sabana nativa.

En el rubro de transporte, la movilización del ganado hacia la finca y luego para la venta no varía de un sistema a otro, pero hay que considerar que el

La introducción de especies forrajeras para la alimentación bovina representa un incremento en la carga animal, pues se pasa de manejar 0,3 animales por hectárea a 1,5. En los pastos introducidos, la producción anual de kilogramos de carne aumenta un 40 %, pasando de 27.000 kg a 45.000 kg.

Labores e insumos	Sabana nativa		Pastos introducidos		Variación porcentual en costos de producción (%)
Costos directos	Costos para producir 1 kg de carne	Peso porcentual en la estructura (%)	Costos para producir 1 kg de carne	Peso porcentual en la estructura (%)	
1. Arriendo	\$533,33	19,03	\$600,00	24,68	11,11
2. Compra de animales	\$1.200,00	42,81	\$1.200,00	49,35	0,00
3. Empleo	\$585,59	20,89	\$351,35	14,45	-66,67
4. Alimentación	\$175,00	6,24	\$105,00	4,32	-66,67
5. Vacunas	\$12,46	0,44	\$8,17	0,34	-52,52
6. Drogas	\$19,11	0,68	\$9,11	0,37	-109,76
7. Maquinaria y herramientas de trabajo	\$18,40	0,66	\$11,04	0,45	-66,67
8. Transporte	\$241,73	8,62	\$129,48	5,33	-86,69
Total de costos directos	\$2.785,62	99,38	\$2.414,15	99,28	-15,39
Costos indirectos (impuesto de Fedegán)	\$17,39	0,62	\$17,39	0,72	0,00
Total de costos	\$2.803,01	100,00	\$2.431,54	100,00	-15,28
Capacidad de carga animal por hectárea	0,30	-	1,50	-	
Total de kilogramos producidos al año	27.000,00	-	45.000,00	-	40,00

Capítulo III
Análisis de la rentabilidad privada de los sistemas de producción agropecuaria en la zona de estudio

Cultivos transitorios

Los suelos de la altillanura tienen un nivel bajo de fertilidad y carencias de nutrientes para el desarrollo agrícola (Rincón & Caicedo, 2010). El ejercicio de su adecuación es fundamental para la agricultura, por lo cual resulta necesario incluir prácticas de labranza, correctivos y enmiendas.

En todas las estructuras de costos de las especies que integran los sistemas evaluados (soya, maíz y arroz), el costo inicial por hectárea es diferido a periodos de cuatro años, tiempo aproximado en el que, según resultados de los análisis de suelos, se debe realizar nuevamente la preparación e incorporación de correctivos. Los costos indirectos de arrendamiento, asistencia técnica y costos financieros son de \$170.000 por hectárea para los tres cultivos.

Soya

La soya es una de las especies que es utilizada como colonizadora. En la tabla 3.3 se observan sus costos por rubro y su peso porcentual en la estructura total de costos de producción por hectárea.

- *Siembra*: corresponde al uso de maquinaria para la siembra directa e insumos como semillas y mano de obra. Tiene un costo de \$468.000/ha, que equivalen al 16,56 % de los costos totales.
- *Nutrición*: incluye los costos de fertilización del cultivo, en insumos como SFT, sulcamag, cloruro de potasio (KCL) y boro-zinco, más la mano de obra para la aplicación. El costo es de \$717.000/ha, un 25,4 % del total.
- *Manejo de plagas y enfermedades*: tiene un costo total de \$470.200/ha, que corresponde al 16,64 % de los costos por hectárea, y consiste en la utilización de insecticidas para el control de hormigas y de fungicidas para el control de la roya.
- *Manejo de malezas*: este rubro comprende la mano de obra y los insumos para el empleo de herbicidas preemergentes y posemrgentes, por un valor de \$208.000/ha, que equivalen al 7,36 % del total.
- *Cosecha*: los costos para la recolección a granel y la mano de obra son de \$185.000/ha.
- *Comercialización y servicios de apoyo*: en este rubro se incorpora el valor de transporte de la cosecha, fijado en \$90.000/t, y el secado, que se realiza con el fin de extraer la humedad del grano, fijado en \$50.000/t.
- *Rendimiento promedio alcanzado*: 2,7 t/ha.

Tabla 3.3. Distribución porcentual de los costos totales de producción de soya por hectárea en 2010

Labores e insumos	Soya	
	Costo por hectárea	Participación en el costo por hectárea (%)
1. Preparación del terreno	\$ 230.188	8,14
2. Siembra	\$ 468.000	16,56
3. Nutrición	\$ 717.000	25,37
4. Manejo de plagas y enfermedades	\$ 470.200	16,64
5. Manejo de malezas	\$ 208.000	7,36
6. Cosecha y poscosecha	\$ 185.000	6,55
7. Comercialización y servicios de apoyo	\$ 378.000	13,37
Total de costos directos	\$ 2.656.388	93,99
Costos indirectos	\$ 170.000	6,01
Total de costos	\$ 2.826.388	100,00
Rendimiento promedio (t/ha)	2,70	

Fuente: Elaboración propia

Arroz

En términos de labranza, aplicación de correctivos y enmiendas, el manejo agronómico del cultivo de arroz es similar al del cultivo de soya (tabla 3.4).

- *Siembra:* la sembradora (maquinaria), la mano de obra y los insumos (como la semilla) tienen un valor de \$371.000/ha y una representación del 12,04% en los costos totales.
- *Nutrición:* es el rubro más exigente de la estructura (con un 28,56% del costo total), a causa de los altos costos de insumos como el DAP y el cloruro de potasio. Además, se utilizan sulcamag, borozinco, nitrato de potasio, boroVal y Bioplant. El costo es \$879.836/ha, además de la mano de obra en la aplicación.
- *Manejo de plagas y enfermedades:* la mano de obra para el uso de insecticidas y fungicidas, sumada a la compra de insumos, como diflubenzurón, tebuconazole+trifloxystrobin, clorpirifos, propiconazol+procloraz, tienen un precio que asciende a \$384.208/ha, lo que constituye el 12,47% de los costos totales.

- *Manejo de malezas*: la mano de obra para la aplicación de herbicidas preemergentes y posemergentes, como glifosato, pendimetalin, propanil y metsulfurón, tiene un costo de \$230.900/ha y su peso en la estructura de costos es del 7,49%.
- *Cosecha*: la recolección a granel y la mano de obra cuestan \$185.000/ha, lo cual tiene una participación del 6% en los costos totales.
- *Comercialización y servicios de apoyo*: en este rubro se destaca el valor de transporte de la cosecha, fijado en \$90.000/t, y el secado, fijado en \$50.000/t.
- *Rendimiento promedio alcanzado*: 4,5 t/ha.

Tabla 3.4. Distribución porcentual de los costos totales de producción de arroz por hectárea en 2010

Labores e insumos	Arroz	
	Costo por hectárea	Participación en el costo por hectárea (%)
1. Preparación del terreno	\$ 230.188	7,47
2. Siembra y establecimiento	\$ 371.000	12,04
3. Nutrición	\$ 879.836	28,56
4. Manejo de plagas y enfermedades	\$ 384.208	12,47
5. Manejo de malezas	\$ 230.900	7,49
6. Cosecha y poscosecha	\$ 185.000	6,00
7. Comercialización y servicios de apoyo	\$ 630.000	20,45
Total de costos directos	\$ 2.911.131	94,48
Costos indirectos	\$ 170.000	5,52
Total de costos	\$ 3.081.131	100,00
Rendimiento promedio (t/ha)	4,5	

Fuente: Elaboración propia

Maíz

En el aspecto nutricional, el cultivo de maíz es más exigente que los dos anteriores, por lo que no suele ser utilizado como colonizador. Sin embargo, el manejo agronómico, en términos de labranza, aplicación de correctivos y enmiendas del cultivo, es el mismo que para los cultivos de soya y arroz (tabla 3.5).

- *Siembra*: además de la compra de la semilla, la mano de obra y la maquinaria, se debe tener en cuenta el tratamiento de la semilla contra las plagas. Este rubro alcanza los \$616.700/ha, que corresponden al 18,08% de los costos.

- *Nutrición*: el costo de la nutrición del cultivo tiene una participación de 29,84%. Los costos de los insumos y la cantidad de fosfato diamónico (DAP), urea, cloruro de potasio y boro-zinco que se usa en la aplicación, más la mano de obra que la lleva a cabo ascienden a \$1.017.500/ha.
- *Manejo de plagas y enfermedades*: cuesta \$156.800/ha, y en él se destaca la mano de obra en la utilización de insumos, como el inhibidor de quitina y el control de hormigas y de *Trichogramma*. Equivale al 4,6% de los costos totales.
- *Manejo de malezas*: la mano de obra en la aplicación mecánica de herbicidas (como atrazina, glifosato y los posemergentes) tiene un valor de \$236.000/ha, lo que constituye el 6,92% de los costos totales.
- *Cosecha*: la recolección a granel y la mano de obra cuestan \$185.000/ha, y su participación en los costos totales es del 5,42%.
- *Comercialización y servicios de apoyo*: en este rubro se destacan el valor de transporte de la cosecha, fijado en \$90.000/t, y el del secado, fijado en \$43.000/t.
- *Rendimiento promedio alcanzado*: 6 t/ha.

Tabla 3.5. Distribución porcentual de los costos totales de producción de maíz por hectárea en 2010

Labores e insumos	Maíz	
	Costo por hectárea	Participación en el costo por hectárea (%)
1. Preparación del terreno	\$ 230.188	6,75
2. Siembra y establecimiento	\$ 616.700	18,08
3. Nutrición	\$ 1.017.500	29,84
4. Manejo de plagas y enfermedades	\$ 156.800	4,60
5. Manejo de malezas	\$ 236.000	6,92
6. Cosecha y poscosecha	\$ 185.000	5,42
7. Comercialización y servicios de apoyo	\$ 798.000	23,40
Total de costos directos	\$ 3.240.188	95,01
Costos indirectos	\$ 170.000	4,99
Total de costos	\$ 3.410.188	100,00
Rendimiento promedio (t/ha)	6	

Fuente: Elaboración propia

Caucho

El caucho tiene un comportamiento diferente al de los cultivos transitorios: en los primeros cinco años no hay producción de látex y solo se incurre en costos de establecimiento y sostenimiento del cultivo. A partir del sexto año, se empieza la sangría de los árboles e inicia la producción, con rendimientos aproximados de 0,5 t/ha, que van incrementándose hasta estabilizarse en 1,7 toneladas de látex por hectárea en el noveno año, como se muestra en la tabla 3.6. El precio de una tonelada de caucho laminado es de \$7.000.000.

Tabla 3.6. Costos de producción de caucho por hectárea en 2010

Año	Costos de producción
0-1	\$ 6.385.172
1-2	\$ 1.568.146
2-3	\$ 1.843.862
3-4	\$ 1.910.578
4-5	\$ 4.430.234
5-20	\$ 3.139.194

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7. Rendimiento del cultivo de caucho por hectárea en 2010

Años de producción esperados	Rendimiento
Año seis	0,5 t/ha
Año siete	0,8 t/ha
Año ocho	1,0 t/ha
Año nueve	1,2 t/ha
Del año diez al diecinueve	1,7 t/ha

Fuente: Elaboración propia

Rentabilidad privada de sistemas de producción de caucho y en rotación

Para cada uno de los escenarios que se mencionan en tabla 3.8, se construyeron flujos de caja directos con valores constantes, con el fin de analizar su rentabilidad por sistemas de producción. Esta construcción permite calcular la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN), con base en los costos de producción y los rendimientos estimados por AGROSAVIA, así como en los precios de la Bolsa Mercantil de Colombia (BMC) de 2012.

Tabla 3.8. Sistemas de producción analizados

Sistema	Descripción
Sistema 1	Ganadería en sabana nativa
Sistema 2	Ganadería en praderas introducidas
Sistema 3	Soya y maíz (cuatro años), ganadería en praderas introducidas (seis años)
Sistema 4	Arroz y soya (dos años), maíz y soya (ocho años)
Sistema 5	Soya (tres ciclos seguidos) y maíz, Soya y maíz (ocho años)
Sistema 6	Monocultivo de caucho (veinte años)

Fuente: Elaboración propia

En la elaboración de los flujos de caja se utilizaron los siguientes indicadores: precios, costos, rendimientos e ingresos. En las tablas 3.9, 3.10 y 3.11 se describen los indicadores económicos.

Tabla 3.9. Indicadores económicos para los sistemas de sabana nativa y pastos introducidos para ganadería

Indicadores económicos	Unidad	Sabana nativa	Sabana mejorada
Hectáreas en la producción	ha	500	100
Producción de carne al año	kg	27.000	45.000
Carga por hectárea	Cabezas	0,3	1,5

(Continúa)

(Continuación tabla 3.9)

Indicadores económicos	Unidad	Sabana nativa	Sabana mejorada
Costo total anual	\$	7.5681.137	109.419.297
Costo por kilogramo	\$	2.803	2.431,54
Beneficio/costo		0,07	0,23
Utilidad por kilogramo	\$	197	569
Ingreso neto por kilogramo	\$	3.000	3.000
Tasa de interés de oportunidad (TIO)	%	6,35 %	6,35 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. Indicadores económicos para cultivos de rotación

Indicadores económicos	Unidad	Arroz	Soya	Maíz
Costo total por hectárea	\$	3.081.131	2.826.387	3.410.187
Rendimiento	t/ha	4,5	2,7	6
Costo por tonelada	\$	684.696	1.046.810	568.365
Precio de la BMC (12/2010)	\$	837.372	1.097.041	676.948
Beneficio/costo		0,22	0,05	0,19
Ingreso total por hectárea	\$	3.768.174	2.962.011	4.061.688
Utilidad neta por hectárea	\$	687.043	135.624	651.501
Tasa de interés de oportunidad (TIO)	%	6,35 %	6,35 %	6,35 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11. Indicadores económicos para el monocultivo de caucho

Año	Costos de producción para caucho	Rendimiento (t/ha)	Precio de caucho laminado por tonelada
0-1	\$ 6.385.172	-	-
1-2	\$ 1.568.146	-	-
2-3	\$ 1.843.862	-	-
3-4	\$ 1.910.578	-	-
4-5	\$ 4.430.234	-	-
5-6	\$ 3.139.194	0,5	\$ 7.000.000
6-7	\$ 3.139.194	0,8	\$ 7.000.000
7-8	\$ 3.139.194	1,0	\$ 7.000.000
8-9	\$ 3.139.194	1,2	\$ 7.000.000
10-20	\$ 3.139.194	1,7	\$ 7.000.000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.12 se representan los sistemas evaluados. Allí se observan los VPN positivos y las tasas internas de retorno superiores a las TIO del productor (promedio de captación del sistema financiero). Lo anterior los convierte en escenarios convenientes para el inversor.

Tabla 3.12. Valor presente neto y tasa interna de retorno para los sistemas de producción representativos de la zona de estudio

Descripción	Valor presente neto (VNA, VPN)	Tasa interna de retorno (TIR)
Sistema 1	\$6.105.943	7,60 %
Sistema 2	\$131.192.629	24,31 %
Sistema 3	\$2.298.453	26,00 %
Sistema 4	\$4.578.468	38,13 %
Sistema 5	\$3.650.414	22,50 %
Sistema 6	\$32.596.167	20,00 %

Fuente: Elaboración propia

Una de las principales actividades en la zona de estudio es la ganadería. En las encuestas realizadas allí se evidenció que aproximadamente un 23 % del área estudiada está destinada a prácticas ganaderas extensivas en la sabana nativa (sistema 1). El hecho de no usar las tecnologías en los suelos o la falta de sistemas de pastoreo adecuados hacen que el rendimiento en la carne sea lento y que el ganado sea propenso a enfermedades.

Este sistema es el menos rentable (con una rentabilidad del 7,6 %, similar a la que se obtendría en una inversión en el sistema financiero). Sin embargo, el productor consigue ganancias mediante la valorización de la tierra, como resultado de los procesos de crecimiento de la región, las nuevas vías, los asentamientos humanos y el mejoramiento de la fertilidad del suelo en fincas aledañas, entre otros factores.

La adopción de tecnologías que actúan sobre los suelos y de las que actúan sobre el manejo de praderas de pastoreo hace que la actividad ganadera en pasturas introducidas (sistema 2) presente una TIR de 24,31 %, lo que triplica la rentabilidad de la ganadería en sabana nativa, pues presenta una disminución en los costos unitarios de producción.

Además, con una mejor nutrición, los animales presentan un aumento en el rendimiento de carne, en tiempo y en cantidad, lo que hace que el retorno de la inversión y la ganancia para el productor sean más rápidos. La capacidad aumenta de 0,3 animales por hectárea a 1,5/ha. Por otra parte, el mejoramiento de los suelos causa valorización en la tierra.

El sistema 3 comienza con el cultivo de soya, sigue con maíz, alternativamente, durante cuatro años. Luego se establece la pradera y se inicia el pastoreo para ceba, con una carga de 1,5 animales por hectárea, superior a la capacidad que se tenía en la sabana nativa, de 0,3/ha. Este sistema presenta una tasa de retorno del 26 %, cerca de dos puntos porcentuales más rentable que el sistema 2 de ganadería en pastos introducidos.

En el área encuestada se ha presentado una significativa disminución de la sabana nativa y de los cultivos en rotación, mientras se da un aumento de la sabana mejorada con procesos de tecnificación. En 2010, el área en sabana mejorada era del 40 %, aproximadamente, mientras que la sabana nativa se aproximaba a un 23 %.

El sistema 4 presenta la TIR más alta del análisis, con un 38,13 %. Sin embargo, al igual que todos los que contienen rotacionales, este sistema depende directamente de los precios, mercados nacionales, mercados internacionales y políticas, lo que lo hace vulnerable a cambios. No obstante, si los costos y precios se mantienen, se convierte en una inversión razonable para el productor. El sistema 5, por su parte, presenta una TIR del 22,5 %, similar a los anteriores. En este último sistema se debe iniciar con tres cultivos de soya consecutivos, para luego rotar con maíz, y así sucesivamente.

El análisis del cultivo de caucho se hace para un horizonte de veinte años, dado el largo ciclo vegetativo y de producción de esta especie. El sistema 6, que corresponde al establecimiento del caucho en monocultivo, no tiene producción de látex durante los primeros cinco años, y solamente en el noveno año se recupera la inversión, con saldos positivos y una TIR del 20 %, similar a la obtenida con los sistemas de rotación y el de ganadería en praderas mejoradas.

Pese a lo anterior, en el caso del caucho, la falta de liquidez durante los primeros años puede representar una desventaja para el agricultor y solo ser atractivo para los inversionistas que cuenten con un capital financiero suficiente para soportar esta situación.

En síntesis, se observa que todos los sistemas analizados presentan VPN positivos y TIR superiores a las tasas ofrecidas por el mercado financiero, incluso aquellos de ganadería en sabana nativa.

El sistema de rotación de cultivos transitorios de maíz, soya y arroz es muy vulnerable a los cambios de los mercados y a la fluctuación de los precios internacionales, por lo cual el efecto de la ganadería tecnificada podría mitigar el riesgo en este tipo de cultivos, mediante una rotación periódica.

En el análisis, los sistemas de cultivos permanentes (como el caucho) presentan tasas de rentabilidad promedio, pero requieren una mayor inversión inicial, cercana a 15 millones de pesos por hectárea, y un mayor apalancamiento financiero, para soportar los costos de los primeros años en los que no se reciben ingresos.



Capítulo IV

Impactos sociales de las tecnologías para el mejoramiento de la capacidad productiva, según la percepción local

Zulma Roa Díaz

Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray

Introducción

El objetivo de este capítulo es hacer un acercamiento, desde la perspectiva local, a la evaluación de los impactos sociales causados entre 1990 y 2010 por los procesos de investigación y transferencia de tecnología, que han estado orientados al mejoramiento de la capacidad productiva de los suelos de la altillanura orinoquense colombiana.

En el componente pecuario, estos procesos de innovación tecnológica han estado basados en el manejo de pastos y leguminosas, estudios en biotecnología de la reproducción y evaluación de recursos genéticos criollos, nutrición y alimentación animal.

Por su parte, el componente agrícola se ha concentrado en el manejo del suelo, como la labranza mínima y de conservación, el uso de enmiendas y correctivos, el uso de abonos verdes, la biofertilización, la generación de alternativas genéticas en maíz y soya, el establecimiento de frutales —principalmente cítricos, marañón, piña y otros promisorios—, y la introducción de especies forestales, como la palma y el caucho, en sistemas de monocultivo y de agroforestería (Jaramillo & Cubillos, 2006).

En este sentido, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) ha desarrollado sistemas de rotación de cultivos de arroz, soya y maíz con pastos mejorados, los cuales han permitido el mejoramiento de la productividad de las actividades agroindustriales y de ganadería en la región, principalmente, en la elaboración de alimentos balanceados para animales.

No obstante, y a pesar de la percepción generalizada del efecto positivo de la tecnología en la región, no se han evaluado los cambios sociales en la calidad de vida de los productores y los demás actores vinculados a las actividades productivas que han sido impactadas por estas tecnologías.

Por tal razón, con el propósito de estimar y determinar los principales impactos sociales de los sistemas sostenibles de rotación de cultivos transitorios (arroz, maíz y soya) con pastos mejorados, se buscó un acercamiento a los efectos o consecuencias observables que en la población objetivo generaron los procesos de innovación y transferencia de tecnología para la altillanura, sobre todo, en lo relacionado con ingreso, empleo, salud, capacitación, alimentación, vivienda, servicios públicos, recreación, orden público, organización social y apoyo institucional. A partir de lo anterior, se diseñó y aplicó un formato de encuesta, dirigido a trabajadores y productores que han incorporado total o parcialmente los sistemas de producción de cultivos transitorios con pastos mejorados desarrollados para la altillanura orinoquense.

Posteriormente, se elaboró una matriz para la evaluación de impactos, basada en la metodología desarrollada y aplicada por la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa) para evaluar los impactos de las tecnologías agrícolas desarrolladas por dicho organismo (Avila, Rodrigues, & Vedovoto, 2008), la *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* de Vicente Conesa (2009) y el *Manual para la evaluación del impacto social de los proyectos de carbono terrestre* (Richards & Panfil, 2010).

Cabe señalar que, para ajustar la metodología de evaluación, se tuvieron en cuenta los aportes de información y sugerencias de los expertos de AGROSAVIA del Centro de Investigación La Libertad (Villavicencio, departamento del Meta), quienes han participado en el proceso de desarrollo científico y tecnológico de la Orinoquía en los últimos años. Sus aportes fueron bastante significativos para valorar los posibles efectos o repercusiones de dicho proceso en el bienestar de los productores, trabajadores y demás actores sociales de la región.

También fue de gran valor la información secundaria recopilada para los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, que estuvo relacionada con indicadores de bienestar, como necesidades básicas insatisfechas (NBI), índice de calidad de vida (ICV) y tamaño poblacional, entre otros. Una vez definida la matriz, se valoró y estimó la importancia de esos indicadores, a partir de los resultados obtenidos en la encuesta socioeconómica.

Finalmente, de acuerdo con la valoración y estimación de la significancia de los impactos sociales, potencializados por los procesos de investigación, transferencia e innovación tecnológica desarrollados para la altillanura de la Orinoquía, se realizó el análisis y la determinación de los principales cambios generados en el bienestar y la calidad de vida de la población del área de estudio.

Consideraciones metodológicas

Para la evaluación de los impactos sociales de las tecnologías desarrolladas para la altillanura orinoquense, con base en el índice de calidad de vida del Departamento Nacional de Planeación (DNP), se seleccionaron y definieron variables sociales relacionadas con el cambio en los ingresos percibidos, cantidad y calidad del empleo, satisfacción de necesidades básicas (salud, vivienda, recreación, transporte y comunicación), orden público, organización social, apoyo institucional y calidad de los recursos como agua, suelo, aire y calidad del paisaje.

El hecho de que los cambios tecnológicos introducidos hayan influido en la proyección de la altillanura orinoquense como una región importante para el desarrollo de grandes inversiones y proyectos agroindustriales ha permitido que se den cambios significativos en el bienestar y la calidad de vida, en los ámbitos regional, local y microlocal (finca y vereda).

De igual manera, las tecnologías desarrolladas han implicado el mejoramiento de la capacidad productiva de los suelos, la obtención de semillas y forrajes de alto rendimiento, la obtención de variedades de alta producción con fines agroindustriales y la generación de híbridos comerciales para la producción de carnes, pero también una serie de cambios en el contexto social.

Entre los cambios destacables en lo social se encuentra la implementación de políticas y programas de gobierno orientados a la generación de convenios de cooperación técnico-científica, programas de incentivos económicos y de modernización del sector agropecuario de la región. Asimismo, se ha logrado el restablecimiento de la seguridad para los agricultores y productores, la promoción e impulso de modelos agroindustriales en la altillanura con el concepto de clústeres y la pavimentación de la carretera Puerto López-Puerto Gaitán, que facilita la conexión de la región con el resto del país y la consecuente llegada de inversionistas a la zona.

En este orden de ideas, y de acuerdo con la metodología propuesta en la evaluación de los impactos de las tecnologías generadas por la Embrapa (Avila et al., 2008), las variables definidas anteriormente se agruparon en las siguientes categorías:

- Renta o ingreso
 - Cambio en la percepción del ingreso obtenido por la tecnología introducida
- Empleo
 - Cambio en la percepción de calidad del empleo
 - Cambio en la percepción de la generación de empleo por la tecnología introducida
- Capacitación
 - Cambio en la percepción del acceso a capacitación por la tecnología introducida
 - Cambio en la calidad de la capacitación
- Calidad de vida
 - Cambios en la percepción del acceso a servicios de salud
 - Cambios en la percepción de la calidad de salud
 - Cambios en la percepción de la calidad de la dieta alimenticia
 - Cambios en la percepción de la calidad de la vivienda
 - Cambios en la percepción de la calidad de los servicios públicos
 - Cambios en la percepción de las formas de recreación
 - Cambios en la percepción de la calidad del transporte y los medios de comunicación (frecuencia y cobertura)
 - Cambios en la percepción de la seguridad en la zona
- Organización social e institucional
 - Cambios en la percepción de la organización social
 - Cambios en la percepción del apoyo institucional

- Calidad de los recursos naturales
 - Cambios en la percepción sobre la disponibilidad de agua
 - Cambios en la percepción sobre la calidad del agua
 - Cambios en la percepción sobre la calidad del suelo
 - Cambios en la percepción sobre la calidad del aire
 - Cambios en la percepción sobre la calidad del paisaje

Una vez definidas las variables y categorías a evaluar, se determinó el método para la valoración y calificación de los impactos sociales, definido y ajustado con base en las metodologías arriba mencionadas. Cuando se definió el método de valoración de los impactos, se establecieron —con base en Conesa (2009) y Richards y Panfil (2010)— los parámetros y la escala de puntuación para esta valoración, teniendo en cuenta los efectos y la repercusión de los procesos de cambio tecnológico generados entre 1990 y 2010 en la calidad de vida de la población del área, así como la capacidad del medio para absorber dichos cambios.

De igual forma, se consideró la extensión y la magnitud de los impactos potencializados por dichos procesos de cambio e innovación tecnológica. Así, se determinaron los siguientes parámetros y escala de puntuación (tabla 4.1).

Tabla 4.1. Escala de puntuación y parámetros

Puntuación	Parámetro	Carácter del impacto
6	Muy negativo (MN)	Negativo (-)
4	Negativo (N)	
2	No hay cambios (NHC)	Neutro (0)
4	Positivo (P)	Positivo (+)
6	Muy positivo (MP)	

Fuente: Elaboración propia

Luego, se elaboró una matriz para la valoración del carácter y la importancia de los impactos de las tecnologías evaluadas (tabla 4.2). Una vez definidos los criterios y la matriz, se procedió a la calificación de los impactos, para lo cual se elaboró una encuesta orientada a identificar los cambios causados por las tecnologías desarrolladas, desde una percepción local.

Posteriormente, se seleccionó un grupo de 38 informantes clave de Puerto López y Puerto Gaitán, que eran productores que habían adoptado total o parcialmente las tecnologías evaluadas o trabajadores ocupados en fincas con este mismo atributo.

Cuando se aplicó la encuesta a los grupos de interés seleccionados (*stakeholders*), se organizaron y agruparon las respuestas de acuerdo con los criterios previamente definidos, como se observa en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Matriz para la evaluación y valoración de los impactos sociales de las tecnologías desarrolladas para la altillanura orinoquense

Actividad	Elemento del medio social impactado (Muy negativo)	-6	-4	2	4	6	Calificación del cambio percibido desde el periodo evaluado (1990-2010)
		(Negativo)	(No ha habido cambio)	(Positivo)	(Muy positivo)		
Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorados	Renta o ingreso						
Manejo del suelo (labranza mínima o de conservación)							
Cambio en la percepción del ingreso obtenido por la tecnología introducida							
Más carga laboral y menor ingreso							
Menores ingresos, por menor demanda de mano de obra							
No se han presentado cambios							
Cambios del ingreso moderados							
Cambios muy significativos en los rendimientos, salario y continuidad laboral							

(Continúa)

Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorados				Actividad	
Uso de semillas mejoradas	Manejo integrado de plagas (MIP)	Fertilización	Aplicación de enmiendas y correctivos		
Cambio en la percepción de la generación de empleo por la tecnología introducida	Cambio en la percepción de la calidad del empleo		Empleo	Elemento del medio social impactado (Muy negativo)	
Reducción de la oferta de empleo	Empeoramiento de las condiciones de trabajo			(Negativo)	-6
No se han generado nuevas fuentes de empleo	Falta de estabilidad laboral			(No ha habido cambio)	-4
No se han presentado cambios	No se han presentado cambios			(Positivo)	2
Cambios moderados en las fuentes de empleo	Cambios moderados en la calidad del empleo (jornada laboral, prestaciones sociales, etc.)			(Muy positivo)	4
Cambios en el número de días empleado por el aumento del área sembrada	Trabajo más técnico y especializado	Pago de prestaciones sociales			6
				Calificación del cambio percibido desde el periodo evaluado (1990-2010)	

(Continúa)

Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorados		Actividad	
Capacitación		Elemento del medio social impactado (Muy negativo)	
	Cambio en la calidad de la capacitación	Cambio en la percepción del acceso a capacitación por la tecnología introducida	
	Falta una oferta de capacitación aplicada a las nuevas tecnologías	Falta de centros de capacitación técnica	(Negativo) -6
	Falta una oferta permanente de capacitación para la nueva tecnología	No ha mejorado el acceso a nuevos programas de capacitación técnica	(No ha habido cambio) -4
	No se han presentado cambios	No se han presentado cambios	(Positivo) 2
	Oferta aceptable de capacitación en las nuevas tecnologías	Acceso aceptable a capacitación para las nuevas tecnologías	(Muy positivo) 4
	Capacitación permanente y de alto nivel (computarizada)	Buen acceso a capacitaciones en nuevos paquetes tecnológicos	6
			Calificación del cambio percibido desde el periodo evaluado (1990-2010)

(Continúa)

Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorados			Actividad	
Calidad de vida			Elemento del medio social impactado (Muy negativo)	
	Cambios en la percepción de la calidad de la dieta alimenticia	Cambios en la percepción de la calidad de la salud	Cambios en la percepción de acceso a servicios de salud	
	Falta de acceso a productos alimenticios de mejor calidad	No se ha mejorado la cobertura y el servicio es deficiente	Acceso limitado a los hospitales	(Negativo) -6
	Calidad deficiente, por falta de recursos económicos	Baja cobertura y atención de baja calidad	Acceso limitado a los hospitales	(No ha habido cambio) -4
	No se han presentado cambios	No se han presentado cambios	No se han presentado cambios	(Positivo) 2
	Acceso a mejores productos	Prestación y cobertura aceptables en el servicio	Acceso aceptable al servicio de salud	(Muy positivo) 4
	Aumento de ingresos permite acceso a una dieta mejorada	Buen servicio y oportuno	Buen acceso a servicio de salud	6
				Calificación del cambio percibido desde el periodo evaluado (1990-2010)

(Continúa)

(Continúa)

Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorados			Actividad	
			Calidad de vida	
Cambios en la percepción de las formas de recreación	Cambios en la percepción de la calidad de los servicios públicos	Cambios en la percepción de la calidad de la vivienda	Elemento del medio social impactado (Muy negativo)	
No han aumentado los espacios de recreación	No se ha ampliado la cobertura	Falta de acceso a una vivienda de mejor calidad	(Negativo)	-6
Falta de centros de recreación	Calidad deficiente	Calidad deficiente, por falta de recursos económicos	(No ha habido cambio)	-4
No se han presentado cambios	No se han presentado cambios	No se han presentado cambios	(Positivo)	2
Cantidad aceptable de espacios y oferta de recreación	Cobertura y calidad aceptables	Acceso aceptable a vivienda de mejor calidad	(Muy positivo)	4
Buenos y suficientes espacios de recreación	Buena cobertura y calidad	Aumento de ingresos permite acceso a una vivienda de mejor calidad		6
			Calificación del cambio percibido desde el periodo evaluado (1990-2010)	

(Continuación tabla 4.2)

Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorados				Actividad	
				Calidad de vida	
	Organización social e institucional			Elemento del medio social impactado (Muy negativo)	
Cambios en la percepción de la organización social		Cambios en la percepción de la seguridad en la zona	Cambios en la percepción de la calidad del transporte y los medios de comunicación (frecuencia y cobertura)	(Negativo)	-6
Menor organización social por el cambio en los intereses de los productores		Muchos problemas de orden público e inseguridad	No se ha ampliado la cobertura de carreteras ni de servicios de comunicación	(No ha habido cambio)	-4
Falta de una buena organización social		No han mejorado la seguridad y el orden público en la zona	Cobertura y calidad deficientes de carreteras y servicios de comunicación	(Positivo)	2
No se han presentado cambios		No se han presentado cambios	No se han presentado cambios	(Muy positivo)	4
Nivel aceptable de organización social		Es una zona segura	Cobertura y calidad de carreteras y servicios de comunicación aceptables		6
Mayor organización social por el cambio en los intereses de los productores		Aumento de la seguridad en la zona	Óptimo nivel de carreteras y del servicio telefónico	Calificación del cambio percibido desde el periodo evaluado (1990-2010)	

(Continúa)

Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorados						Actividad	
						Elemento del medio social impactado (Muy negativo)	
Cambios en la percepción sobre la calidad del agua	Cambios en la percepción sobre la disponibilidad de agua	Calidad de los recursos naturales	Cambios en la percepción del apoyo institucional	Organización social e institucional		(Negativo)	-6
Pérdida de la disponibilidad y calidad de agua por nuevos cultivos	Pérdida de la disponibilidad de agua por los nuevos cultivos		No se ha ampliado la presencia de las instituciones de investigación y apoyo a la producción			(No ha habido cambio)	-4
Mala calidad del agua para el consumo doméstico y los cultivos	Falta de disponibilidad de agua para el riego de los nuevos cultivos		Falta de presencia de instituciones de investigación y apoyo a la producción			(Positivo)	2
No se han presentado cambios	No se han presentado cambios		No se han presentado cambios			(Muy positivo)	4
Buena cantidad y calidad de agua para los nuevos cultivos	Disponibilidad aceptable de agua		Presencia aceptable de instituciones de investigación y de apoyo a la producción				6
Disponibilidad de agua todo el año para el riego de los nuevos cultivos	Buena disponibilidad de agua		Aumento de la presencia de organizaciones de investigación				
						Calificación del cambio percibido desde el periodo evaluado (1990-2010)	

(Continúa)

Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorados				Actividad	
			Calidad de los recursos naturales	Elemento del medio social impactado (Muy negativo)	
Cambios en la percepción sobre la calidad del paisaje	Cambios en la percepción sobre la calidad del aire	Cambios en la percepción sobre la calidad del suelo		(Negativo)	-6
Pérdida de la calidad del paisaje, por el reemplazo de bosques por nuevos cultivos y plantaciones	Disminución en la calidad del aire, por reemplazo de bosques por nuevos cultivos y plantaciones	Pérdida de la calidad productiva de los suelos por la aplicación de recomendaciones técnicas		(No ha habido cambio)	-4
Desbalance en la calidad visual del paisaje, por los nuevos cultivos y plantaciones	Mala calidad del aire por la mecanización y utilización de correctivos	Dependencia de fertilizantes e insumos inorgánicos		(Positivo)	2
No se han presentado cambios	No se han presentado cambios	No se han presentado cambios		(Muy positivo)	4
Mejoramiento en la calidad del paisaje por las nuevas plantaciones y cultivos	Mejoramiento en la calidad del aire por nuevas plantaciones y cultivos	Buena calidad productiva de los suelos			6
Mejoramiento de la calidad del paisaje por la falta de quemas	Mejoramiento de la calidad del aire por la ausencia de quemas	Mejoramiento continuo de la calidad del suelo, debido a la mecanización y la utilización de correctivos		Calificación del cambio percibido desde el periodo evaluado (1990-2010)	

Fuente: Elaboración propia

Una vez procesada la información obtenida de la encuesta, se realizó la estimación de la significatividad de los impactos del proceso de cambio e innovación tecnológica desarrollado para la altillanura orinoquense. Con ese fin se registró, en la matriz de evaluación, el número de casos que se reportaron en cada uno de los criterios definidos.

Posteriormente, se procedió a efectuar la calificación y estimación promedio del carácter positivo o negativo, y la significancia de cada uno de los impactos, lo cual se hizo con base en la escala de puntuación definida para cada criterio y el número de variables evaluadas por categoría.

Así, por ejemplo, para el caso de los asuntos relacionados con la categoría de ingreso, se tiene un solo impacto, para el cual se registraron calificaciones con los criterios siguientes: no hay cambio (2), cambio positivo (4) y cambio muy positivo (6). Luego, se sumaron estas puntuaciones y se dividieron por el número de criterios (tres), resultado que se dividió en uno, que corresponde al número de impactos definidos para la categoría de renta o ingreso; de esta forma se estimó la calificación para esta categoría. Cabe mencionar que, en el caso en el que no se obtuvieron números enteros, las calificaciones se aproximaron al entero más cercano (tabla 4.3).

Por lo tanto, el resultado final de la evaluación del carácter de los impactos es su clasificación en neutro, positivo y negativo; y, respecto a su significancia social, se clasificaron en irrelevante, significativo y muy significativo, a partir de los valores de importancia establecidos en las tablas 4.3 y 4.4.

Tabla 4.3. Calificativos para la significancia social del impacto económico

Calificativo	Valoración
Irrelevante	≥ 0-2,5
Significativo	2,6-3,5
Muy significativo	≤ 3,6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4. Evaluación y valoración de los impactos sociales de las tecnologías desarrolladas para la altillanura orinoquense

Actividad		Elemento del medio social impactado	-6	-4	2	4	6	Número de impactos por categoría	Significancia de los cambios sociales en el periodo evaluado (1990-2010)
Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorado		Renta o ingreso							
	Manejo del suelo (labranza mínima o de conservación)	Cambio en la percepción del ingreso obtenido por la tecnología introducida	0	0	4	14	20	1	4
	Aplicación de enmiendas y correctivos	Promedio							4
	Fertilización	Calificación							Muy significativo (+)
	Manejo integrado de plagas (MIP)	Empleo							
	Uso de semillas mejoradas	Cambio en la percepción de la calidad del empleo	0	0	5	15	19	2	4
		Cambio en la percepción de la generación de empleo por la tecnología introducida	0	0	8	12	18		4
		Promedio							4
		Calificación							Muy significativo (+)
		Capacitación							

(Continúa)

(Continuación tabla 4.4)

Actividad		Elemento del medio social impactado	-6	-4	2	4	6	Número de impactos por categoría	Significancia de los cambios sociales en el periodo evaluado (1990-2010)
Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorado		Cambio en la percepción del acceso a capacitación por la tecnología introducida	0	0	13	15	10	2	4
		Cambio en la calidad de la capacitación	0	0	15	18	5		4
		Promedio							4
		Calificación							Muy significativo (+)
		Calidad de vida							
		Cambios en la percepción del acceso a servicios de salud	0	0	16	20	2	8	4
		Cambios en la percepción de la calidad de salud	0	10	15	9	4		2
		Cambios en la percepción de la calidad de la dieta alimenticia	0	0	9	23	6		4
		Cambios en la percepción de la calidad de la vivienda	0	0	9	19	10		4
		Cambios en la percepción de la calidad de los servicios públicos	0	10	17	8	3		2

(Continúa)

(Continuación tabla 4.4)

Actividad		Elemento del medio social impactado	-6	-4	2	4	6	Número de impactos por categoría	Significancia de los cambios sociales en el periodo evaluado (1990-2010)
Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorado		Calidad de vida							
		Cambios en la percepción de las formas de recreación	0	21	8	1	0	8	1
		Cambios en la percepción de la calidad de transporte y los medios de comunicación (frecuencia y cobertura)	0	0	9	14	15		4
		Cambios en la percepción de la seguridad en la zona	0	0	4	9	25		4
		Promedio							3
		Calificación							Significativo (+)
		Organización social e institucional							
		Cambios en la percepción de la organización social	0	0	38	0	0	2	2
		Cambios en la percepción del apoyo institucional	0	0	35	3	0		3
		Promedio							2
		Calificación							Significativo (+)

(Continúa)

(Continuación tabla 4.4)

Actividad		Elemento del medio social impactado	-6	-4	2	4	6	Número de impactos por categoría	Significancia de los cambios sociales en el periodo evaluado (1990-2010)
Sistema de rotación de cultivos de maíz y soya con pastos mejorado		Calidad de los recursos naturales							
		Cambios en la percepción sobre la disponibilidad de agua	0	0	32	6	0	5	3
		Cambios en la percepción sobre la calidad del agua	0	0	34	4	0		3
		Cambios en la percepción sobre la calidad del suelo	0	0	6	4	28		4
		Cambios en la percepción sobre la calidad del aire	0	2	30	6	0		1
		Cambios en la percepción sobre la calidad del paisaje	0	0	13	19	7		4
		Promedio							3
		Calificación							Significativo (+)

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los resultados

Como se mencionó en párrafos anteriores, el proceso de desarrollo tecnológico implementado para la altillanura orinoquense ha implicado una serie de importantes cambios en la calidad de vida de la población de esta región del país, que deben ser identificados y valorados.

En este sentido, y de acuerdo con los resultados obtenidos del proceso de evaluación y valoración socioambiental de los impactos, se observa que las percepciones locales consideran que la tecnología desarrollada ha incidido de manera positiva, directa y muy significativa en los componentes relacionados con la renta o el ingreso, el empleo y la capacitación; y de manera positiva, indirecta y significativa en el mejoramiento de la calidad de vida y de los recursos naturales (figura 4.1).

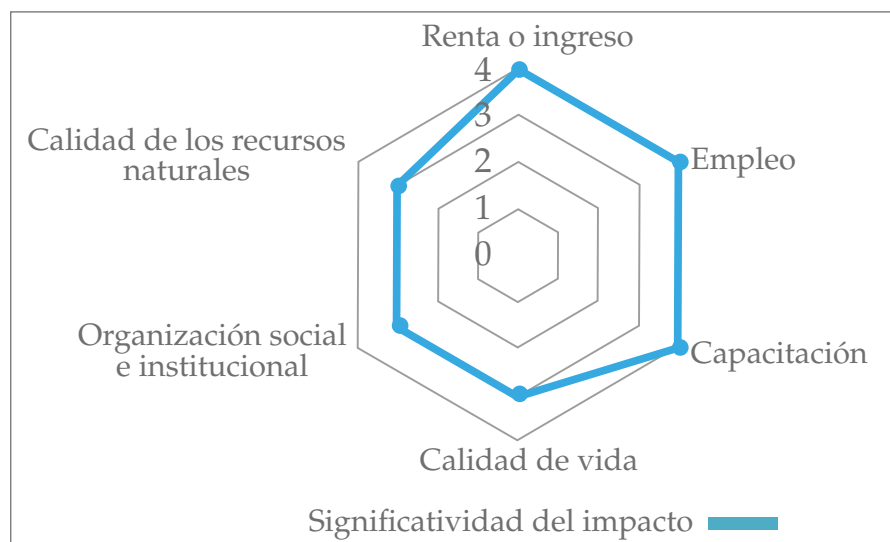


Figura 4.1. Percepción local de los impactos sociales de las tecnologías desarrolladas para la altillanura orinoquense, reflejada en su significatividad (SI).

Fuente: Elaboración propia

Cuando se realiza un análisis más puntual y detallado de estos impactos, de acuerdo con los resultados obtenidos, es claro que los procesos tecnológicos desarrollados e implementados han tenido un efecto directo y positivo en el aumento de los rendimientos por hectárea (figura 4.2).

Estos resultados son consistentes con los datos obtenidos en la investigación. En esta se reporta que el rendimiento de la actividad ganadera en el país es de 215 kilogramos de carne por hectárea al año, de 32,4 kg/ha/año en sabana nativa o sin tecnología y de 270 kg/ha/año en sabanas con tecnología. Esta cifra, respecto al rendimiento nacional, muestra un aumento del 20,4 % de kilogramos de carne por hectárea al año y del 88 % cuando se compara con las áreas sin tecnología.

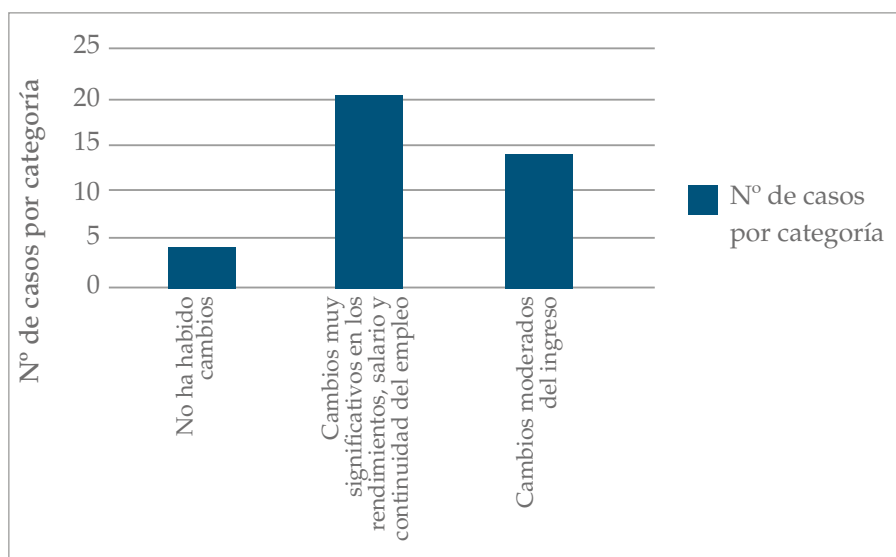


Figura 4.2. Cambios en la renta o ingresos según la percepción local.

Fuente: Elaboración propia

Respecto al empleo, es importante señalar que la perspectiva local considera que las tecnologías desarrolladas han tenido una injerencia directa y positiva en el incremento del salario y la continuidad o permanencia de los trabajadores en la actividad productiva.

Sin embargo, estos resultados parecen no ser consistentes con lo que informaron los expertos del Centro de Investigación La Libertad y la encuesta general, ya que, según los técnicos de la zona, la incorporación de la tecnología podría haber llevado a una reducción de la demanda de mano de obra, como resultado de los procesos de mecanización y tecnificación de las actividades de siembra y cosecha, actividades que son las que mayor mano de obra demandan, por lo general.

Al respecto, cabe resaltar que, si bien la tecnología no causó cambios significativos en la cantidad de empleos generados, sí pudo haber incidido en el tiempo de ocupación de una mano de obra más especializada y, por ende, mejor remunerada, como lo muestran los resultados del estudio (figura 4.3).

No obstante, es pertinente resaltar que dicho impacto pudo haber tenido un carácter puntual y microlocal, es decir, a nivel de fincas y veredas, si se toma en consideración el alcance del estudio y la cantidad de población encuestada. Además, en el nivel municipal, no se cuenta con datos que puedan contribuir a ampliar este análisis. En este sentido, sería importante que, en una fase posterior, se realice un estudio más amplio y detallado respecto a la influencia de las tecnologías desarrolladas en el empleo, en los ámbitos regional y local.

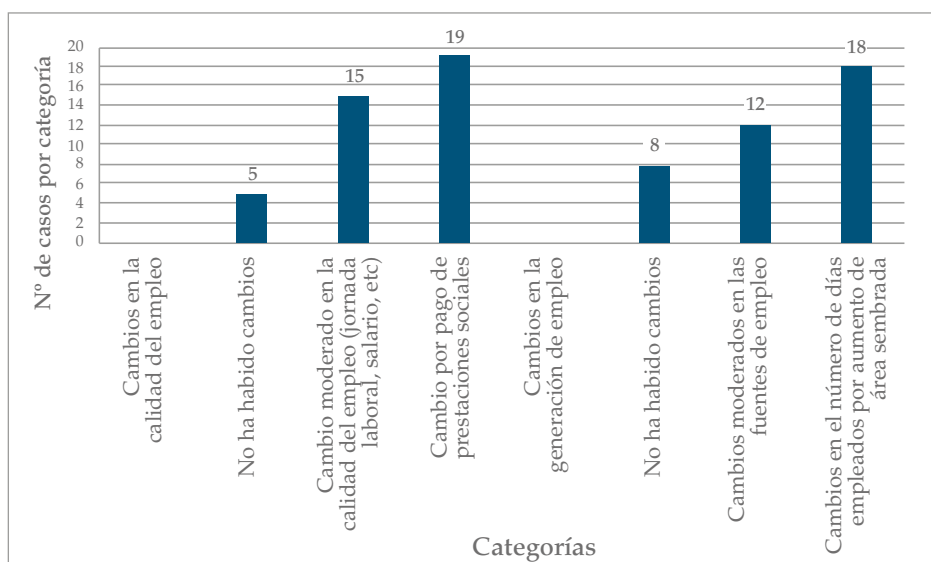


Figura 4.3. Cambios en el empleo según percepción local.

Fuente: Elaboración propia

En lo que concierne a los procesos de capacitación —un impacto que fue calificado como muy significativo—, resulta claro que se tiene una percepción favorable y positiva de los cambios que la tecnología ha generado en la calidad y acceso a una capacitación más técnica y especializada. Esto podría estar contribuyendo de manera directa a la formación y desarrollo de capital humano, por el mejoramiento del conocimiento, las capacidades y las habilidades de los actores sociales vinculados a las actividades agropecuarias.

No obstante, como se mencionó anteriormente, su extensión puede tener un carácter puntual y microlocal, teniendo en cuenta el nivel de cobertura y alcance del estudio. Por lo tanto, se considera importante desarrollar otros estudios, que permitan hacer una evaluación más amplia y precisa, para determinar la incidencia local y regional de la tecnología en la consolidación de capital humano; más aún si se considera que la tasa de analfabetismo en los municipios de Puerto Gaitán y Puerto López es de alrededor del 18,6 % y el 10,4 %, respectivamente, de acuerdo con la información del Sistema Integral de Información Departamental (SIID, 2009a, 2009b) y el Plan de Desarrollo Municipal de Puerto Gaitán 2008-2011.

Por otro lado, se muestra que los procesos de innovación y transferencia tuvieron una incidencia puntual, indirecta, positiva y significativa en la calidad de vida. En un análisis más desglosado, existe una percepción generalizada de que los procesos tecnológicos han ocasionado cambios muy significativos en materia de mejoramiento del acceso y la calidad del servicio de salud, la calidad de la dieta alimenticia, de las vías y los medios de comunicación, así como del orden público.

Es importante resaltar que el mejoramiento en el acceso a un servicio de salud de una calidad superior y en la dieta alimenticia están relacionados con el cambio en los niveles de ingreso, ya que mejores salarios y el reconocimiento de prestaciones sociales han permitido que los trabajadores se afilien al sistema contributivo de salud y accedan a un mejor servicio. Igualmente, el aumento en los ingresos les ha permitido acceder a la compra de productos de mayor calidad y mejorar o alquilar viviendas en condiciones aceptables de habitabilidad.

Al respecto, cabe destacar que se observa un cambio significativo a nivel municipal en el mejoramiento de las condiciones de habitabilidad de los hogares de Puerto Gaitán y Puerto López, ya que entre 1993 y 2005 se registró un aumento en el número de hogares que reúnen los estándares mínimos de habitabilidad, según la clasificación del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2005, 2006).

En 1993, se reportó que en Puerto Gaitán solo el 16,3 % de los hogares se encontraba en la categoría sin déficit, y el 31,0 % en Puerto López. En 2005, este porcentaje registró un incremento significativo, al pasar al 32,4 % en

Puerto Gaitán, y al 64,5% en Puerto López, siendo mayor el aumento en este último municipio.

Así mismo, de acuerdo con los indicadores de calidad de vida (ICV) y de necesidades básicas insatisfechas (NBI), los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán mostraron una significativa reducción de sus niveles de pobreza, según los censos de 1993 y 2005, pues se presentó un aumento de 6,6 puntos en el ICV y una disminución de 8,2 puntos en el NBI, lo que muestra que un importante número de hogares cambiaron sus condiciones socioeconómicas.

Sin embargo, dicho cambio no puede ser directamente atribuido a los procesos de desarrollo tecnológico implementados en la zona, en la medida en que el sector minero, representado principalmente por la explotación de hidrocarburos, ha jugado desde la década de los noventa un papel fundamental en el crecimiento económico del departamento del Meta y de los municipios productores de petróleo, como en el caso de Puerto López y Puerto Gaitán.

Así, en un análisis del Centro de Estudios Ganaderos y Agrícolas (CEGA), reportado por Hernández (2004), de acuerdo con la evolución del valor agregado real de las principales ramas de actividad del Meta en el periodo de 1975 a 2001, se observa que, a partir de 1996, la actividad minera se ubica por encima del sector agrícola y, desde entonces, constituye uno de los principales determinantes del crecimiento económico del departamento (figura 4.4).

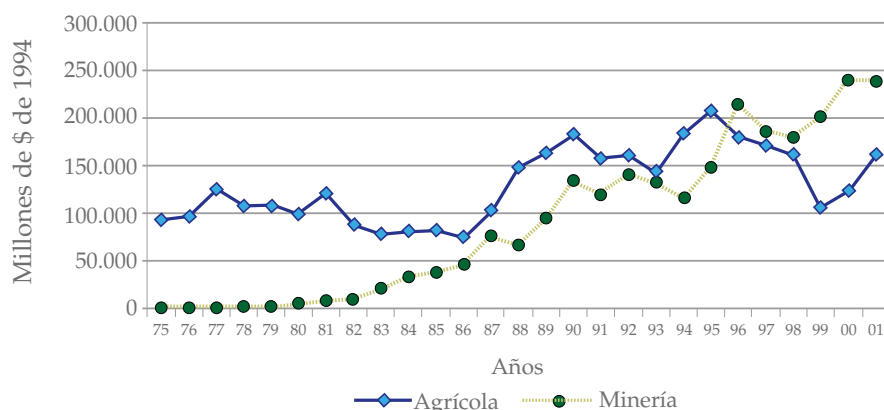


Figura 4.4. Producto interno bruto (PIB) agrícola y minero en el departamento del Meta (1995-2001).

Fuente: Hernández (2004)

Esta situación también le ha permitido al departamento aumentar su participación en el PIB nacional, como lo indica el boletín de cuentas departamentales del DANE (2011):

... en los años 2009p¹ y 2008 se presentó un aumento en la participación de algunos departamentos, dentro del total de la economía, explicado por el comportamiento positivo de actividades específicas como la minería. Durante el periodo analizado el total de la economía registró tasas de 6,9 %, en el 2007, 3,5 % en el 2008 y 1,5 % en el 2009p, siendo el sector minero el de mayor dinamismo y el que más aportó al comportamiento total nacional. En efecto, las actividades del petróleo participaron con 3,5 % en el 2007, 5,2 % en el 2008 y 4,3 % en el 2009p. Los departamentos que más aportan a esta actividad son Meta y Casanare, razón por la cual estos departamentos aumentaron su participación en el PIB nacional.

En este sentido, la actividad petrolera ha pasado a ser una de las principales y más importantes fuentes de ingresos para los municipios petroleros del Meta, como lo son Puerto Gaitán y Puerto López, lo que les ha permitido aumentar en alguna medida el monto de las inversiones en sectores en los que se presentan mayores déficits (saneamiento básico, vivienda, salud y educación, principalmente).

De acuerdo con lo anterior, el impacto en la calidad de vida por los procesos de innovación y transferencia desarrollados para la altillanura, por un lado, pudo haber sido a nivel de las fincas y, por otro, pudo haber tenido, a nivel municipal y departamental, una injerencia muy marginal en el mejoramiento de las condiciones de calidad de vida de la población. Esto hace necesario que en estudios posteriores se logre establecer el efecto real de las tecnologías desarrolladas en el bienestar de la población.

Por su parte, en materia de la calidad de los recursos naturales, se evidencia una percepción positiva, que considera que las tecnologías desarrolladas han ocasionado un cambio significativo en el mejoramiento de la calidad de estos. No obstante, se debe tener cuidado en cuanto al impacto de estas tecnologías en los recursos, en cuanto a su cantidad, calidad y disponibilidad, ya que dicha calificación está sustentada en una valoración subjetiva que, en gran medida, depende de la información y los imaginarios que la comunidad posee al respecto.

¹ Los resultados que presenta el documento corresponden al PIB departamental para el año 2009p (provisional).

Como se observó en las respuestas, esta percepción de los encuestados está basada principalmente en cómo la tecnología favoreció el cambio de las condiciones de disponibilidad y accesibilidad de los recursos naturales para su explotación.

Por tal motivo, el mayor número de respuestas se concentró en que los procesos de desarrollo tecnológico han contribuido en la disponibilidad de agua para el riego durante todo el año, en el mejoramiento de la capacidad productiva del suelo —que se traduce en una mayor producción— y en el incremento de nuevas plantaciones —lo cual provoca una mejoría en la calidad visual del paisaje—.

En este sentido, se considera oportuno adelantar un estudio más profundo, que contribuya a establecer el impacto de los procesos de desarrollo tecnológico para la altillanura, en cuanto al estado, calidad, disponibilidad y presión sobre los recursos naturales, más aún si se tiene en cuenta cómo se han afectado negativamente los morichales y sus ecosistemas asociados.

Esta alteración se ha debido al uso y manejo inadecuado del recurso hídrico, la mala disposición de los residuos sólidos y líquidos, procedentes de los cultivos transitorios (arroz, maíz, soya) y permanentes (palma, caucho), y los conflictos ambientales originados por la ampliación de la frontera agrícola: arroz en Casanare y el piedemonte de Arauca; palma en el Meta, Casanare y Arauca; y otros cultivos transitorios, como maíz, soya y sorgo en la altillanura (Correa, Ruiz, & Arévalo, 2005).

Finalmente, cabe destacar que, de acuerdo con los resultados obtenidos de la encuesta y desde la percepción de los productores y trabajadores, estos procesos de desarrollo tecnológico no representaron un cambio importante en las formas de organización social y el apoyo institucional, ya que este aspecto obtuvo una calificación de 2, que, según la escala definida para el estudio, corresponde a un impacto irrelevante.

Conclusiones

En este trabajo hemos tratado de realizar un primer acercamiento a los principales impactos sociales que pudieron haberse derivado de los procesos de desarrollo tecnológico para mejorar la capacidad productiva de los suelos de la altillanura orinoquense colombiana, desde la percepción de los productores y trabajadores que, de una u otra forma, han estado vinculados a dicho proceso.

Desde el punto de vista local, se determinó cómo los impactos más significativos de los procesos de innovación y transferencia tecnológica han influido principalmente en los cambios en el nivel de ingreso percibido (debido al aumento en los rendimientos por hectárea) y en la permanencia de la mano de obra en la actividad (como resultado del incremento en la superficie cultivada).

También se ha dado un mejoramiento del nivel de capacitación técnica relacionada con los paquetes tecnológicos introducidos, así como un cambio en las condiciones de calidad de vida, en especial, el mejoramiento de la calidad en el acceso a un servicio de salud, en los productos que se consumen y en la vivienda a la que se tiene acceso, como resultado de un cambio en los ingresos derivados de la actividad agropecuaria.

Así mismo, dicho proceso implicó una percepción positiva y significativa en cuanto al cambio de las condiciones de disponibilidad y accesibilidad de los recursos naturales para su explotación, principalmente, en la disponibilidad de agua para el riego durante todo el año, el mejoramiento de la capacidad productiva del suelo y de la calidad visual del paisaje, como resultado del aumento de la superficie sembrada en cultivos permanentes, lo que ha generado una apreciación positiva respecto al aumento en la cobertura vegetal.

De otra parte, como se señaló a lo largo del estudio, la mayoría de los impactos de estos procesos de innovación y transferencia tecnológica pudieron haber tenido una injerencia netamente puntual y microlocal, es decir, en el ámbito de las fincas y las veredas, dado el alcance y la cobertura del análisis. Por lo tanto, como ya se ha mencionado en este estudio, valdría la pena ampliar el alcance del estudio en fases posteriores, con el fin de darle una cobertura más amplia, que permita identificar la incidencia de este proceso de cambio

tecnológico en el crecimiento económico y el bienestar de la población del departamento del Meta y los municipios donde se ha hecho la transferencia.

Se debería prestar especial atención a los aspectos relacionados con el aumento de la participación del sector agropecuario en el PIB local y departamental; con la reducción de la pobreza; el acceso a servicios de salud, educación y vivienda de mejor calidad; el aumento de los ingresos derivados del sector; los cambios en la estabilidad laboral, y el mejoramiento de los procesos de conservación de los recursos naturales, en lo que se refiere a mantener su estado y calidad, así como a reducir la presión sobre ellos.



Capítulo V

Impacto de la tecnología desarrollada para el mejoramiento de la producción y la calidad de los suelos

Hernando Méndez Aldana
María Margarita Ramírez Gómez

Introducción

El presente estudio tiene por objeto documentar y cuantificar el impacto de las transformaciones o cambios en las características y cualidades del subsistema suelo que fueron alcanzados mediante el empleo de sistemas de labranza, la aplicación de enmiendas para corregir la acidez y la utilización de fuentes orgánicas para mejorar la eficiencia de los correctivos y aportar nutrientes.

La documentación está fundamentada en los informes de investigación elaborados principalmente por los investigadores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) —Centro de Investigación La Libertad— y en algunas referencias bibliográficas de universidades y del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Metodología

En el estudio se emplearon los documentos y procesos enunciados a continuación.

- La base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y AGROSAVIA, correspondientes a los periodos 1952-1982, 2003-2005 y 2011. Para el estudio de las características químicas del suelo, en total se emplearon los resultados de 1.067 muestras de suelo.

- Los niveles críticos empleados en el análisis corresponden a los que propone el ICA en el manual de asistencia técnica titulado *Fertilización en diversos cultivos* (Navarro & Morales, 1992). Asimismo, investigadores de AGROSAVIA, Centro de Investigación La Libertad aportaron algunos niveles.
- Para hacer un análisis estadístico y estudiar la evolución de la fertilidad de los suelos de la altillanura, se utilizaron los resultados de los análisis de suelos mencionados. Tales resultados se almacenaron con los correspondientes a los análisis de frecuencias de algunas características químicas del suelo por periodos anuales, para lo cual se empleó el programa Sistema de Análisis Estadístico SAS.

Localización y extensión del área de estudio

El área analizada se encuentra entre los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán (Meta) y tiene una extensión aproximada de 101.521 hectáreas.

Características climáticas y de suelos

En el área predomina el clima cálido húmedo y su clima edáfico es údico e isohipertérmico. Los suelos de la altillanura (Typic Hapludox) se caracterizan por estar localizados en paisajes de altiplanicie, con un relieve tipo mesa y forma de terreno en banco. Se consideran muy evolucionados genéticamente, bien drenados y profundos, y el material parental corresponde a depósitos aluviales de relieve plano (pendientes del 3%).

La morfología del perfil está dada por los horizontes A y B. El horizonte A tiene un espesor de 30 a 35 cm, color pardo grisáceo muy oscuro y pardo rojizo oscuro, textura franco-arcillosa y estructura blocosa subangular, moderadamente desarrollada. El horizonte B es óxico, tiene en promedio 90 cm de espesor, es de color rojo amarillento (con diferentes valores de croma), textura arcillosa y estructura blocosa subangular, fuertemente desarrollada.

Químicamente, estos suelos presentan bajo contenido nutricional (calcio, magnesio potasio y fósforo), capacidad media de intercambio de cationes y contenido de carbón orgánico medio en los horizontes superficiales y bajos en profundidad. Su saturación de bases es muy baja y con reacción entre fuerte y medianamente ácida. Registran altos contenidos de aluminio y una fertilidad baja (IGAC, 2004).

Resultados iniciales de fertilidad de los suelos de la altillanura plana del Meta (1952-1982)

En el sector agropecuario, la fertilidad de los suelos es uno de los factores determinantes de la productividad de los sistemas, por lo tanto, identificar sus características y cualidades merece especial atención. La fertilidad del suelo es una cualidad que resulta de la interacción entre las características físicas, químicas, mineralógicas y biológicas del suelo, que determinan las condiciones necesarias para el crecimiento y el desarrollo de las plantas.

El interés por conocer la fertilidad natural de los suelos de la altillanura se ha manifestado desde 1952, con el envío de muestras de suelo a los laboratorios de química del ICA y AGROSAVIA. Los resultados de los análisis químicos de los suelos entre 1952 y 1982 se utilizaron para determinar la línea base o el punto de referencia inicial de los contenidos de nutrientes y el grado de acidez. A partir de estos resultados se dio comienzo a los estudios orientados a mejorar la capacidad productiva del suelo para los sistemas de producción de la altillanura plana.

Contenido de calcio

En los resultados de las muestras de suelo analizadas de 1951 a 1966 (tabla 5.1 y figura 5.1), se puede observar que el 85,15 % tenía un nivel bajo de calcio ($<0,40 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de Ca) y que en los periodos 1967-1974 y 1975-1982 los suelos bajos en calcio disminuyeron de manera progresiva (43,21 % y 28,17%), mientras que se incrementaron sustancialmente los porcentajes de suelos con niveles adecuados y muy altos de calcio.

Tabla 5.1. Distribución del contenido de calcio (porcentajes)

Periodo	Bajo (<0,40 mEq de Ca/1.000 g)	Adecuado (0,41-1,25 mEq Ca/100g)	Muy alto (>1,26 mEq Ca/100g)
1952-1966	85,15	14,85	0
1967-1974	43,21	43,21	13,67
1975-1982	28,17	25,35	46,48

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

El incremento del contenido de calcio en el transcurso de estos años se explica en gran medida por las dosis de enmiendas recomendadas con el propósito principal de disminuir la acidez del suelo y neutralizar la toxicidad causada por el aluminio intercambiable (Rivas, Hoyos, Amézquita, & Molina, 2004; Sánchez, 1990).

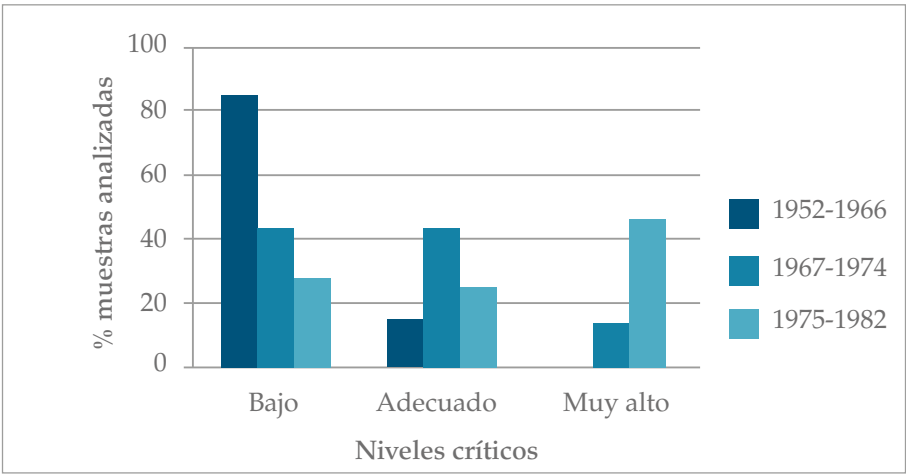


Figura 5.1. Distribución del contenido de calcio.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

De igual forma, el periodo de 1967 a 1982 coincide con el proceso gradual de desarrollo y difusión de tecnologías orientadas a mejorar las características químicas y físicas de estos suelos, para el establecimiento de cultivos y pasturas.

Contenido de magnesio

De acuerdo con los niveles críticos de magnesio establecidos para los suelos de la altillanura, durante el periodo 1952-1966, un 82,26 % de las muestras analizadas tenían contenidos bajos de magnesio ($<0,20 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de Mg). Es probable que la época de muestreo de estos suelos coincida con el inicio de las actividades agrícolas de la altillanura.

Por otra parte, los resultados de los análisis correspondientes a los periodos 1967-1974 y 1975-1982 muestran un incremento progresivo en el porcentaje de muestras con niveles adecuados de magnesio (de 17,74 % a 96,53 %); también se destaca el predominio de suelos con adecuado contenido de magnesio (96,53 % y 60,56 %).

Es posible que el enriquecimiento del suelo se deba a las aplicaciones de enmiendas que durante esos años utilizaban los agricultores, con el interés de establecer los cultivos. Ahora bien, el descenso de muestras con un nivel adecuado de magnesio (de 96,53 % a 60,56 %) indica, en parte, que es necesario aplicar cal dolomita regularmente, con el fin de sostener un nivel adecuado, que favorezca el desarrollo normal de los cultivos.

Tabla 5.2. Distribución del contenido de magnesio (porcentaje)

Periodo	Bajo ($<0,20 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de Mg)	Adecuado ($0,20\text{-}3 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de Mg)	Muy alto ($3\text{-}5 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de Mg)
1952-1966	82,26	17,74	0
1967-1974	3,47	96,53	0
1975-1982	39,44	60,56	0

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

En el periodo 1975-1982 se incrementaron los suelos con un nivel bajo de magnesio (de 3,47 % a 39,44 %), lo cual puede obedecer a la incorporación de nuevas áreas o suelos al proceso de desarrollo agrícola de la altillanura (figura 5.2). En síntesis, es de señalar que los suelos de la zona muestran aumentos importantes en el contenido de magnesio.

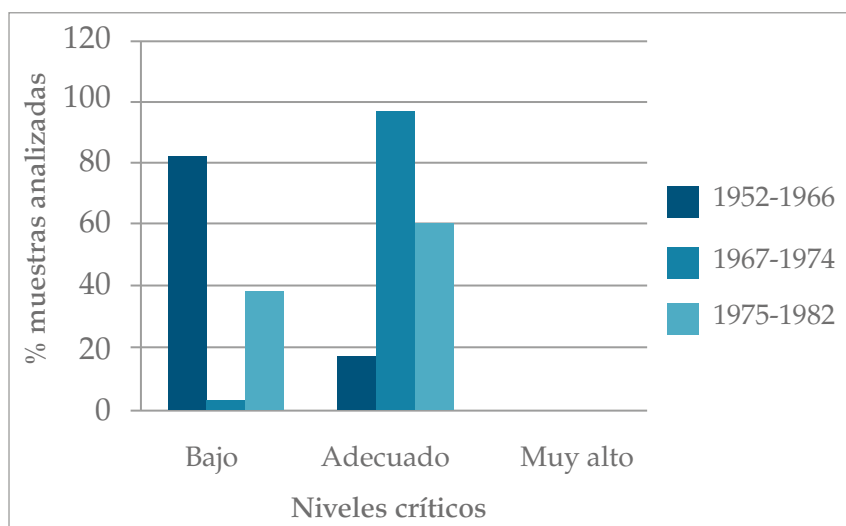


Figura 5.2. Distribución del contenido de magnesio.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

Contenido de fósforo

En la tabla 5.3 y la figura 5.3 se puede observar el comportamiento de los niveles de fósforo. Cabe resaltar que, a medida que transcurre el tiempo, el porcentaje de muestras caracterizadas con un nivel muy bajo de fósforo (<5 ppm de P) disminuye progresivamente (de 84 % a 36,62 %), mientras se observa un enriquecimiento de los suelos en los niveles bajo, medio y alto.

Así, por ejemplo, el porcentaje de muestras de suelo con un nivel medio de fósforo (11-20 ppm de P) aumentó del 4 % al 14,08 %. La tendencia al incremento de la concentración de fósforo en estos suelos, inicialmente muy baja, puede estar motivada por la aplicación de fertilizantes fosforados.

Sin embargo, vale la pena anotar que entre 1975 y 1982 el porcentaje de muestras con niveles bajos y muy bajos de fósforo sigue siendo bastante alto (80,28 %). Esta situación también se observa en el periodo 1967-1974, lo cual indica que en la altillanura continúan predominando los suelos bajos en fósforo. Además, a pesar de las dosis que se han venido aplicando, el poder residual de las fuentes es bajo.

Por lo tanto, se considera importante sugerir la necesidad de continuar utilizando el servicio de análisis de suelo y atender las recomendaciones, para prevenir estas deficiencias. Así mismo, es importante continuar con los estudios sobre requerimientos de fósforo en diferentes especies cultivadas en esa región y sobre la capacidad residual de las fuentes de fósforo empleadas.

Tabla 5.3. Distribución del contenido de fósforo (porcentaje)

Periodo	Muy bajo (<5 mg.kg ⁻¹ P)	Bajo (5-10 mg.kg ⁻¹ P)	Medio (11-20 mg.kg ⁻¹ P)	Alto (>20 mg.kg ⁻¹ P)
1952-1966	84,00	8,67	4,00	3,33
1967-1974	61,65	21,43	13,53	3,38
1975-1982	36,62	43,66	14,08	5,63

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

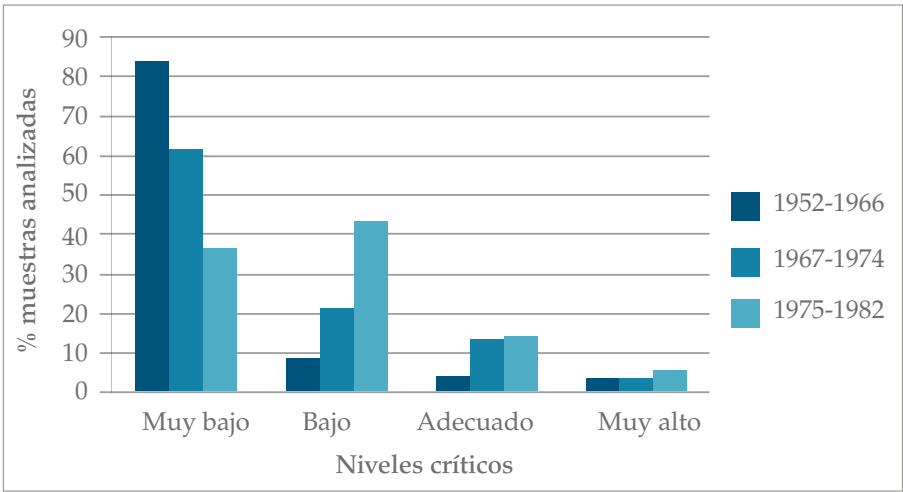


Figura 5.3. Distribución del contenido de fósforo.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

Contenido de potasio

Los resultados de los análisis de las muestras de suelos durante los tres periodos estudiados (tabla 5.4 y figura 5.4) indican un predominio de muestras con una baja concentración de potasio ($<0,1$ Cmol.kg⁻¹ de K). Estos niveles de potasio se encuentran en el 85,48 % (1952-1966) y el 73,24 % (1975-1982) de los suelos analizados.

Sin embargo, vale la pena señalar que entre estos dos periodos se registró una disminución equivalente al 12,24 % de los suelos bajos en potasio. Esta diferencia se refleja en un aumento en el porcentaje de suelos con niveles adecuados y muy altos.

Tabla 5.4. Distribución del contenido de potasio (porcentaje)

Periodo	Bajo ($<0,1$ Cmol.kg ⁻¹ de K)	Adecuado ($0,1-0,20$ Cmol.kg ⁻¹ de K)	Muy alto ($>0,20$ Cmol.kg ⁻¹ de K)
1952-1966	85,48	11,29	3,23
1967-1974	78,88	17,53	3,59
1975-1982	73,24	15,49	11,27

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

De estos resultados se deduce que se ha incorporado al suelo alguna fuente de potasio, con el fin de prevenir la deficiencia de este nutriente.

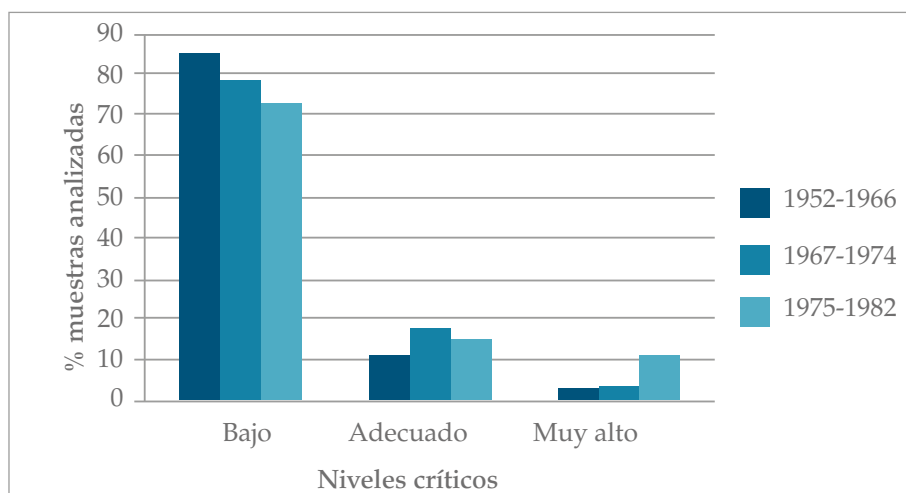


Figura 5.4. Distribución del contenido de potasio

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

Contenido de materia orgánica

En los datos de la tabla 5.5 se aprecia que durante el periodo 1952-1966 el contenido de materia orgánica (MO) era alto ($>3\%$) en el 58 % de las muestras analizadas. También señala que en el periodo 1967-1974 el número de suelos con este nivel descendió a 19,55 %, mientras que se incrementó la proporción de suelos con niveles medios y bajos.

Los resultados estudiados del primer periodo muestran que predominaban los suelos con más del 3 % de materia orgánica, pero que, al parecer, con el proceso de labranza empleado para establecer los cultivos, se favorecieron la descomposición y la pérdida.

No obstante, los datos del periodo 1975-1982 sugieren que el proceso de pérdida y enriquecimiento es cíclico y podría estar relacionado con las especies involucradas en el proceso de rotación de los cultivos, lo cual se manifiesta en el aumento de suelos con alto contenido de materia orgánica (36,62 %) (figura 5.5).

Tabla 5.5. Distribución del contenido de materia orgánica (mo) (porcentaje)

Periodo	Bajo (<2 % de mo)	Medio (2-3 % de mo)	Alto (>3 % de mo)
1952-1966	22,40	19,33	58,00
1967-1974	39,85	40,60	19,55
1975-1982	46,48	16,90	36,62

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

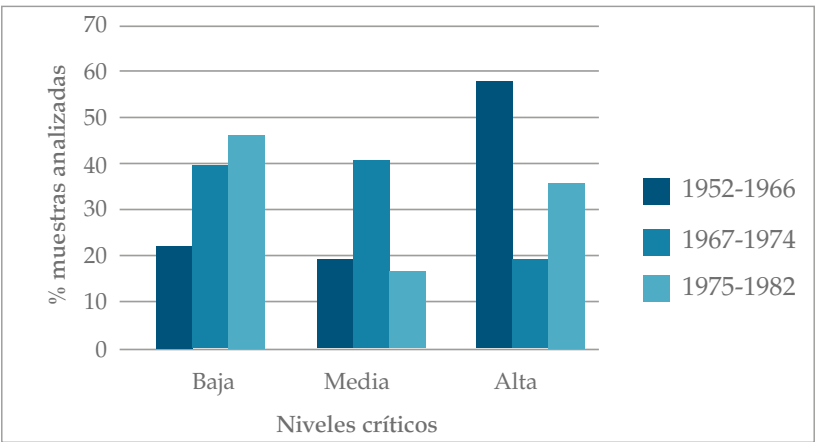


Figura 5.5. Distribución del contenido de materia orgánica.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

Saturación de bases

Se trata de una característica química del suelo, que determina en gran medida el tipo de uso y la selección de los materiales genéticos o variedades que pueden tolerar sus diversos niveles. A partir del grado de susceptibilidad de algunas especies cultivables, investigadores del Centro de Investigación La Libertad de AGROSAVIA propusieron los diferentes niveles de saturación de bases: bajo: 1 %-29 %, adecuado: 29,07 %-60 % y muy alto: 60,1 %-99,9 %.

De los resultados, sobresale que, durante el periodo 1951-1966, el 94,36 % de las muestras de suelo analizadas tenía un nivel bajo de saturación de bases y que en los periodos 1967-1974 y 1975-1982 el número de suelos con este nivel disminuyó hasta el 15,49 %.

Al mismo tiempo, se observa que los porcentajes de suelos con niveles adecuados y muy altos de saturación de bases se incrementan sustancialmente, hasta encontrar que el 59,16 % tenía más de un 60 % de saturación de bases (calcio, magnesio y potasio), que es considerado un nivel óptimo para el desarrollo de los cultivos en suelos de la altillanura (tabla 5.6).

Tabla 5.6. Distribución de la saturación de bases (porcentaje)

Periodo	Baja (1 %-29 %)	Adecuada (29 %-60 %)	Muy alta (>60 %)
1952-1966	94,36	5,65	0
1967-1974	11,60	64,09	24,31
1975-1982	15,49	25,35	59,16

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

El aumento de la saturación de bases en el transcurso de estos años (figura5.6) se explica en gran parte por el encalado que se recomendaba con el propósito principal de disminuir la acidez del suelo y neutralizar la toxicidad causada por el aluminio intercambiable.

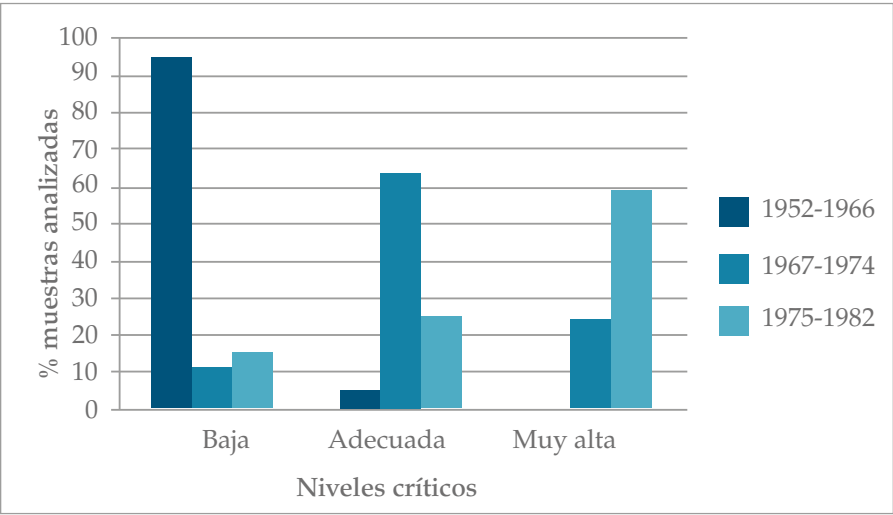


Figura 5.6. Distribución de la saturación de bases.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

Acidez

De acuerdo con los resultados de los análisis químicos, en el periodo 1952-1982 se halló un predominio (del 78% al 93,98%) de suelos ácidos (pH 4,5-5,5), además, que entre un 6,02% y un 22% eran muy ácidos (pH <4,5). En términos generales, se aprecia que, después de treinta años de uso, la acidez (pH) de los suelos de la altillanura no presenta cambios marcados (figura 5.7). La transformación que han presentado consiste en una variación que va del nivel muy ácido al ácido, que, al parecer, es un cambio importante y ha permitido la adaptación y el empleo de híbridos de maíz, por ejemplo, para esas condiciones de suelos.

Tabla 5.7. Distribución de los niveles de acidez de los suelos (porcentaje)

Periodo	Muy ácido (pH <4,5)	Ácido (pH 4,5-5,5)	Ligeramente ácido (pH 5,5-6,8)
1952-1966	22,00	78,00	0
1967-1974	6,02	93,98	0
1975-1982	15,49	84,51	0

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

La tendencia de estos resultados es similar a la encontrada para el contenido de calcio, y las razones de sus cambios también pueden explicar aquella de la acidez de estos suelos.

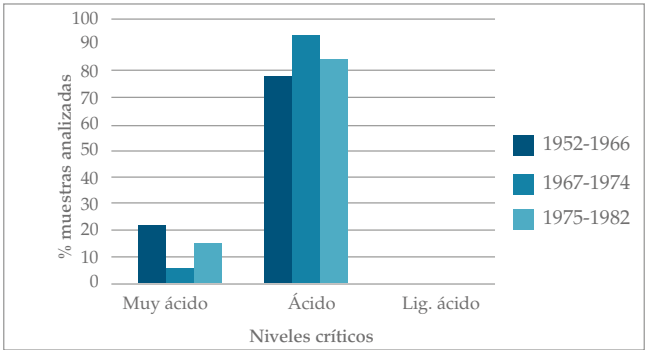


Figura 5.7. Distribución del grado de acidez (pH) de los suelos.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

Saturación de aluminio

Con el objetivo de moderar las limitaciones impuestas por la acidez de los suelos, se emprenden varias estrategias, entre ellas, el empleo de cal para lograr que la saturación de aluminio se encuentre por debajo de los niveles tóxicos para los cultivos. Esta saturación se mide con un porcentaje, que resulta de la relación entre el aluminio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico efectiva. Valores superiores al 60 % indican un alto riesgo de toxicidad.

En la tabla 5.8 y la figura 5.8 se presentan estos valores, de los cuales cabe resaltar que, en el periodo 1952-1966, el 89,52 % de los suelos tenía una saturación de aluminio superior al 60 %, lo que causa muchas limitaciones para el desarrollo de los sistemas agrícolas. Asimismo, se observa que a lo largo del tiempo el riesgo por toxicidad de aluminio disminuye, ya que el 57,75 % de los suelos presentan un nivel adecuado (<30 %).

Tabla 5.8. Distribución de la saturación de aluminio (porcentaje)

Periodo	Muy limitante (>60 %)	Limitante (30 %-60 %)	Adecuada (<30 %)
1952-1966	89,52	8,87	1,61
1967-1974	38,54	43,23	18,23
1975-1982	22,54	19,72	57,75

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

La causa de estos cambios es similar a las que se observaron para las variaciones en el contenido de calcio y de magnesio.

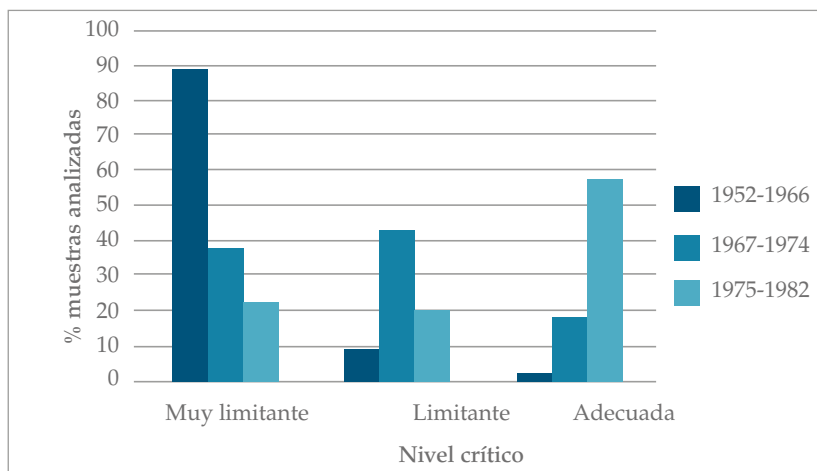


Figura 5.8. Distribución de la saturación de aluminio.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

Promedios de algunas características de los suelos (1952-1982)

Al finalizar esta sección, es importante comentar que, en virtud de la información recopilada y suministrada por los investigadores de AGROSAVIA, así como de algunas referencias de trabajos realizados por otras instituciones, se ha realizado un análisis de los datos que se generaron desde los primeros años en los que el desarrollo agrícola inició en esa región (sabanas nativas) y, a la vez, se han resaltado los cambios en las características del suelo, que se dieron, en parte, por la aplicación de los primeros avances tecnológicos.

En la tabla 5.9 se presentan los valores promedio de las características químicas estudiadas, correspondientes al periodo 1952-1982. En términos generales, los suelos son ácidos, con un contenido medio de materia orgánica, calcio y magnesio, y bajo en potasio. Presentan una adecuada saturación de bases y una alta (limitante) saturación de aluminio, asociada a bajos niveles de fósforo.

Tabla 5.9. Características químicas de los suelos (valores promedio 1952-1982)

pH	Materia orgánica	Fósforo	Aluminio	Calcio	Magnesio	Potasio	Saturación de bases	Saturación de aluminio
	%	mg.kg ⁻¹	Cmol.kg ⁻¹ de suelo				%	%
4,86	2,58	5,80	1,65	0,80	0,29	0,10	37,22	58,12

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes al periodo 1952-1982

Estrategias estudiadas y empleadas para el mejoramiento de la capacidad productiva de los suelos

Los investigadores de AGROSAVIA, con base en las características de los suelos de la altillanura anteriormente analizadas y descritas —que evidencian la existencia de problemas relacionados con la acidez del suelo, un bajo nivel de nutrientes disponibles para las especies cultivadas o por introducir y una compactación del suelo que afecta la capacidad de aireación y retención de humedad— plantearon los siguientes temas, que tienen como objetivo principal mejorar la capacidad de productividad del suelo en los sistemas de producción de esta zona.

- Labranza vertical correctiva para mejorar la condición física del suelo e incorporar las fuentes de calcio, magnesio y fertilizantes en las cantidades recomendadas. Esto debe hacerse con base en los resultados de los análisis y los requerimientos del sistema de producción que se va a implementar.
- Métodos de aplicación y valoración de la profundidad de incorporación de cales como correctivos de acidez y como fuente de calcio y magnesio.
- Siembra o rotación de cultivos o coberturas con alta capacidad para producir raíces. Estas prácticas están dirigidas a mantener las condiciones mejoradas del suelo, enriquecer la materia orgánica, estimular los organismos vegetales y animales presentes en la capa y aportar más nitrógeno.
- Implementación de sistemas conservacionistas de siembra directa. Estos tienen por objeto evitar la labranza antes de la siembra de las coberturas,

para impedir pérdida de materia orgánica, compactación y erosión del suelo. La recomendación es labrar inicialmente para mejorar la condición física de compactación, mantener el suelo con raíces y, luego, realizar la siembra directa.

Cada uno de estos temas originó la formulación de los proyectos de investigación y transferencia, cuyos resultados se divulgaron mediante diversos medios con el fin de que tales tecnologías se adoptaran.

Impacto de la tecnología en las características del suelo de la altillanura (2002-2011)

El impacto de la tecnología que fue generada y transferida para mejorar la capacidad productiva de los suelos de la altillanura plana es producto del análisis comparativo de algunas propiedades químicas del suelo en el periodo 1952-1982, presentadas anteriormente, y los cambios que se presentaron en los periodos 2002-2003, 2004-2005 y 2011.

Con el fin de analizar las variaciones en algunas características del suelo en los periodos 2003-2005 y 2011, se emplearon los resultados de los análisis de suelos de fincas y de lotes experimentales. Se presenta el comportamiento de los contenidos de calcio, magnesio, fósforo, potasio, materia orgánica, saturación de bases, saturación de aluminio y acidez del suelo.

Contenido de calcio

Los datos de la tabla 5.10 y la figura 5.9 muestran los resultados sobre el contenido de calcio en el suelo. En ellos se destaca que la mayoría de las muestras de suelo analizadas se encuentran en los niveles críticos, denominados alto y muy alto. Así, al finalizar el periodo 2002-2003, el 76,19% de los suelos tenía concentraciones de calcio adecuadas (47,62%) y muy altas (28,57%); mientras que en 2011 estos mismos niveles se hallaron en el 93,38% de las muestras analizadas.

El impacto de la tecnología de encalado es positivo, lo que se evidencia al señalar que, en 1952, el 85,15% de los suelos pertenecía al nivel bajo de calcio, frente al 5,62% de suelos con ese nivel en 2011.

Tabla 5.10. Distribución del contenido de calcio en suelos mejorados (porcentaje)

Periodo	Bajo ($<0,40 \text{ Cmol.kg}^{-1}$)	Adecuado ($0,41-1,25 \text{ Cmol.kg}^{-1}$)	Muy alto ($>1,26 \text{ Cmol.kg}^{-1}$)
2002-2003	23,81	47,62	28,57
2004-2005	4,65	43,02	52,33
2011	6,62	48,53	44,85

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Resumen del impacto

Promedio 1952-1982: $0,80 \text{ Cmol.kg}^{-1}$

Promedio 2003-2011: $1,50 \text{ Cmol.kg}^{-1}$

De igual forma, vale la pena resaltar el incremento del promedio del contenido de calcio en el suelo, el cual pasó de $0,80 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ (1952-1982) a $1,50 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ (2003-2011), lo que indica un índice de enriquecimiento de 1,31.

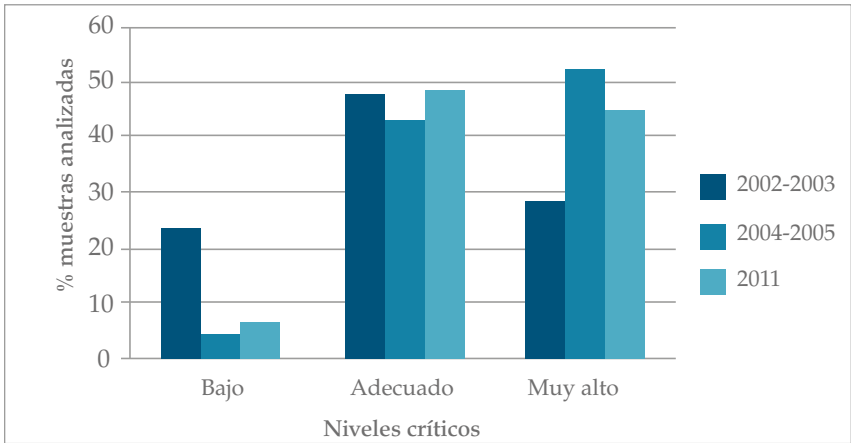


Figura 5.9. Distribución del contenido de calcio en los suelos mejorados.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Contenido de magnesio

Los datos que aparecen en la tabla 5.11 y la figura 5.10 indican que el porcentaje de muestras de suelo con contenido de magnesio clasificado como adecuado se incrementan a lo largo del tiempo, pues pasan del 57,14% al 78,68%. En consecuencia, el porcentaje de suelos pobres disminuye del 42,86% al 21,32%, lo que demuestra que el impacto de la tecnología es positivo para el enriquecimiento de magnesio en el suelo.

Tabla 5.11. Distribución del contenido de magnesio en suelos mejorados (porcentaje)

Periodo	Bajo ($<0,20 \text{ Cmol.kg}^{-1} \text{ de Mg}$)	Adecuado ($0,20\text{-}3 \text{ Cmol.kg}^{-1} \text{ de Mg}$)	Muy alto ($>3 \text{ Cmol.kg}^{-1} \text{ de Mg}$)
2002-2003	42,86	57,14	0
2004-2005	20,18	79,07	0
2011	21,32	78,68	

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Resumen del impacto

Promedio 1952-1982: $0,29 \text{ Cmol.kg}^{-1} \text{ de Mg meq de Mg/1.000 g}$

Promedio 2003-2011: $0,50 \text{ Cmol.kg}^{-1} \text{ de Mg}$

Al comparar los resultados obtenidos en el periodo 1952-1966 con los alcanzados en 2011, se observa que el porcentaje de suelos pobres en magnesio descendió, al pasar del 82,26% al 21,32%. En términos de concentración de magnesio, se encontró que en el periodo 1952-1982 los suelos contenían un promedio de $0,29 \text{ Cmol.kg}^{-1} \text{ de Mg}$, mientras que en el periodo 2003-2011 ese promedio aumentó a $0,59 \text{ Cmol.kg}^{-1} \text{ de Mg}$, que equivale a un índice enriquecimiento de 1 (IE=1).

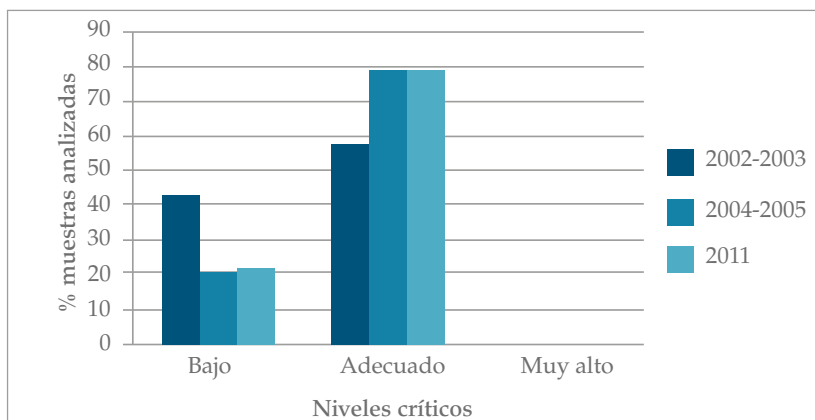


Figura 5.10. Distribución del contenido de magnesio en suelos mejorados.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

El incremento de calcio y magnesio en el suelo se debe, en parte, a la aplicación de la tecnología basada en la rotación de cultivos, el encalado (cal dolomita, mezcla de cal con gallinaza y cal con fuentes de fósforo, entre otras) y los sistemas para incorporar estos elementos durante el proceso de preparación de la tierra para las siembras (empleo de rastra, arado de discos, arado de vertedera, cincel rígido y vibratorio) con el fin de corregir la acidez del suelo.

Contenido de fósforo

En términos generales, el contenido de fósforo en los suelos de la altillanura presenta variaciones importantes, que revelan la acumulación o el enriquecimiento del suelo. Así, se observa la disminución de los suelos muy bajos en fósforo, del 61,9% al 48,53%, mientras se da el incremento de suelos con niveles medios y altos de fósforo disponible para los cultivos.

Estos resultados demuestran el impacto positivo de la tecnología de manejo de los suelos, lo cual se hace aún más claro al comparar el periodo 1952-1966, en el que solo en el 3,33% de los suelos el contenido de fósforo era superior a veinte partes por millón (nivel crítico alto), con el 23,53% que tenía el mismo nivel en 2011. Al respecto, es importante señalar que en la actualidad la dosis recomendada de fósforo para el caso de cultivos de híbridos de maíz es de 90 kg/ha de P_2O_5 .

Tabla 5.12. Distribución del contenido de fósforo en suelos mejorados (porcentaje)

Periodo	Muy bajo ($<5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ de P}$)	Bajo ($5-10 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ de P}$)	Medio ($11-20 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ de P}$)	Alto ($>20 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ P}$)
2002-2003	61,90	9,52	9,52	19,05
2004-2005	22,09	29,07	26,74	22,09
2011	48,53	13,97	13,97	23,53

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Resumen de impacto

Promedio 1952-1982: $5,8 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ de P}$

Promedio 2003-2011: $15,5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ de P}$

En términos de concentración de fósforo, durante el periodo 1952-1982, los suelos contenían en promedio $5,8 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ de P}$, mientras que en el periodo 2003-2011 el contenido promedio llegó a $15,5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ de P}$, lo que indica un índice de enriquecimiento de 1,67.

Sin embargo, en la tabla 5.12 se puede observar que aún existen limitaciones, debidas a la disponibilidad de fósforo en los suelos de la altillanura (62,5%), en sistemas de producción de rotación de cultivos y ganadería. Es importante resaltar que, aunque se han encontrado mayores contenidos de calcio, es posible que aún no se hayan neutralizado del todo los altos niveles de aluminio presentes, lo que puede limitar la liberación del fósforo en estos suelos, aun aplicando dosis relativamente altas de este nutriente a los diferentes cultivos.

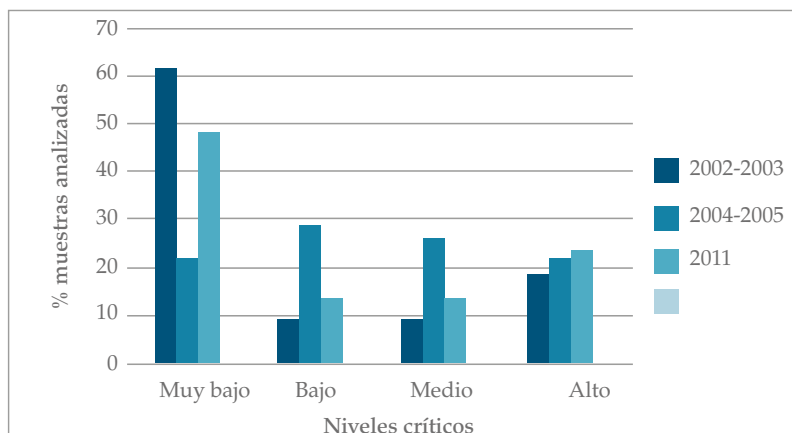


Figura 5.11. Distribución del contenido de fósforo en suelos mejorados.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Contenido de potasio

En los periodos 2002-2003 y 2004-2005, el número de muestras de suelo con un nivel bajo de potasio supera el de aquellas con niveles adecuados y muy altos. Sin embargo, se observa una tendencia a la disminución de muestras de suelo con contenidos bajos (del 76,19% al 47,79%) y, por consiguiente, al aumento de suelos con niveles medios y altos, lo cual indica que se presenta un enriquecimiento de potasio (tabla 5.13).

Tabla 5.13. Distribución del contenido de potasio en suelos mejorados (porcentaje)

Periodo	Bajo ($<0,1 \text{ Cmol.kg}^{-1} \text{ de K}$)	Adecuado ($0,1-0,20 \text{ Cmol.kg}^{-1} \text{ de K}$)	Muy alto ($>0,20 \text{ Cmol.kg}^{-1} \text{ de K}$)
2002-2003	76,19	23,81	0
2004-2005	69,77	20,93	9,30
2011	47,79	35,29	16,91

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Resumen de impacto

Promedio 1952-1982: $0,10 \text{ Cmol.kg}^{-1}$

Promedio 2003-2011: $0,13 \text{ Cmol.kg}^{-1}$

Al comparar los periodos 1952-1982 y 2003-2011, en cuanto al promedio del contenido de potasio, no se observan diferencias importantes entre ellos. Sin embargo, el valor promedio del primer periodo ($0,10 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de K) corresponde al nivel crítico bajo, y el del segundo, al nivel adecuado ($0,13 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de K), lo que quiere decir que, al finalizar último periodo, los suelos se han enriquecido con potasio y, por tanto, requerirán dosis más bajas.

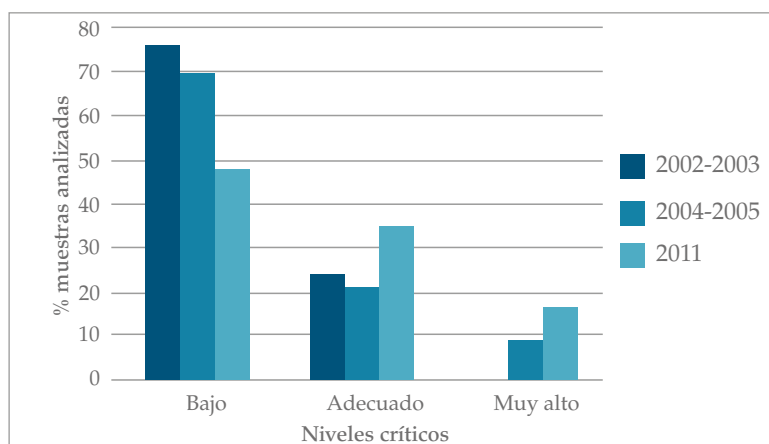


Figura 5.12. Distribución del contenido de potasio en suelos.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

La dosis recomendada para los híbridos de maíz Corpoica H-108 y Corpoica Altillanura H-111 es de 90 kg/ha de K_2O . Aunque los suelos son relativamente bajos en potasio, al parecer el cultivo satisface los requerimientos con las dosis aplicadas, aunque el potasio residual que permanece en el suelo es muy escaso, tal como sucede en los resultados presentados.

También es oportuno resaltar que los híbridos y variedades de las especies que se cultivan en la altillanura toleran eficientemente la escasa disponibilidad de potasio, así como la de fósforo, calcio y magnesio. De igual forma, cabe destacar que, en condiciones de suelos de baja fertilidad y con muy bajos insumos, se logran rendimientos de híbrido de maíz de hasta 2,5 toneladas por hectárea, mientras que, en suelos con contenidos adecuados de estos nutrientes, complementados con abono y enclado, etc., se alcanzan producciones de hasta 4,06 toneladas de maíz seco por hectárea (Almanza, Bernal, & Argüello, s. f.).

Al respecto, es fundamental señalar que los rendimientos de estos cultivos son bajos cuando se comparan con los promedios obtenidos en otras regiones del país. Es importante, no obstante, obtener un adecuado balance y disponibilidad de nutrientes, que permitan satisfacer los requerimientos de los cultivos y que los transformen en producciones competitivas agronómica y económicamente, con un producto de alta calidad. Estos temas de estudio son de gran trascendencia para el desarrollo agrícola de esa región.

Contenido de materia orgánica

Los resultados de los análisis de suelos muestran un predominio de niveles bajos de materia orgánica (tabla 5.14 y figura 5.13), es decir, contenidos menores al 2%. Igualmente, se observa que el número de muestras de suelo con un nivel medio de MO (2%-3%) oscila entre el 38,1 % y el 27,91 %, nivel que frecuentemente se presenta después de tres o cuatro años consecutivos de siembra, al final de los cuales se dejan los residuos de las cosechas sobre el suelo.

Tabla 5.14. Distribución del contenido de materia orgánica en suelos mejorados (porcentaje)

Periodo	Bajo (<2 % de MO)	Medio (2-3 % de MO)	Alto (>3 % de MO)
2002-2003	61,90	38,10	0
2004-2005	70,90	27,91	1,16
2011	2,94	10,29	86,76

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Por otra parte, durante el periodo 2011 se advierte un incremento sustancial de los suelos con alto contenido de materia orgánica (86,76%), debido al origen de las muestras, las cuales provienen de fincas cultivadas con soja y arroz, es decir, fincas tecnificadas.

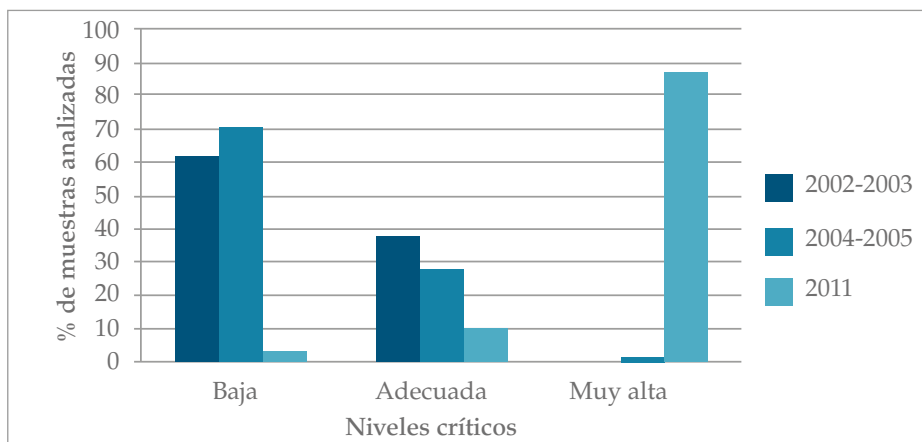


Figura 5.13. Distribución del contenido de materia orgánica en suelos mejorados.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Se esperaba que los niveles de materia orgánica aumentaran en forma sostenida a lo largo del tiempo, pero el clima puede estar provocando la mineralización y pérdida de esta. Además, se debe tener presente que las prácticas de preparación del suelo con las que se mejoran algunas características físicas (como la capacidad de aireación, movimiento y almacenamiento del agua en forma sistemática) crean las condiciones ideales para la proliferación de los microorganismos del suelo, que también intervienen en el proceso de descomposición de los residuos vegetales.

Sin embargo, vale la pena destacar que la tecnología generada y difundida para el mejoramiento de la capacidad productiva de los suelos de la altillanura ha permitido manejar y conservar la materia orgánica. Esto se comprueba, en parte, con el contenido promedio de materia orgánica en el periodo 1952-1982, que fue de 2,58 %, frente al 3,1 % del periodo 2003-2011 (tabla 5.14).

Saturación de bases

Durante el periodo 2002-2011, la saturación de bases (calcio, magnesio y potasio) mostró incrementos importantes, que impactan positivamente la fertilidad de estos suelos. En la tabla 5.15 se observa cómo predominan los suelos con muy alta y adecuada saturación. Este cambio se evidencia al

comparar los periodos 2002-2003 y 2004-2005, ya que en este último el 87,21 % de los análisis de suelos reportaron contenidos muy altos de saturación de bases (>60 %) y el 12,9 % niveles adecuados para el normal desarrollo de los cultivos (29-60 %) (tabla 5.15 y figura 5.14).

Tabla 5.15. Distribución de la saturación de bases en suelos mejorados (porcentaje)

Periodo	Baja (1 %-29 %)	Adecuada (29 %-60 %)	Muy alta (>60 %)
2002-2003	14,29	23,81	61,90
2004-2005	0	12,79	87,21
2011	16,91	36,76	46,32

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Al comparar los resultados obtenidos de los periodos 1952-1982 y 2003-2011, se observan algunas diferencias importantes, que se deben en gran parte a la tecnología generada y aplicada. Así, en el primer periodo anotado, el 94,36 % de las muestras se caracterizan por una baja saturación de bases y en el segundo sobresalen los suelos con muy alta la saturación de bases (del 87,21 % al 46,32 %).

De la misma manera, en el periodo 1952-1982, los suelos tienen en promedio un 37,22 % de saturación de bases, mientras que en el periodo 2003-2001 tienen un 69 %. En síntesis, durante estos años se han venido mejorando algunas características químicas, y de esta forma se han generado suelos más aptos para cultivos transitorios, permanentes y para pastos y especies forrajeras.

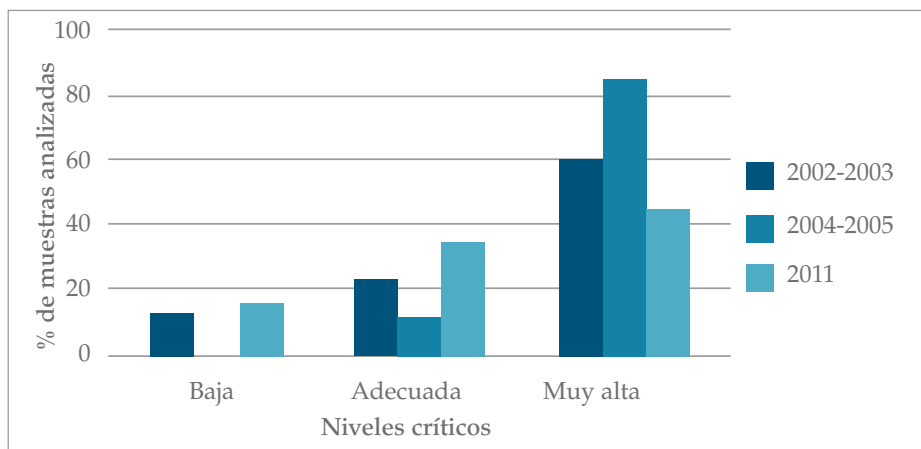


Figura 5.14. Distribución de la saturación de bases en suelos mejorados.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Acidez (pH)

Durante el periodo 2002-2011, los suelos clasificados como muy ácidos ($\text{pH} < 4,5$) tienden a disminuir (del 23,81 % al 11,1 %). Igualmente, en la tabla 5.16 y la figura 5.15 se observa que el 47,62 % y el 76,3 % de los suelos analizados son ácidos ($\text{pH} 4,5-5,5$), y entre el 28,57 % y el 12,69 % de los suelos son ligeramente ácidos.

Estos resultados indican que el pH del suelo ha tenido una tendencia sostenida a incrementarse, hasta convertirse en ligeramente ácido. La evolución es aún más notoria si se compara con el pH del periodo 1952-1982, en el que predominaban los suelos ácidos (del 93,98 % al 78 %) y no se encontraban suelos ligeramente ácidos (tabla 5.16).

Una vez más, se evidencia el efecto de los correctivos de acidez, mezclados, en algunos casos, con productos orgánicos e incorporados al suelo mediante diferentes sistemas de labranza para mejorar la eficiencia de los productos y la rotación de cultivos. De esta manera, se logra adecuar los suelos para que los cultivos se desarrollen y produzcan cosechas abundantes y de calidad.

Tabla 5.16. Distribución de la acidez (pH) en suelos mejorados (porcentaje)

Periodo	Muy ácido (pH <4,5)	Ácido (pH 4,5-5,5)	Ligeramente ácido (pH 5,5-6,8)
2002-2003	23,81	47,62	28,57
2004-2005	10,59	62,35	27,06
2011	11,10	76,30	12,69

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

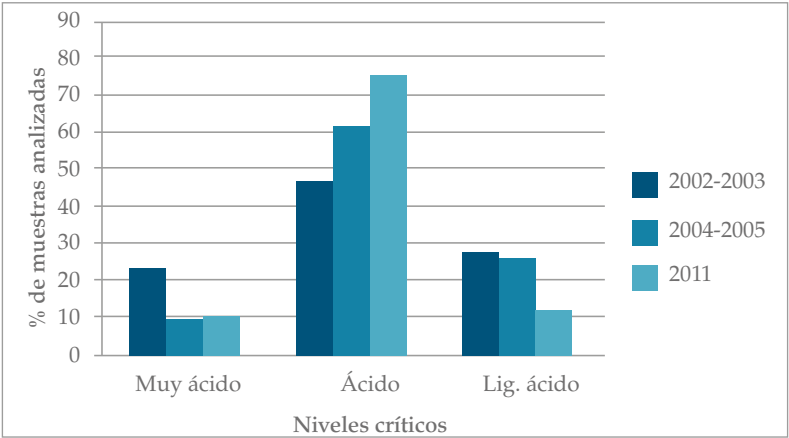


Figura 5.15. Distribución de la acidez (pH) en suelos mejorados.

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Saturación de aluminio

Al igual que la saturación de bases, la de aluminio es un indicador importante, que refleja claramente los cambios en los contenidos de este elemento, que pueden afectar el desarrollo de las plantas cultivadas.

En la tabla 5.17 y la figura 5.16, se observa que predominan los suelos que tienen saturaciones de aluminio menores al 30 % (38,97 % y 75,58 %), es decir, son suelos adecuados para el desarrollo de los cultivos de la altillanura,

como la soya. De igual forma, se destaca que entre un 19,05 % y un 28,68 % de los suelos analizados tienen una saturación que varía entre el 30 y el 60 %, la cual es limitante para la soya, pero aceptable para el arroz.

En el caso particular de la saturación de aluminio, es importante resaltar que el 89,52 % de las muestras de suelo analizadas en el periodo 1952-1966 reportaron saturaciones superiores al 60 %, que son muy limitantes. Aunque en esa época no eran aptas para la mayoría de los cultivos, progresivamente han venido mejorando, a tal punto que en el periodo 2011 se ha encontrado que solo entre el 32,35 % y el 4,65 % de los suelos tienen saturaciones superiores al 60 %.

Los cambios favorables que se han logrado a lo largo del tiempo, como en el caso de la saturación de bases, son resultado de la aplicación de algunas recomendaciones técnicas de manejo de suelos y cultivos, derivadas de experiencias comprobadas en campos experimentales.

Tabla 5.17. Distribución porcentual de saturación de aluminio en suelos mejorados

Periodo	Muy limitante (>60 %)	Limitante (30 %-60 %)	Adecuada (<30 %)
2002-2003	19,05	19,05	61,90
2004-2005	4,65	19,77	75,58
2011	32,35	28,68	38,97

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Resumen de impacto

Promedio 1952-1982: 58,12 % de saturación de aluminio

Promedio 2003-2011: 31,0 % de saturación de aluminio

El impacto de la tecnología aplicada en el control de la saturación de aluminio también se refleja en el promedio calculado. Así, en el periodo 1952-1982, los suelos contenían en promedio un 58,12 %, mientras que, en el periodo 2003-2011, el contenido promedio disminuyó hasta el 31 %.

Sin embargo, como en el caso del fósforo, aún es necesario fortalecer los proyectos de transferencia de tecnología dirigidos a reducir el porcentaje de suelos que aún presentan limitaciones al respecto.

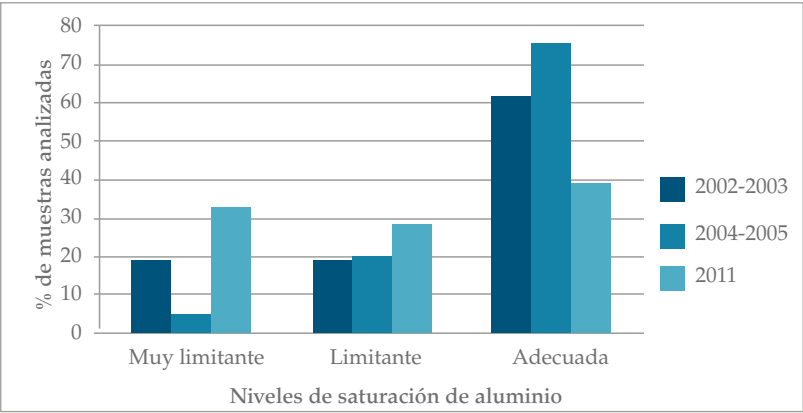


Figura 5.16. Distribución de los niveles de saturación de aluminio en suelos mejorados.
Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

Promedios de algunas características químicas

En la tabla 5.18 se presentan los valores promedio de las características químicas estudiadas en el periodo 2002-2011. En términos generales, los suelos son ácidos, con un alto contenido de materia orgánica, muy alto contenido de calcio, adecuado de magnesio, bajo en potasio, una alta saturación de bases y una moderada o adecuada saturación de aluminio (bajos riesgos de toxicidad causada por aluminio).

Tabla 5.18. Características químicas de los suelos de la altillanura plana del Meta (valores promedio 2002-2011)

pH	Materia orgánica	Fósforo	Aluminio	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Saturación de aluminio	Saturación de bases
	%	mg.kg ⁻¹	Cmol.kg ⁻¹ suelos					%	%
5,0	3,1	15,5	0,09	1,5	0,5	0,1	0,1	31,0	69,0

Fuente: Base de datos de los resultados de análisis de suelos de los laboratorios del ICA y AGROSAVIA correspondientes a los periodos 2002-2005 y 2011

La aplicación de algunas de estas enmiendas se ha venido realizando por recomendaciones a partir de los resultados de las investigaciones, desde antes de la década de los setenta, e innegablemente han tenido un impacto positivo en el nivel de fertilidad de los suelos de la altillanura.

Características físicas

Se refiere a las características relacionadas con la textura, estructura, densidad y porosidad, entre otras, de los suelos de la altillanura plana del Meta.

Compactación

La resistencia a la penetración presenta valores entre 1,77 MPa en superficie y 3,45 MPa a los 70 cm de profundidad, valores superiores a 1,25 MPa, una cifra considerada crítica para el desarrollo y crecimiento de las raíces de la mayoría de las especies vegetales. Se trata de suelos duros o compactos (Almanza et al., s. f.).

Los valores de densidad aparente de los suelos de la altillanura son altos: 1,44 g.cm³⁻¹ en los primeros 5 cm, valor que a los 15 cm de profundidad se incrementa hasta 1,65 g.cm³⁻¹. Lo anterior se debe, en parte, al bajo contenido de materia orgánica, la escasa estructura y la compactación del suelo. Las características químicas del suelo también influyen en su susceptibilidad a la compactación.

En los suelos de la zona de estudio predominan los mesoporos (entre el 54,13 % y el 61,12 % de los poros con diámetros entre 3 y 100 µm), seguidos de los microporos (entre el 29,71 % y el 36,04 % con diámetros de 3 a 30 µm) y los macroporos (entre el 8,65 % y el 11,15 % con diámetros mayores a 100 µm).

En consecuencia, la disponibilidad de oxígeno es una limitante para las raíces de las plantas en todo el perfil del suelo, con excepción de la capa que se encuentra entre los 5 y los 10 cm de profundidad, que presenta una proporción de macroporos superior al 10 %. Hasta los 28 cm de profundidad, la textura de este suelo es franco-arcillo-limosa; entre los 28 y 127 cm es franca, y desde los 127 cm de profundidad en adelante es franco-arcillosa.

La humedad del suelo a capacidad de campo (CC) oscila entre el 21,71% y el 27,62%, y el punto de marchitamiento permanente (PMP) varía entre el 15,35% y el 20,27%, con agua aprovechable para las plantas entre el 5,80% y el 7,53% (el mayor valor corresponde a los primeros 5 cm de profundidad).

La conductividad hidráulica del suelo es moderadamente rápida en los primeros 5 cm de profundidad (9,84 cm.h⁻¹); moderada a los 10 y los 30 cm de profundidad (3,43 cm/h y 6,19 cm/h) y lenta a los 20 y 25 cm de profundidad (0,43 cm.h⁻¹ y 0,46 cm.h⁻¹, respectivamente). Este indicador, en conjunto con el de compactación (3,7MPa), señala que estos suelos son susceptibles a encharcarse en épocas de invierno, parámetros se deben tener en cuenta al diseñar sistemas de riego o de drenaje.

En resumen, de acuerdo con las características físicas descritas, los suelos de la altillanura son moderadamente aptos para el establecimiento de cultivos. Sus restricciones son susceptibles de mejorarse, mediante el empleo de sistemas de labranza que armonicen con las cualidades edáficas, climáticas y las posibilidades económicas de la región.

Tecnología generada e impactos sobre algunas propiedades físicas del suelo

El impacto de la tecnología en algunas características físicas del suelo se documenta con los resultados de dos proyectos: 1) Desarrollo de prácticas de manejo y conservación de suelos para el sistema de producción de maíz de la altillanura y 2) Establecimiento de indicadores de sostenibilidad edáfica y requerimientos nutricionales e hídricos del cultivo de soya Fase II.

Resistencia a la penetración

Los diferentes sistemas de labranza evaluados tuvieron un efecto positivo en la compactación, es decir, se disminuyó la fuerza de resistencia al desarrollo de raíces (menos de 1,25 MPa) y se favoreció el movimiento de agua y aire en el suelo. El impacto se observó hasta los 40 cm de profundidad y el valor es significativamente menor al hallado en los suelos de la sabana nativa (1,77 MPa).

Sin embargo, al finalizar los periodos productivos o ciclos vegetativos del cultivo, se encontró que el suelo tendía a retornar a su condición original (la resiliencia del suelo —la capacidad del sistema para volver a su condición original después de que las fuerzas disturbantes o las presiones han sido removidas—, es decir, retornaba a valores iguales o superiores a 1,25 MPa, que se considera una condición de suelo duro, que dificulta el crecimiento y el desarrollo de las raíces. Esta es una de las razones que explica la necesidad de preparar los suelos con frecuencia, antes de proceder a la siembra de un nuevo cultivo.

Densidad aparente y porosidad

El empleo de cualquiera de los sistemas de labranza contemplados en los proyectos impactó positivamente la densidad aparente en los primeros 10 cm de profundidad del suelo, pues los valores variaron entre 1,34 g/cm³ y 1,40 g/cm³. Al respecto es importante resaltar que estos valores son menores a los hallados en las sabanas nativas, los cuales, como ya se describió, oscilan entre 1,44 g/cm³ y 1,65 g/cm³. Puede concluirse, entonces, que la utilización de esta tecnología mejora esta característica física del suelo y, además, favorece transitoriamente el desarrollo de los cultivos.

Sin embargo, también cabe resaltar que a profundidades del suelo mayores a 10 cm, las diferentes labores de labranza no tienen un efecto significativo en esta característica, ya que los valores hallados (1,48 a 1,62 g.cm³⁻¹) son similares a los de sabana nativa (1,6 g.cm^{3p-1}), que corresponden a una densidad aparente alta.

La porosidad del suelo está estrechamente relacionada con la densidad aparente del suelo, es decir, la porosidad total disminuye con el incremento de la densidad. En ese orden de ideas, se encontró que, al inicio del estudio, la porosidad total disminuía con la profundidad del suelo, del 41,29% al 46,52% en los primeros 10 cm, y del 39,27% al 36,74% a los 30 cm.

Al respecto, es importante destacar que los suelos con menos del 45% de porosidad total se consideran marginalmente aptos para el establecimiento de cultivos, debido a las restricciones en el suministro de aire y de agua.

Al finalizar el estudio sobre prácticas de manejo y de conservación de suelos para el sistema de maíz, se halló que los implementos empleados para preparar el suelo tenían un efecto o impacto positivo en la densidad aparente y la porosidad total en los primeros 20 cm de la capa arable del suelo.

Por otro lado, al comparar los resultados alcanzados cuando se iniciaron los experimentos con el sistema productivo de soya —que mostraron los datos de densidad aparente (1,34-1,37 g.cm³⁻¹) y los de porosidad total (41,15 %-48,23 %) en los primeros 10 cm del suelo— y aquellos del muestreo final, se encontró un aumento de entre 1,36 y 1,57 g.cm³⁻¹ en la densidad aparente en la misma profundidad y una disminución de la porosidad total en valores promedio del 38 %.

En consecuencia, como lo señalan Almanza et al. (s. f), “se observó en general un deterioro de las condiciones físicas del suelo en todos los tratamientos”, además, “es notorio el acomodamiento del suelo para volver a las condiciones naturales de la sabana”.

Es importante resaltar que es necesario continuar con estos proyectos, ya que el periodo de ejecución y de recolección de información ha sido relativamente corto y en sitios específicos, y también porque las propiedades físicas de suelo son inestables. Asimismo, se requiere hacer un monitoreo y un manejo constante y adecuado para recuperarlas y conservarlas.

Impacto de la tecnología en algunas características físicas

Con el fin de valorar el efecto o impacto de la tecnología orientada a mejorar las propiedades físicas de los suelos de la altillanura, se utilizó la información recolectada durante la ejecución (de 2002 a 2005) de los proyectos que tenían como objetivo estudiar el efecto residual en las propiedades físicas del suelo de diferentes sistemas de labranza (arados de discos y de vertedera, rastra, cinceles vibratorios y rígidos, siembra directa y sabana nativa).

La evaluación del impacto (efecto residual) de los diferentes sistemas de labranza en algunas características se aborda con los resultados de las propiedades físicas del *Estudio detallado de suelos de la Estación Experimental Sabanas municipio de Puerto López, Meta* (Corpoica, 2002), como línea base, frente a aquellos de los proyectos con esa temática.

Conclusiones

La tecnología generada y empleada para mejorar las características de los suelos de la altillanura tuvo efectos positivos en la fertilidad de los suelos.

El impacto de la tecnología de encalado es positivo en el contenido de calcio, ya que en 1952 el 85,15 % de los suelos tenían un nivel bajo de calcio ($<0,40 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de Ca), frente al 5,62 % con el mismo nivel para 2011.

El porcentaje de suelos pobres en magnesio ($<0,20 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de Mg) descendió de un 82,26 % en el periodo 1952-1982, a un 21,32 % en el periodo 2002-2011.

El contenido de fósforo en los suelos pasó de $5,80 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $15,5 \text{ mg.kg}^{-1}$, en los periodos 1952-1982 y 2002-2011, respectivamente.

El contenido promedio de potasio se incrementó, pasando de Cmol.kg^{-1} de K a $1,3 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de K, en los periodos 1952-1982 y 2002-2011, respectivamente.

El contenido promedio de materia orgánica en el periodo 1952-1982 fue del 2,58 %, y en el periodo 2003-2011 del 3,1 %.

Al finalizar el periodo 1952-1982, los suelos contenían en promedio un 37,22 % de saturación de bases, y al finalizar el periodo 2003-2001 tuvo incrementos de hasta el 69 %.

La saturación de aluminio disminuyó sustancialmente: del 89,52 % de suelos con más del 60 % de saturación reportados en el periodo 1952-1982, pasó del 32,35 % al 4 % de suelos con más del 60 % de saturación en el periodo 2002-2011.

Es necesario considerar el hecho de que parámetros como la saturación de aluminio y los niveles de fósforo disponible aún presentan valores limitantes en un porcentaje importante de suelos, por lo cual se debe continuar con acciones de investigación y transferencia de tecnología, que permitirán incrementar los niveles de producción de los pastos, los cultivos permanentes y los semestrales de rotación que quieren establecerse en la altillanura plana del Meta.

Los diferentes sistemas de labranza tuvieron un efecto positivo sobre el movimiento del agua y aire del suelo, lo cual favoreció el desarrollo y producción de los cultivos. El efecto se manifestó en los primeros 10 cm de profundidad del suelo. Después de dos años de implementada la labranza, los resultados indican la tendencia de las características físicas de suelo a retornar a su condición inicial (resiliencia).

Es importante continuar con la ejecución de los proyectos de desarrollo de prácticas de manejo y conservación de suelos, así como de establecimiento de indicadores de sostenibilidad edáfica, ya que el periodo de ejecución y de recolección de información ha sido relativamente corto y en sitios muy específicos.

Este ejemplo de evaluación de impacto muestra claramente los efectos benéficos de la investigación y la innovación tecnológicas, que, integradas de forma continuada a los planes de transferencia de tecnología en una región del país, favorecen tanto la producción de cultivos como el ambiente.



Capítulo VI

Evaluación del impacto ambiental del uso de las enmiendas y las tecnologías de producción en la altillanura plana del Meta

Irma Baquero Haeberlin
María Margarita Ramírez Gómez
Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray

Introducción

En la presente evaluación se aplicó la metodología propuesta por la Oficina de Planeación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), basada en el esquema Ambitec-Agro, elaborado por la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Rodrigues, De Almeida, & Dias, 2010). Este esquema parte de la obtención de un conjunto de matrices diseñadas especialmente para que un grupo de expertos lleve a cabo la evaluación de impacto ambiental de la tecnología adoptada.

El grupo de expertos está conformado por evaluadores externos que conocen la tecnología y la región a la que se ha adaptado el esquema: investigadores involucrados en el proceso de adaptación de la tecnología e investigadores que no estén involucrados en dicho proceso, pero que cuentan con amplios conocimientos de investigación (Baquero & Ramírez, 2005; Nájar, 2004; Ramírez, Baquero, Nájar, Cardozo, & Ramírez, 2004; Stachetti, Campanhola, & Choji, 2002).

Debe anotarse que la metodología es flexible, en el sentido de que es posible modificar las matrices para evaluar procesos y efectos ambientales específicos que, por consenso, se identifican para la región y el tipo de tecnología o proceso evaluados.

Cada una de las matrices utilizadas en esta evaluación hace parte de uno de los cuatro componentes del medioambiente en los cuales tiene efecto la innovación tecnológica adoptada. A continuación se presentan esos cuatro componentes.

Cambio en el uso de los recursos naturales

Se evalúa el impacto en el uso de recursos naturales como resultado de la adopción de la tecnología, para lo cual se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- *Tasa de uso de agua y suelo:* se evalúa el cambio en el uso de agua, tanto de irrigación como de procesamiento, y el cambio en el uso de suelo por efecto de la tecnología adoptada.
- *Atmósfera:* se estima el efecto que la tecnología provoca en la atmósfera, debido a la alteración por partículas de humo, por quemas, por la labranza, la generación de olores (ocasionados por uso de diésel y herbicidas), el ruido, la emisión de gases de efecto invernadero, la generación de metano o el secuestro de CO₂. En este caso, se decidió incorporar efectos en la producción de CO y CO₂.
- *Fuentes de energía:* se evalúa el efecto producido por la tecnología adoptada, por el uso de combustibles fósiles (petróleo, gasolina, diésel y carbón mineral), el cambio en la biomasa (por la utilización de alcohol, leña, bagazo de caña y restos vegetales) y el cambio producido en el uso de electricidad.

Cambios en calidad y cantidad de recursos naturales

Se evalúa el impacto en la calidad y cantidad de recursos naturales como resultado de la adopción de la tecnología. Este componente involucra los siguientes aspectos:

- *Capacidad productiva del suelo:* se evalúa el efecto de la tecnología en relación con la variación de la erosión, la pérdida de materia orgánica,

pérdida de nutrientes, contaminación, compactación y salinización del suelo. En este caso, se incluyeron los efectos de la tecnología en la capacidad de retención de humedad, la saturación de bases y la acidez.

- *Agua*: se evalúa el efecto de la tecnología adoptada en la demanda bioquímica de oxígeno, turbidez, espuma, combustibles o materiales flotantes, sedimento o contaminación por plaguicidas o por cambio en el pH del agua.
- *Biodiversidad*: se evalúa el efecto sobre la pérdida de vegetación nativa, de corredores biológicos, de especies y de variedades; la competencia, agresividad o alelopatía, y la resistencia a herbicidas.

Cambio en el uso de insumos

Se evalúa el cambio en el uso de la frecuencia de aplicación, cantidad aplicada, toxicidad y residualidad resultante, a través de las modificaciones en el uso de fungicidas, insecticidas y herbicidas; así como el cambio en el uso de fertilizantes con respecto a la cantidad de NPK hidrosoluble, enmiendas, micronutrientes, toxicidad y residualidad.

Recuperación ambiental

Se evalúa la capacidad de efectividad de la tecnología adoptada en el proceso de recuperación de los suelos degradados, ecosistemas degradados, áreas de conservación permanente y zonas de reserva legal.

Para cuantificar los efectos de los aspectos evaluados dentro de cada componente descrito anteriormente, se tuvieron en cuenta cinco indicadores, cada uno de los cuales involucra una escala de calificación, como se describe en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Indicadores de evaluación de impacto ambiental y su escala de medición

Indicador	Escala
Dirección del impacto	Aumenta: 1 Igual: 0 Disminuye: -1
Magnitud	Baja: 1 Media: 2 Alta: 3
Extensión (área de influencia)	Lote: 1 Finca: 2 Región: 3
Persistencia (permanencia del impacto)	Fugaz: 1 Temporal: 2 Permanente: 3
Reversibilidad	Corto plazo: 1 Mediano plazo: 2 Largo plazo: 3 Irreversible: 4 Irrecuperable: 5

Fuente: Stachetti et al. (2002)

Cada aspecto descrito en cada componente se despliega en una matriz. Para obtener un indicador del efecto total de la tecnología sobre el medioambiente, se procede a efectuar una multiplicación de los resultados de la calificación obtenida para cada aspecto a nivel de la columna dentro cada matriz.

De acuerdo con la definición del aspecto que va a evaluarse, el efecto resultante será positivo, negativo o cero. Por último, la sumatoria de las multiplicaciones obtenidas en el nivel de la columna (que indica una característica del aspecto evaluado) da como resultado el impacto final o el indicador de sostenibilidad.

$$\text{Indicador sostenibilidad} = \sum_{\text{características}} \prod \text{indicadores}$$

Con el fin de realizar la evaluación del impacto de las tecnologías de producción en la altillanura colombiana, se llevó a cabo un consenso con informantes clave en el Centro de Investigación La Libertad. A la reunión asistieron representantes de los diferentes sectores de la producción agropecuaria de la región, además

de investigadores de AGROSAVIA, del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), de representantes gremiales y de productores agropecuarios.

Como se señaló anteriormente, en el análisis se utilizó la metodología diseñada por la Oficina de Planeación de AGROSAVIA, la cual califica, de manera consensuada, los diferentes impactos de la tecnología evaluada en el uso de los recursos naturales, los cambios en la cantidad y calidad de recursos naturales, los cambios en el uso de insumos y la recuperación ambiental. Por consenso, entonces, se determinó que la tecnología que se evaluaría fuera el uso de enmiendas en la altillanura colombiana.

A continuación se describen: 1) la metodología utilizada, 2) la tecnología de producción evaluada comparada con la situación sin ella, 3) las calificaciones que se dieron a la tecnología, por intensidad de uso y por modificación de recursos naturales, 4) el cambio en el uso de insumos y 5) los efectos en el ambiente y las zonas especiales.

Definición de las tecnologías de suelo a evaluar

La primera parte del consenso se dedicó a definir la tecnología a evaluar. No solo se buscaba que se estuviera utilizando en la región, sino también que hubiera sido especialmente importante en el desarrollo de la agricultura en la altillanura. Se decidió realizar el estudio sobre la utilización de enmiendas.

De manera consensuada se estableció la línea base. No era posible hacer agricultura en la altillanura sin una aplicación de enmiendas para corregir la alta acidez ($\text{pH} < 4,5$), la alta saturación de bases (alrededor del 30%) y alta saturación de aluminio (aproximadamente el 70%). En el pasado había una ganadería extensiva sobre pastos naturales, con quemas periódicas.

La tecnología de enmiendas consiste en la aplicación de dos a cuatro toneladas de cal dolomita (u otras fuentes de cal) incorporadas con cincel, dosis que se modifica en cada ciclo de cultivo. La meta es emplear enmiendas para lograr un 50% de saturación de bases. La tecnología estuvo acompañada de la innovación de variedades tolerantes a la acidez de los suelos, incluyendo maíz, arroz, soya y pastos (tabla 6.2).

Tabla 6.2. Tecnologías evaluadas para el manejo de suelos

Situación	Descripción de la tecnología de producción
Sin proyecto	Ganadería extensiva. No es posible la producción agrícola.
Tecnología convencional	
Con proyecto	Aplicación de dos a cuatro toneladas de cal dolomita, hasta lograr un 50 % de saturación de bases. Los ciclos posteriores se ajustan.
Enmiendas	Variedades tolerantes a la acidez: maíz, soya, arroz y pastos

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del taller de evaluación de impacto ambiental

Resultados de la evaluación del impacto ambiental

Estos resultados indican la intensidad del uso de recursos, los cambios en la calidad y cantidad de recursos que se atribuyen a la tecnología de uso de enmiendas en la altillanura colombiana.

Cambio en el uso de recursos naturales

El consenso identificó un incremento positivo en el uso del suelo, pues la tecnología permitió la introducción de la agricultura en la zona, lo que propició su uso económico más intensivo. Este efecto tiene un índice de impacto positivo alto, ya que, aunque la extensión se mantiene dentro de las fincas, su magnitud es grande, es permanente y se revierte solo en el largo plazo. No se identificaron efectos en intensidad de uso de agua para irrigación o procesamiento.

Cambio en la calidad y cantidad de la atmósfera

El consenso determinó diversos efectos de la tecnología en la atmósfera, la mayoría de ellos con un muy bajo índice. La actividad afecta la atmósfera con partículas de cal durante su laboreo y con el ruido y la contaminación por combustión de diésel de la operación de la maquinaria utilizada para su aplicación e incorporación. Estos efectos tienen una baja magnitud, se confinan al lote, son fugaces y son revertidos rápidamente (figura 6.1).

No sucede lo mismo con la emisión de gases efecto invernadero, ya que la cal propicia reacciones químicas que producen CO_2 . Se consideró que la producción de este gas efecto invernadero es de mediana magnitud, pero su efecto sobrepasa la región, su persistencia es permanente y se podría revertir en un mediano a largo plazo. Por su parte, el impacto de la tecnología por producción de CO recibió una baja calificación. Todos los efectos son negativos para el medioambiente (figura 6.1).

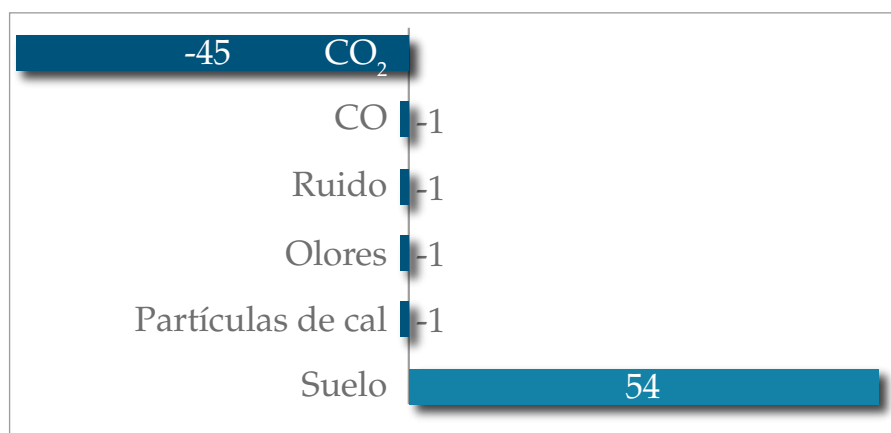


Figura 6.1. Impacto ambiental del cambio en el uso, calidad y cantidad de los recursos naturales (atmósfera).

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del taller de evaluación de impacto ambiental

Cambio en calidad y cantidad del recurso suelo

El grupo de trabajo llegó fácilmente a un consenso sobre el efecto benéfico de la tecnología sobre la calidad de los suelos, en particular, en su habilitación para ser aprovechados en agricultura. Los efectos más evidentes son sobre la saturación de bases y acidez, dado que ambos son limitantes actuales para el uso agrícola de los suelos de la altillanura.

El efecto de las enmiendas en la saturación de bases se calificó como alto; con un impacto a nivel de lote, sus efectos son permanentes y se pueden revertir en el mediano a largo plazo. Por su parte se calificó el efecto sobre el pH como de baja magnitud e igualmente con efectos permanentes en el lote. Su reversibilidad es de mediano a largo plazo.

Las enmiendas tienen efectos positivos sobre la capacidad de retención de humedad, los nutrientes disponibles para la planta y la materia orgánica. Todos estos son efectos a nivel de lote con una duración apenas temporal. Los efectos sobre la materia orgánica son de medio a altos, pero son fácilmente reversibles. Los efectos sobre los nutrientes son de magnitud media a alta y su reversibilidad es de largo plazo. Los efectos sobre capacidad de retención de agua son altos y su reversibilidad es de largo plazo, por lo que obtuvo los mayores puntajes.

El sistema analizado tiene un efecto negativo sobre el suelo: aumenta la erosión, efecto que fue calificado con magnitud media, con impacto solo sobre el lote, duración temporal y efectos irreversibles en la zona (figura 6.2).

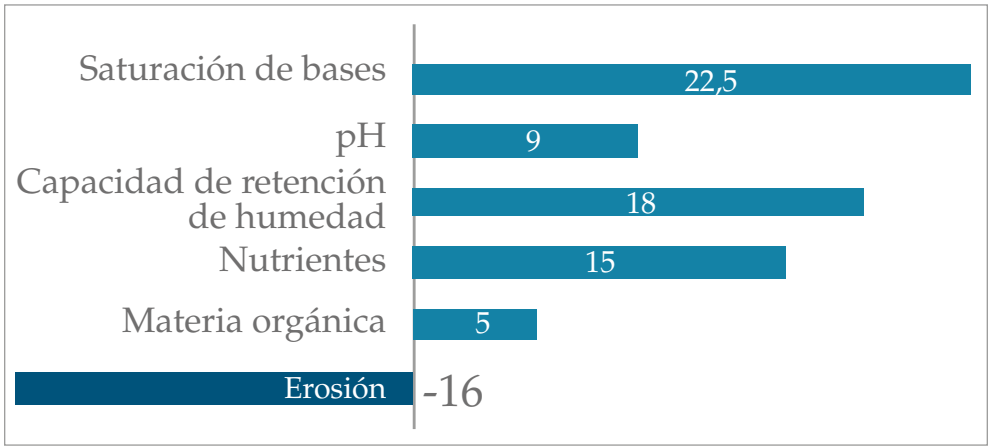


Figura 6.2. Impacto ambiental del cambio en la cantidad y la calidad de los recursos naturales (suelo).

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del taller de evaluación de impacto ambiental

Cambio en calidad y cantidad del recurso agua

De acuerdo con el consenso realizado, en términos generales, las enmiendas tienen efectos negativos en la calidad y la cantidad del recurso agua (figura 6.3).

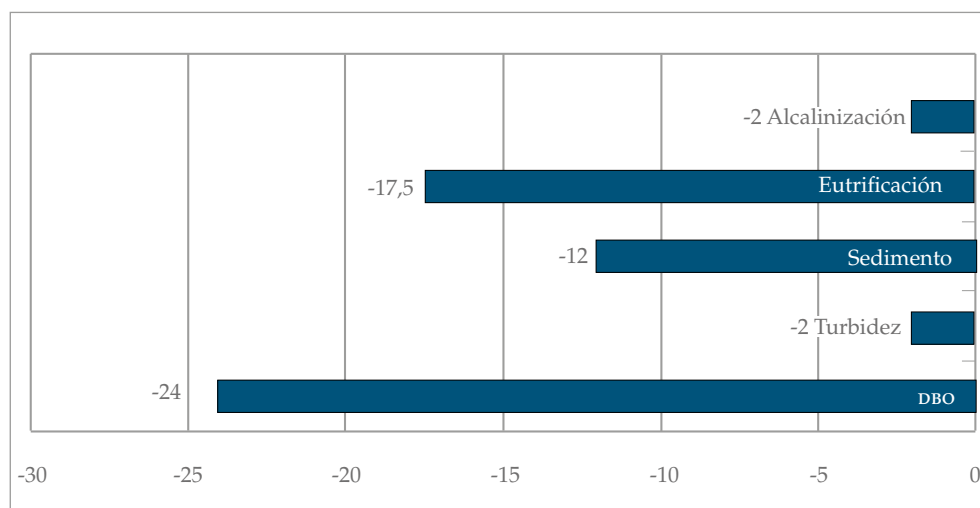


Figura 6.3. Impacto ambiental sobre el cambio en la cantidad y calidad de los recursos naturales (agua).

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del taller de evaluación de impacto ambiental

El efecto de las enmiendas en la alcalinidad del agua tiene una baja calificación porque tiene baja magnitud y persistencia, así como rápida reversibilidad. Sin embargo, se informó acerca de la necesidad de realizar estudios sobre el impacto en el pH del agua y su posible efecto sobre los sistemas ictiológicos de la región. De la misma manera, las enmiendas tienen un bajo índice en la turbidez del agua, pues sus efectos son pequeños, de corta duración y altamente reversibles.

El consenso otorgó una mayor calificación a la sedimentación causada por el sistema productivo con enmiendas, ya que es de baja magnitud, se limita a la finca y es temporal, pero su reversión solo ocurre en el largo plazo. El índice más alto se otorgó a la contaminación orgánica del agua, con incrementos medios en la demanda, con extensión regional y persistencia temporal, aunque se pueden revertir en el mediano plazo.

Cambios en biodiversidad

El consenso otorgó los puntajes más negativos a los efectos de la tecnología en la biodiversidad. En este punto es importante recordar que la tecnología de enmiendas, en conjunto con las variedades resistentes a la acidez, han dado inicio a un importante fenómeno de ampliación de la frontera agrícola de la región.

Áreas que estaban improductivas, dedicadas a una ganadería extensiva o fungiendo como ecosistemas protectores de la fauna, la flora y los recursos hídricos e ictiológicos, han sido transformadas por la agricultura. Este fenómeno ha sido rápido y de gran extensión, de tal forma que se vislumbra su continuidad, pues se incorporan nuevas áreas de sabana nativa a la producción agropecuaria.

Conclusiones

La aplicación de la metodología de evaluación de impacto ambiental muestra un importante efecto negativo de la tecnología de incorporación de enmiendas en la altillanura, con un puntaje total de -331.

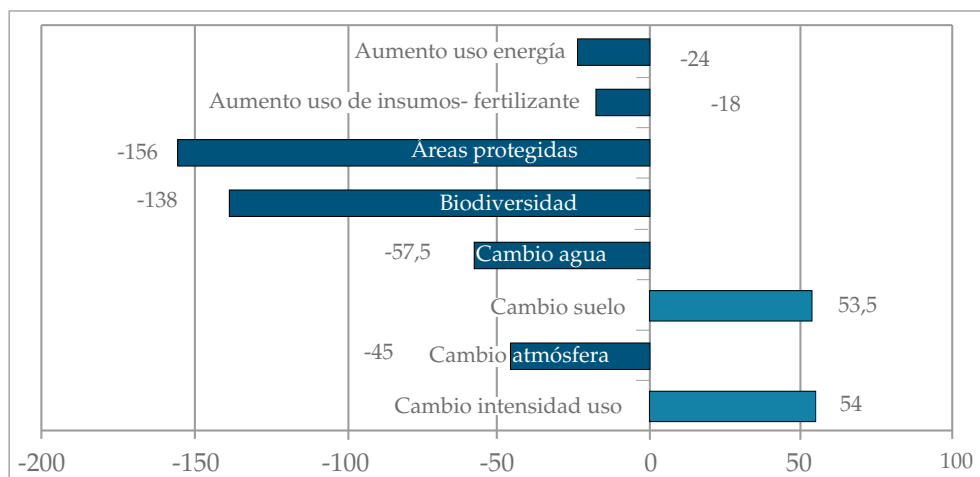


Figura 6.4. Impacto ambiental de la tecnología evaluada.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del taller de evaluación de impacto ambiental

Dentro de la evaluación, se reconocieron dos efectos ambientales positivos de la tecnología: el cambio en la intensidad de uso del suelo (54 puntos) y el aumento en la calidad y la cantidad del suelo (53,5 puntos). Estos puntajes reconocen la importancia de la tecnología para superar las limitaciones de los suelos ácidos para su uso agrícola.

Los efectos negativos más importantes son los relacionados con los impactos sobre biodiversidad (-138 puntos) y áreas protegidas (-156), esto, a pesar de que se identificaron importantes efectos positivos. Los puntajes que más influyeron de manera negativa en la biodiversidad son los relacionados con la pérdida de corredores biológicos (-63) y la pérdida de variedades (-63). En menor grado, se encuentran la pérdida de vegetación nativa (-27), y las alelopatías y la competencia (-1).

Los impactos positivos se concentran en la adaptación de especies a los nuevos registros de acidez del suelo (12 puntos) y la incorporación de variedades adaptadas a los suelos ácidos (4).

La magnitud, persistencia, extensión y largo plazo (o imposibilidad de revertir los efectos negativos) inciden fuertemente en la categoría de áreas especiales. Se afectan de manera negativa las áreas de comunidades indígenas (-108 puntos), de sistemas naturales (-81) y los morichales en las áreas de conservación permanente (-48). Esto, a pesar, de que hay un importante efecto (81) en la recuperación de suelos para la producción agrícola.

Hay efectos negativos en calidad de agua y atmósfera, en especial, en producción de CO₂, gas de efecto invernadero y en posibles efectos del cambio del pH del agua y sus efectos sobre los ecosistemas acuáticos.

Resulta de gran importancia realizar análisis de impactos, para determinar los efectos positivos y negativos del uso de una tecnología. En el caso de estudio, se están considerando los efectos sobre el medioambiente. Debido a que se está evaluando la incorporación de un área nueva de producción en un ecosistema frágil, los efectos negativos pueden ser de mayor magnitud, por el cambio drástico que sufre el ambiente cuando hay una transición de un ecosistema a un agroecosistema, que, aunque en una primera fase pueda tener una intervención antrópica leve, con el pasar del tiempo su acción se va intensificando sobre el medio.

Vale la pena anotar que el efecto económico se realizará en otra parte del trabajo y que se deben tener en cuenta los aspectos positivos y negativos de una tecnología. El cambio de uso de la tierra ha sido rápido en esta zona del país, y se debe empezar a evaluar y aplicar tecnologías que permitan preservar el medio, su diversidad y la calidad de los recursos naturales, para minimizar la degradación del ambiente.





Capítulo VII

Evaluación del impacto y los retornos sociales de la investigación y desarrollo de tecnología para pastos y otros cultivos adaptados a la altillanura plana del Meta

Carolina González Rojas
Salomón Pérez Suárez
Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray
Roger Alonso Bautista Cubillos

Introducción

Desde 1994, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) ha trabajado en la altillanura plana de la Orinoquía, con el objetivo de sustituir la sabana nativa con pasturas mejoradas y otros cultivos que se puedan adaptar a las condiciones climáticas y de suelos de la zona, como el arroz, el maíz y la soya.

En el caso de las pasturas mejoradas y del arroz, se dio continuidad a trabajos previos, adelantados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), mientras que en el caso del maíz y la soya AGROSAVIA generó materiales genéticos y conjuntos de recomendaciones agronómicas que fueron introducidas especialmente entre finales de los noventa y comienzos la década de los dos mil.

De acuerdo con la información recopilada por AGROSAVIA, las pasturas mejoradas en la altillanura del Meta han permitido un nivel de rendimiento en ganaderías bovinas de 270 kilogramos de carne/ha/año, nivel muy superior a los 32,4 kg/ha/año alcanzados en las condiciones tradicionales de la sabana nativa.

En el caso del maíz, en las sabanas mejoradas se logran rendimientos de 6 t/ha, en soya 2,7 t/ha y en arroz secano mecanizado 4,5 t/ha. Antes, estos cultivos eran prácticamente inexistentes en la región, por su poca adaptabilidad a las condiciones de acidez, de baja saturación de bases y de alta saturación de aluminio características de la región.

Con el objetivo de evaluar el impacto económico que ha tenido la introducción de estas tecnologías, así como su rentabilidad social, a través de su impacto en las condiciones de mercado de cada uno de estos productos a nivel nacional, se aplicó el enfoque de excedentes económicos, mediante el uso del modelo de análisis de excedentes económicos (Modexc) desarrollado por el CIAT (Rivas, García, Seré, Jarvis & Sanint, 1992) y el Dynamic Research Evaluation for Management (Dream), y realizado por el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (Ifpri) (Wood & Baixt, 1998).

Enfoque metodológico de excedentes económicos

El modelo está basado en la teoría marshalliana de excedentes económicos. El desplazamiento de las curvas de oferta (S_o) hacia la derecha (S_1) produce excedentes económicos tanto para los productores como para los consumidores.

Este desplazamiento puede ser consecuencia de un cambio en la tecnología de producción, como ocurre cuando se introduce una variedad mejorada o nuevos sistemas de producción, que reducen los costos o incrementan la productividad. Este es el caso en el que se enfoca la presente evaluación.

Los consumidores ganan al consumir una mayor cantidad (Q_1) a un precio menor (P_1), situación representada por el área $P_o P_1 E_o E_1$; las ganancias de los productores están relacionadas con la reducción de costos y representadas por el área MFE_1 ; las pérdidas por reducción de precios, por el área $P_o E_o FP_1$; y, finalmente, los excedentes netos de los productores (ENP) se definen como $MFE_1 - P_o E_o FP_1$.

$$\text{Si } MFE_1 > P_o E_o FP_1 \implies ENP > 0$$

$$\text{Si } MFE_1 < P_o E_o FP_1 \implies ENP < 0$$

El excedente neto social está representado por el área $ME_o E_1$ (Rivas et al., 1992).

El nivel y la distribución de los excedentes entre productores y consumidores están determinados en gran medida por la naturaleza del desplazamiento de las curvas de oferta y demanda, de sus elasticidades de precio y del precio mínimo de oferta (Alston, Norton, & Pardey, 1998; Rivas et al., 1992).

En el caso específico de los cultivos introducidos en la altillanura, se definieron las siguientes funciones:

Función de oferta

Ecuación 7.1

$$S_i = cK_1 \left(K_2 P_i - \frac{m}{K_3} \right)^d$$

Ecuación 7.2

$$d = \frac{e_{s,p} (P_i - m)}{P_i}$$

Ecuación 7.3

$$c = \frac{Q_i}{(P_i - m)^d}$$

Función de demanda

Ecuación 7.4

$$D_i = \beta P_i^\eta$$

$i = 0$ indica los valores para los mercados de estos cultivos antes de su implementación en la altillanura; $i = 1$ indica los valores después del cambio. Ahora bien, igualando la ecuación 7.3 y la ecuación 7.4, se obtienen el precio y las cantidades de equilibrio.

Condición de equilibrio por producto

Ecuación 7.5

$$S_i = D_i$$

Donde:

S_i	Cantidad oferta
D_i	Cantidad demanda
K	Factor de desplazamiento de la oferta nacional de cada producto, debido a su introducción en la altillanura
P	Precio del producto
Q	Cantidad producida
m	Precio mínimo, a partir del cual los productores de cada producto o cultivo están dispuestos a producir, es decir, el precio que cubre los costos variables
c, d, β	Son constantes
$e_{(s,p)}, \eta$	Elasticidad precio de la oferta y elasticidad precio de la demanda de cada uno de los productos o cultivos

La literatura indica que el proceso de adopción sigue un patrón de comportamiento de tipo logístico (Griliches, 1957), que se caracteriza por tener una fase inicial con bajas tasas de adopción, las cuales se van incrementando a medida que los agricultores conocen más sobre la tecnología, de acuerdo con los resultados de los *primeros adoptantes* (tal vez aquellos con una mayor propensión al riesgo). Finalmente, cuando el proceso de difusión alcanza su punto máximo, la tasa de adopción se incrementa en tasas cada vez más bajas o incluso experimenta un proceso de desadopción u obsolescencia (Rivas, 2002).

El proceso de difusión de la tecnología provocaría un desplazamiento de la curva de oferta de mercado (medido a través del factor K), lo que genera un nuevo punto de equilibrio $E_1 (P_1, Q_1)$.

Se puede aproximar el cambio en el bienestar de los actores del mercado gracias a la tecnología, a través de los excedentes para el productor y el consumidor. Así, pues, si se integra lo que se refiere al precio y se asume que no hay cambios autónomos, de acuerdo con el modelo de Rivas et al. (1992), se obtiene que el excedente del productor está dado por:

Ecuación 7.6

$$\int_{m_1}^{P_1} c K_1 \left(K_2 P_1 - \frac{m}{K_3} \right)^d dP - \int_m^{P_0} c (P_0 - m)^d dP =$$

Ecuación 7.7

$$\frac{c}{d+1} \left(\frac{K_1}{K_2} \left(K_2 P_1 - \frac{m}{K_3} \right)^{(d+1)} - (P_0 - m)^{(d+1)} \right)$$

Y el excedente del consumidor está dado por:

Ecuación 7.8

$$\int_{P_1}^P \beta P^\eta dP = \frac{Q_0}{(P_0^\eta (\eta+1))} (P_0^{(\eta+1)} - P_1^{(\eta+1)})$$

Teniendo en cuenta que se trata una evaluación *ex post*, para llevar a cabo este análisis es importante considerar algunos supuestos sobre los parámetros, según cada uno de los dos modelos:

- Las curvas de oferta y demanda son no lineales y de elasticidad constante (CES), en el caso de Modexc. En Dream, las curvas son lineales y las elasticidades pueden ser variantes.
- El supuesto de economía abierta y pequeña para el mercado de todos los productos, con excepción del de carne, se consideró pertinente, ya que sus respectivas cadenas han estado vinculadas al comercio internacional. En el caso de la carne, se trabajó como economía cerrada.
- En Modexc, el desplazamiento de la curva de oferta es horizontal, como respuesta al cambio tecnológico. Esto implica un aumento explícito de la producción y una reducción implícita de los costos. En el caso de Dream, el desplazamiento es vertical, mostrando una reducción explícita en los costos de producción y un aumento implícito de la producción.
- Los desplazamientos de la curva de oferta solo se producen por cambios tecnológicos, en este caso, la introducción de pasturas mejoradas. Modexc permite tres tipos de desplazamientos de la curva de oferta, mientras que en Dream el desplazamiento paralelo solo es factible.
- El cambio en el excedente total es una medida del cambio en el bienestar social.

Diferencias entre Modexc y Dream

Modexc y Dream son dos aplicaciones que permiten calcular y analizar los beneficios derivados de un cambio tecnológico, medidos como los excedentes económicos de productores y consumidores. Con base en estos excedentes y en los costos de investigación y desarrollo de las tecnologías evaluadas, se estiman los indicadores de rentabilidad social de la inversión en estas tecnologías, como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio/costo (B/C).

El sistema de ecuaciones sobre las cuales trabaja Modexc se basa en el desarrollo matemático planteado por Pachico, Lynam y Jones (1987), que emplea funciones de oferta no lineales y de elasticidad constante, lo que permite un intercepto del precio positivo, por debajo del cual no hay producción. Este enfoque permite dar un mayor realismo al modelo que aquel que se obtendría si se emplean curvas de oferta lineales, como lo hace la mayoría de estudios de este tipo (Alston et al., 1998).

En el caso de Dream, se utiliza este tipo de curvas lineales, por lo que el desplazamiento de la curva de oferta es siempre similar, mientras que con Modexc se pueden especificar tres tipos de desplazamientos: pivotal, divergente y convergente.

Por otra parte, Modexc trabaja con desplazamientos horizontales de la curva de oferta, lo que refleja un aumento en la producción, como en el caso del presente análisis; mientras que Dream trabaja con desplazamientos verticales, lo que refleja una reducción de costos de producción.

Además, Dream permite hacer análisis de efectos en *spillovers*, así como evaluar los efectos en los mercados en tres niveles (productor, consumidor y servicios) y en multimercado horizontal, mientras que en Modexc estos análisis solo son posibles para economía abierta y cerrada.

Parámetros y supuestos

Para correr el modelo de excedentes económicos tanto en Modexc como en Dream, se utilizaron parámetros económicos que caracterizaban la situación de los mercados de los diferentes productos evaluados a través tiempo,

después de la introducción del cambio tecnológico. En ese orden de ideas, se definió un horizonte de análisis de once y veinte años, a partir del año de introducción de cada tecnología, 1990 en el caso de las pasturas mejoradas para carne y 2000 en el de los otros tres cultivos. Los precios y costos fueron introducidos a precios constantes de 2010 (tabla 7.1).

Tabla 7.1. Parámetros económicos

Tecnologías evaluadas	Precio mínimo (\$/t) (1999)*	Cantidad inicial (t) (1999)	Precio inicial (\$/t) (1999)*	Nivel de adopción año 1 (2000)	Nivel de adopción año 2 (2011)	Observaciones
Carne	2.803.000	691.676	3.625.000	2,61 %	6,64 %	Tasa de adopción regional de AGROSAVIA, multiplicada por el peso del área regional en la producción de carne en el área total del país
Arroz	619.935	2.362.405	792.927	0,28 %	3,39 %	Tasa de adopción regional de AGROSAVIA, multiplicada por el peso del área regional en arroz en el área total del país
Maíz	562.500	371.893	734.468	0,01 %	0,20 %	Tasa de adopción regional de AGROSAVIA, multiplicada por el peso del área regional de maíz tecnificado en el área total del país
Soya	515.788	39.429	1.087.964	0,17 %	3,16 %	Tasa de adopción regional de AGROSAVIA, multiplicada por el peso del área regional de soya en el área total

Nota: El año inicial para todas las tecnologías es 1999, con excepción de las pasturas mejoradas (carne), cuyo año inicial es 1989.

Fuente: Elaboración propia

También se obtuvo información sobre parámetros técnicos que identifican la magnitud del desplazamiento de la función de oferta y el comportamiento de la curva de adopción. Los cambios en las curvas de oferta y demanda, por motivos ajenos al cambio tecnológico, se denominan cambios autónomos. En el caso de la demanda y de la oferta nacional, se estimó la tendencia del consumo autónomo y de la producción en el periodo anterior a la introducción de la tecnología.

Por otro lado, no hay evidencia suficiente que indique que, en la escala de tiempo considerada aquí, se produzca un proceso de desadopción de la tecnología, por lo que no se considera dentro del modelo.

En el caso del Modexc (medido a través del factor de desplazamiento K_2), el proceso de difusión de la tecnología provoca un desplazamiento de la curva de oferta del mercado. En este caso, se utilizó un tipo de desplazamiento divergente, ya que el paquete tecnológico causará una mayor reducción de costos a los productores que tienen un nivel más alto de producción. Para Dream no se especifica, por las razones mencionadas anteriormente.

Los diferentes niveles de protección de los tres productos analizados, enmarcados en una pequeña economía abierta, fueron especificados con base en información obtenida de los análisis de cadenas realizados por el Observatorio Agrocadenas Colombia y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (Espinal, Martínez, & Acevedo, 2005). Los datos se reflejan en la tabla 7.2.

En lo que se refiere al Modexc, este indica el nivel de protección sobre el cual debe subir el precio interno respecto al internacional para permitir importaciones. En Dream se especifica como un subsidio del gobierno.

Tabla 7.2. Proceso de desadopción de la tecnología

Tecnologías evaluadas	Cambio en el rendimiento	Cambio en el costo	Magnitud de desplazamiento (K)	Tasa de crecimiento autónomo de la oferta	Tasa de crecimiento autónomo de la demanda	Precio internacional (US\$/t)	Tendencia del precio internacional	Protección
Arroz	20 %	-7,23 %	0,88	2,93 %	2,93 %	927.272	-0,05 %	41 %
Maíz	50 %	-37,85 %	0,27	13,65 %	13,65 %	404.534	-0,66 %	18 %
Soya	8 %	-45,87 %	1,65	2,5 %	2,5 %	793.050	-0,001 %	8 %
Carne	733 %	-13,27 %	4,77	2,29 %	2,29 %	Economía cerrada		
Fuente	AGROSAVIA	AGROSAVIA	Estimaciones basadas en datos de AGROSAVIA	Estimaciones basadas en datos de AGROSAVIA	Estimaciones basadas en datos de AGROSAVIA	Agronet	Cálculos basados en datos de Agronet	Agrocadenas

Fuente: Información suministrada por AGROSAVIA, la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario de Colombia (Agronet) y el Observatorio Agrocadenas Colombia

La información de costos de investigación y desarrollo corresponde al lapso que va de 1980 a 2008 y fue suministrada por AGROSAVIA y el CIAT, en pesos colombianos constantes a 2010 (tabla 7.3). En promedio, durante este periodo las inversiones de AGROSAVIA constituyeron el 32,68 %, pero, si se tiene en cuenta la contribución del ICA en el periodo 1980-1993, la inversión total de AGROSAVIA asciende al 42,77 %, factor que se tuvo en cuenta para determinar su participación en los beneficios, como se analizará más adelante.

En el cálculo por productos, las participaciones en estas inversiones fueron del 50 % para carne, del 18 % para soya, del 17 % para maíz y del 15 % para arroz. Con base en estas participaciones, se definieron las inversiones en investigación y desarrollo (I+D) por producto, aunque las inversiones del periodo 1980-1989 solo corresponden a carne.

Tabla 7.3. Inversión en investigación y desarrollo de tecnología agropecuaria para la altillanura, por fuente de financiamiento (1998-2008) (pesos corrientes)

Año	Total de la inversión en I+D+i	AGROSAVIA	ICA	MADR y CIAT	MADR	Otros
1980	\$438.354.000		\$175.341.600	\$87.670.800	\$175.341.600	
1981	\$438.354.000		\$175.341.600	\$87.670.800	\$175.341.600	
1982	\$438.354.000		\$175.341.600	\$87.670.800	\$175.341.600	
1983	\$438.354.000		\$175.341.600	\$87.670.800	\$175.341.600	
1984	\$438.354.000		\$175.341.600	\$87.670.800	\$175.341.600	
1985	\$438.354.000		\$175.341.600	\$87.670.800	\$175.341.600	
1986	\$566.832.000		\$226.732.800	\$113.366.400	\$226.732.800	
1987	\$566.832.000		\$226.732.800	\$113.366.400	\$226.732.800	
1988	\$566.832.000		\$226.732.800	\$113.366.400	\$226.732.800	

(Continúa)

(Continuación tabla 7.3)

Año	Total de la inversión en I+D+i	AGROSAVIA	ICA	MADR y CIAT	MADR	Otros
1989	\$566.832.000		\$226.732.800	\$113.366.400	\$226.732.800	
1990	\$566.832.000		\$226.732.800	\$113.366.400	\$226.732.800	
1991	\$339.889.200		\$135.955.680	\$67.977.840	\$135.955.680	
1992	\$339.889.200		\$135.955.680	\$67.977.840	\$135.955.680	
1993	\$339.889.200		\$135.955.680	\$67.977.840	\$135.955.680	
1994	\$339.889.200	\$135.955.680		\$67.977.840	\$135.955.680	
1995	\$339.889.200	\$135.955.680		\$67.977.840	\$135.955.680	
1996	\$792.291.500	\$316.916.600		\$158.458.300	\$316.916.600	
1997	\$730.639.000	\$292.255.600		\$146.127.800	\$292.255.600	
1998	\$748.178.325	\$374.089.163		\$374.089.163		
1999	\$948.424.352	\$474.212.176		\$474.212.176		
2000	\$107.366.733	\$53.683.367			\$53.683.367	
2001	\$3.457.337.159	\$1.745.904.848		\$975.534.962	\$670.078.662	\$65.818.687
2002	\$663.383.887	\$331.691.944		\$25.985.083	\$305.706.861	
2003	\$766.048.703	\$357.167.563		\$357.167.563		\$51.713.577

(Continúa)

(Continuación tabla 7.3)

Año	Total de la inversión en I+D+i	AGROSAVIA	ICA	MADR y CIAT	MADR	Otros
2004	\$784.068.831	\$331.998.201			\$344.791.299	\$107.279.331
2005	\$997.994.274	\$188.698.956		\$272.135.055		\$537.160.263
2006	\$504.903.861	\$252.451.930		\$126.225.965		\$126.225.965
2007	\$5.816.121.280	\$2.422.789.618			\$1.570.876.379	\$1.822.455.283
2008	\$2.230.908.021	\$988.405.384		\$1.089.021.087		\$153.481.550
Total	\$25.711.395.926	\$8.402.176.710	\$2.593.580.640	\$5.431.703.154	\$6.419.800.768	\$2.864.134.656

Fuente: Información suministrada por AGROSAVIA y el CIAT

Análisis y resultados

Los análisis y resultados de datos son expresados mediante dos herramientas: Modexc y Dream.

Resultados de Modexc

Usando como base los parámetros especificados anteriormente, se estimaron los excedentes económicos que la introducción de esta tecnología en la altillanura colombiana generó para la sociedad. Estos excedentes provienen de la mayor producción disponible en el mercado, los menores precios, derivados de esta mayor oferta y los menores costos de producción, gracias a la tecnología.

La introducción de la tecnología benefició a los productores de los cuatro mercados (excepto los de soya), en especial, los de maíz y carne, quienes obtuvieron beneficios superiores a los dos billones de pesos, gracias a la reducción en los costos de producción y la mayor productividad.

En el caso de la soya, dada la simulación del comportamiento del mercado que realiza el modelo con base en los parámetros especificados, la reacción a la baja del precio (causada por la mayor producción en el mercado) fue más significativa que la reducción en los costos de producción generada por la tecnología.

Por esta razón, finalmente el productor aparece perdiendo algo más de 149.000 millones de pesos por la tecnología, aunque en realidad se debe, en mayor medida, a las características del mercado, que determina la forma en que reaccionan los precios a la mayor oferta. Si se suman los excedentes logrados por las tecnologías, así como los generados por factores autónomos, se obtiene que los productores alcanzan beneficios positivos en todos los mercados.

Tabla 7.4. Excedentes económicos para el productor por la introducción de arroz, maíz, soya y pasturas mejoradas (millones de pesos de 2010) (modelo Modexc)

Tecnología	Excedentes para el productor		
	Total	Por tecnología	Por otros factores
Arroz	4.012.455	1.611.297	2.401.158
Maíz	2.201.756	2.270.996	-509.240
Soya	81.170	-149.017	67.847
Carne	5.310.136	2.154.795	3.155.340
Todos los productos	11.443.178	6.328.072	5.115.106

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los excedentes para el consumidor, que provienen de su posibilidad de comprar mayores cantidades del producto a un mismo precio o a uno menor, gracias a la introducción de la tecnología, estos son positivos en todos los productos, con excepción del arroz. Los consumidores de maíz y de carne son quienes reciben mayores beneficios: más de tres billones de pesos para maíz y de 1,8 billones para carne (tabla 7.5).

En el caso del arroz, estos excedentes son negativos, posiblemente debido a que el precio al que compran los consumidores podría ser más bajo gracias a la tecnología, si no fuera por restricciones del mercado (como las medidas proteccionistas o el ingreso de importaciones), que limitan la magnitud en que se puede reducir, por lo que los consumidores pierden de forma implícita.

Tabla 7.5. Excedentes económicos para el consumidor (millones de pesos de 2010) (modelo Modexc)

Tecnología	Excedentes para el consumidor		
	Total	Por tecnología	Por otros factores
Arroz	-3.937.535	-1.553.026	-2.384.510
Maíz	4.103.346	3.373.906	729.440
Soya	153.714	229.293	-75.579
Carne	1.740.355	1.879.805	-139.450
Todos los productos	2.059.880	3.929.979	-1.870.098

Fuente: Elaboración propia

La suma de los excedentes obtenidos por los productores y los conseguidos por los consumidores constituye lo que logró la sociedad en general (tabla 7.6). Así, en los cuatro productos, los excedentes totales son positivos y los derivados de la tecnología son proporcionalmente mayores que los generados por factores autónomos. Los productos más favorecidos por estos excedentes ocasionados por la tecnología son el maíz —con unos beneficios totales superiores a los seis billones de pesos— y la carne —con más de cuatro billones—.

En el caso del arroz, al observar los totales, se aprecia que los excedentes son positivos, debido a que lo que ganan los productores compensa la pérdida de los consumidores, es decir, la pérdida implícita de los consumidores (al no lograr un menor precio) es contrarrestada por la ganancia implícita del productor (que vende a un precio mayor al potencial).

Tabla 7.6. Excedentes económicos totales para la sociedad (millones de pesos de 2010) (modelo Modexc)

Tecnología	Excedentes totales		
	Total	Por tecnología	Por otros factores
Arroz	74.920	58.272	16.648
Maíz	6.305.102	6.084.902	220.200
Soya	72.544	80.276	-7.732
Carne	7.050.491	4.034.601	3.015.891
Todos los productos	13.503.058	10.258.051	3.345.007

Fuente: Elaboración propia

Resultados de Dream

Dream es otro modelo para la medición de los excedentes económicos derivados de la introducción de una tecnología, pero parte de supuestos distintos, como se mencionó anteriormente: curvas de oferta y demanda lineales y desplazamiento paralelo de la curva de oferta.

Además de estas diferencias, al tratarse de mercados en economía abierta, el modelo supone que el precio determinado en el mercado exterior es exógeno, es decir, que no es afectado por la tecnología, por lo que el consumidor no obtiene excedentes (tabla 7.7).

Por otra parte, lo que en Modexc se aborda como nivel de protección del mercado, Dream lo considera como subsidios o ayudas que da el gobierno a productores o consumidores, directa o indirectamente, para proteger el mercado cuando la economía es abierta.

De este modo, Dream otorga excedentes al gobierno, lo cual representa un ahorro implícito para sí mismo, al no tener que pagar más subsidios, dadas las mejores condiciones del mercado por los efectos de la tecnología. Así, resulta que el gobierno tiene excedentes superiores a los 1.692 millones de pesos en los tres mercados, en economía abierta.

Con base en los resultados obtenidos con Dream, se observa que los productores de carne son los que obtienen mayores beneficios, más de 1,3 billones de pesos, seguidos por los de soya, con 4.883 millones, y los de arroz, con 2.067 millones. Solo los consumidores de carne reciben beneficios, por tratarse de un mercado cerrado, por lo cual el precio se fija internamente y sí es afectado por la tecnología.

Tabla 7.7. Excedentes económicos para el consumidor, el productor y el gobierno (millones de pesos) (modelo Dream)

Producto	Beneficios para el productor	Beneficios para el consumidor	Beneficios para el gobierno	Beneficios totales
Arroz	2.067	0	1.345,88	3.412,50
Maíz	476	0	50,89	527,54
Soya	4.883	0	295,86	5.179
Carne	1.332.232	845.455	0	2.177.687
Todas	1.339.659	845.455	1.692,20	2.186.806

Fuente: Elaboración propia

Tasa interna de retorno

Al comparar los resultados de ambos modelos (tabla 7.8) se puede observar que, aunque las tasas internas de retorno (TIR) para cada producto difieren en magnitud, su orientación es la misma, es decir, con cualquiera de los dos modelos se puede concluir la viabilidad de la inversión en investigación y desarrollo de estas tecnologías en la altillanura colombiana, con un retorno bastante elevado en todos los casos.

Las diferencias en las TIR en los dos modelos se basan en las diferencias existentes entre ellos, como el tipo de curvas empleadas (lineal en Dream y no lineal en Modexc), así como en el tipo de desplazamiento de la curva (paralelo en Dream y divergente en el caso de este estudio en Modexc).

Esto hace que las áreas bajo las curvas sean distintas en cada modelo y, por ende, que los cambios en los excedentes difieran, así como las magnitudes de los parámetros financieros, en este caso, la TIR. A partir de los cambios en los excedentes generados y los costos en investigación y desarrollo de estas tecnologías, se estimó su rentabilidad social, mediante los parámetros de tasa interna de retorno (TIR) y relación beneficio/costo (B/C). Con base en estos resultados, para los cuatro productos en la altillanura colombiana la inversión en esta tecnología es socialmente rentable: el maíz y el arroz son los más rentables, con una TIR del 113,86 % y el 63,56 % respectivamente en Modexc, y la carne y el arroz, con el 63,3 % y el 51 % respectivamente en Dream.

En ambos modelos, la TIR de toda la inversión en investigación y desarrollo para los cuatro productos es del 64 % o el 65 %, es decir, por cada 100 pesos invertidos en este proyecto, la sociedad ha ganado entre 64 y 65 pesos, una vez descontados los costos.

Tabla 7.8. Comparación de la TIR en la inversión en investigación y desarrollo para la introducción de arroz, maíz, soya y pasturas mejoradas

Producto	TIR en Modexc	TIR en Dream
Arroz	63,56 %	51,00 %
Maíz	113,86 %	28,00 %
Soya	43,65 %	49,00 %
Carne	28,73 %	63,30 %
Todos los productos	64,00 %	65,00 %

Fuente: Elaboración propia

Modexc permite hacer análisis de sensibilidad, a partir de la participación de cada institución en la inversión en I+D (tabla 7.9). Así, si determinada institución participó con el 10 % de los recursos destinados a la introducción de arroz en la altillanura, obtendría un retorno de dicha inversión del 5,9 %. Si la participación en soya fue del 95 % de la inversión, su retorno sería del 43,6 %.

Tabla 7.9. TIR a la inversión en investigación y desarrollo para la introducción de arroz, maíz, soya y pasturas mejoradas (modelo Modexc)

Porcentaje de participación	Carne		Maíz		Soya		Arroz	
	TIR (%)	C/B	TIR (%)	C/B	TIR (%)	C/B	TIR (%)	C/B
5	9,22	0,87	63,77	42,82		0,53		0,55
10	13,17	1,74	74,27	85,65	11,01	1,06	5,90	1,10
15	15,61	2,61	80,68	128,47	17,56	1,59	31,70	1,65
20	17,41	3,48	85,37	171,29	21,81	2,12	37,08	2,21
25	18,84	4,35	89,08	213,11	24,97	2,65	40,95	2,76
30	20,04	5,21	92,17	256,94	27,48	3,18	44,00	3,31
35	21,08	6,08	94,82	299,76	29,58	3,71	46,54	3,86
40	22,00	6,95	97,15	342,58	31,38	4,24	48,72	4,41
45	22,82	7,82	99,22	385,41	32,97	4,77	50,63	4,96
50	23,56	8,69	101,09	428,23	34,38	5,30	52,33	5,52
55	24,24	9,56	102,80	471,05	35,65	5,83	53,87	6,07
60	24,88	10,43	104,37	513,87	36,81	6,36	55,27	6,62
65	25,46	11,30	105,83	556,70	37,88	6,89	56,57	7,17
70	26,01	12,17	107,19	599,52	38,87	7,42	57,76	7,72
75	26,53	13,04	108,47	642,34	39,79	7,94	58,88	8,27
80	27,02	13,91	109,66	685,16	40,66	8,47	59,93	8,83
85	27,48	14,77	110,80	727,99	41,47	9,00	60,91	9,38
90	27,92	15,64	111,87	770,81	42,24	9,53	61,84	9,93
95	28,33	16,51	112,89	813,63	42,96	10,06	62,72	10,48
100	28,73	17,38	113,86	856,46	43,65	10,59	63,56	11,03

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7.10 se encuentra la distribución de la inversión en investigación y desarrollo, según el nivel de participación de las diferentes instituciones. De conformidad con esta tabla, AGROSAVIA (ICA) participó en promedio con el 42,77 % de los recursos de I+D en este proyecto; así, el retorno que obtuvo por carne es cercano al 22,82 %, por maíz al 99,22 %, por soya al 32,97 % y por arroz al 50,63 %.

Tabla 7.10. Participación en las inversiones en investigación y desarrollo por institución

Institución	Participación (%)
AGROSAVIA (ICA)	42,77
MADR y CIAT	21,13
MADR	24,97
Otros	11,14

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

A pesar de las diferencias existentes entre ambos modelos, se puede concluir la viabilidad de la inversión realizada en investigación y desarrollo para la introducción de pasturas mejoradas y de cultivos de maíz, arroz y soya en la altillanura colombiana. Por cada \$100 pesos, de los más de 25,7 millardos invertidos por diferentes instituciones a lo largo de veintiocho años en este proyecto, la sociedad colombiana obtuvo en promedio \$64,5 pesos, distribuidos entre productores y consumidores.

Cuando se analiza cada producto, los niveles de rentabilidad de la inversión varían según el modelo, aunque tanto con Modexc como con Dream se generó una rentabilidad social lo suficientemente alta para asegurar la viabilidad de la inversión. Con Modexc, los productos sobresalientes por sus mayores rendimientos son maíz y arroz, mientras que con Dream son arroz y carne.

En la mayor parte de los casos, esta tecnología le generó excedentes económicos positivos al productor, derivados de los menores costos de producción y la mayor productividad que la tecnología provoca. Solo el caso de la soya, en el modelo Modexc, arrojó excedentes negativos al productor, lo

cual se puede deber más a las características del mercado y a sus respuestas a los cambios causados por la tecnología que al impacto directo de esta.

Así, los modelos simulan el comportamiento de los mercados en la determinación de precios y cantidades tranzadas, los cuales establecen la magnitud de los excedentes finales, por lo que los resultados dependerán de las características de los parámetros usados y la simulación realizada por el mismo modelo.

Ahí radica la importancia de que en un futuro se validen dichos resultados, cuando se disponga de información relevante sobre parámetros de mercados, como elasticidades y niveles de adopción, procedentes de otras fuentes, para darles mayor sustento.

Por último, de acuerdo con los resultados de ambos modelos, la continuidad en la inversión en este proyecto es altamente recomendable por sus elevados retornos sociales. Dicha inversión debería enfocarse en incrementar la adopción de la tecnología, en conjunto con una política de reducción de algunas restricciones del mercado que limitan los excedentes que podrían ganar tanto productores como consumidores.





Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray
Roger Alonso Bautista Cubillos

Introducción

La tecnología desarrollada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para la altillanura plana de la Orinoquía ha estado dirigida fundamentalmente a la introducción de sistemas productivos agropecuarios en condiciones competitivas y sostenibles.

El estudio de evaluación de la adopción y el impacto de la tecnología agropecuaria permitió comprobar que todos los sistemas de producción introducidos en la región como resultado de las actividades de investigación y desarrollo (I+D) institucionales son rentables para la sociedad, tanto a nivel micro o privado como a nivel macro, y benefician a productores y consumidores.

A pesar de estas ventajas, desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental hay aspectos que preocupan, como la afectación de la biodiversidad natural de la región, la intervención en zonas de reserva de bosques de galería y la contaminación de aguas, por el uso intenso de correctivos, fertilizantes y pesticidas de síntesis química.

En este sentido, las actividades de investigación y transferencia de tecnología tendrán que hacer un mayor énfasis en el desarrollo de alternativas tecnológicas y conjuntos de recomendaciones integrados, dirigidos a preservar la disponibilidad y la calidad de los recursos naturales de la zona y a garantizar la sostenibilidad de los sistemas productivos recomendados.

En este sentido, las líneas de investigación dirigidas al establecimiento de sistemas silvopastoriles y agroforestales podrían contribuir a garantizar la sostenibilidad ambiental, siempre que ofrezcan oportunidades de ingresos rentables a los productores y trabajadores de la región.

De igual manera, se deben impulsar líneas de investigación dirigidas al desarrollo de materiales genéticos de alto rendimiento, adaptados a las condiciones edafoclimáticas de la altillanura y tolerantes a problemas fitosanitarios (que permitan reducir el uso de pesticidas de síntesis química para su control).

Con este mismo propósito, se debe continuar el trabajo en el desarrollo de biofertilizantes y biocontroladores que actúen de manera eficiente, para incrementar o mantener la productividad de los cultivos, sin afectar significativamente el ambiente.

El estudio permitió observar un gran dinamismo productivo agropecuario en la zona, en muchos casos, correspondiente a iniciativas privadas de introducir nuevos sistemas productivos, como la palma de aceite y la caña de azúcar para la producción de biocombustibles.

Por lo anterior, se considera recomendable adelantar una evaluación similar a la realizada en este estudio, dentro de unos cinco años, una que vez los cultivos recientemente establecidos logren estabilizar sus resultados productivos y sea posible cuantificar de manera confiable sus impactos económicos, sociales y ambientales.

La realización de tal investigación deberá considerar la ampliación del área evaluada, integrando sectores de la altillanura plana del Meta y del Vichada, donde se observa un gran dinamismo en emprendimientos productivos agropecuarios.

Dada la presencia de grandes inversionistas y empresarios del agro en la región, se deberían propiciar las alianzas público-privadas, para producir

tecnologías que garanticen las condiciones de productividad, competitividad y sostenibilidad que se esperan de la altillanura.

De igual manera, la presencia de explotaciones petroleras deberá facilitar la alianza de estas empresas con los centros de investigación de AGROSAVIA y el CIAT en la región. La vigencia del convenio de estas instituciones para el desarrollo de la altillanura deberá propiciar una mayor articulación con la institucionalidad regional, como universidades y servicios de asistencia técnica, con el fin de desarrollar mayores capacidades locales en materia de investigación y vinculación tecnológica para la innovación.

En este capítulo se hace una síntesis de las conclusiones y recomendaciones de la investigación en lo que respecta a la adopción de tecnología y sus impactos económicos, sociales y ambientales.

Adopción de tecnología

A continuación, se enuncian las principales conclusiones y recomendaciones del estudio, en términos de la adopción de tecnología.

- Las unidades productivas predominantes en la altillanura plana del Meta están caracterizadas por tener extensiones de medianas a grandes, con un promedio de 770 hectáreas, con propietarios ausentistas en su mayoría, que actúan como grandes inversionistas y empresarios del agro.
- Los principales sistemas productivos adoptados en la región son los pastos mejorados para ganaderías de carne y los cultivos de rotación de soya, arroz y maíz, los cuales se han implementado en condiciones competitivas para los productores, gracias a la aplicación de los desarrollos tecnológicos del ICA, el CIAT, AGROSAVIA y empresas privadas.
- El cultivo del caucho ha sido materia de I+D de AGROSAVIA; se ha introducido en la última década y actualmente ocupa cerca del 9% del área de estudio. Sin embargo, la mayor parte de las plantaciones aún no ha llegado a su fase de producción estable, por lo cual, en esta investigación no se incluyó en el análisis de excedentes para la sociedad.
- Existen cultivos forestales, sobre todo de pino caribe, eucalipto y acacia, pero corresponden en mayor medida a emprendimientos de carácter

privado y no a resultados de I+D institucional. La línea de investigación en sistemas agroforestales y silvopastoriles deberá intensificarse para la región.

- Recientemente, se ha introducido la caña de azúcar, con el propósito de producir alcohol carburante, pero aún se encuentra en la fase de evaluación de su adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la región.
- El 90 % de los predios y el 69 % del área cultivable en la zona de estudio tienen incorporados sistemas productivos que cuentan con recomendaciones tecnológicas institucionales.
- Los principales factores determinantes de la adopción de tecnología para la introducción de los sistemas productivos están relacionados con las expectativas de obtener excedentes en condiciones rentables.
- Se observa que la tenencia de la tierra en propiedad y la promoción de los distribuidores de insumos son factores que han favorecido de manera significativa la adopción tecnológica.
- La adopción de tecnología es mayor en los predios relativamente más pequeños, debido a que son menos los requerimientos de capital y trabajo que implica introducir la tecnología en toda el área cultivable.
- Los propietarios más jóvenes y con menor experiencia productiva presentan una mayor propensión a innovar en sus fincas.

Impacto económico

Las siguientes son las principales conclusiones y recomendaciones del estudio, en lo que se refiere a impactos económicos.

- La introducción de sistemas productivos en la altillanura, con sus correspondientes recomendaciones tecnológicas, ha posibilitado incrementos significativos en la productividad de los cultivos, la reducción en los costos de producción y el aumento de los ingresos de los productores.
- En el caso del sistema de producción de carne bovina, la introducción de pastos mejorados ha hecho posible pasar de una capacidad de carga de 0,3 animales por hectárea, en las condiciones tradicionales de la sabana nativa, a un promedio de 1,5/ha en condiciones de sabanas mejoradas. En términos de productividad, ha habido un incremento del 733 %, al pasar de 32,4 kg de carne por hectárea por año en sabana nativa a 270 kg/ha/año en sabanas mejoradas. De otra parte, se ha logrado una disminución del 13,3 % en el costo unitario de producción de la carne.

- La introducción del cultivo del maíz, con su respectiva tecnología, ha permitido incrementar los rendimientos en 50 %, al pasar de 4 t/ha en sabana nativa a 6 t/ha en sabanas mejoradas, con una reducción de costos unitarios equivalente al 58,6 %.
- La introducción de soya con su tecnología asociada, además de contribuir a mejorar la fertilidad del suelo para el desarrollo de otros cultivos, ha permitido elevar los rendimientos en un 8 % y reducir significativamente los costos unitarios de producción, con un valor del 49 %. Sin embargo, este producto aún presenta problemas de competitividad frente a la soya y productos derivados provenientes de Argentina, Bolivia, Brasil y Estados Unidos.
- En el caso del arroz, la tecnología ha propiciado pasar de rendimientos de 3,75 t/ha a promedios cercanos a las 4,5 t/ha, lo cual equivale a un incremento en productividad cercano al 20 %. En este cultivo se ha logrado disminuir los costos unitarios de producción en un 23 %.
- La ganadería en pasturas mejoradas presenta una tasa interna de retorno (TIR) del 24 %, que triplica la de la ganadería en sabana nativa.
- El sistema de rotación de cultivos transitorios de maíz y soya presenta los mejores índices de rentabilidad, con una TIR del 84 %.
- A partir del sexto año, el segundo más rentable es el sistema productivo que alterna los cultivos de rotación durante los primeros cinco años con la introducción de praderas, con una TIR del 78 %.
- Los sistemas de producción de caucho solo y en asocio con especies transitorias muestran promisorias tasas de rentabilidad, pero requieren una mayor inversión inicial, cercana a quince millones de pesos por hectárea y un mayor apalancamiento financiero para soportar los costos de los primeros años, en los que no se reciben ingresos. De esta forma, el establecimiento del caucho en asocio con cultivos transitorios se convierte en una opción atractiva para solventar los problemas de la iliquidez inicial del sistema productivo.
- Aunque los sistemas de rotación de cultivos transitorios de maíz y soya parecen ser los más rentables, son muy vulnerables a los cambios de los mercados y a la fluctuación de los precios internacionales, por lo cual, aunque ofrecen una menor rentabilidad, los sistemas ganaderos sobre praderas mejoradas representan un menor riesgo de pérdida para los productores.
- La ganadería en sabana nativa permite obtener una TIR del 8 %, similar a la que se obtendría en una inversión que rinda un equivalente a la tasa de

oportunidad del sistema financiero. Sin embargo, algunos productores continúan en este sistema, en espera de obtener ganancias mediante la valorización de la tierra, que se produce por los procesos de crecimiento de la región, las nuevas vías, los asentamientos humanos y el mejoramiento de la fertilidad del suelo en fincas aledañas, entre otros factores.

Impacto social

A continuación, se sintetizan las principales conclusiones y recomendaciones del estudio en cuanto a impactos sociales.

- De acuerdo con los resultados obtenidos en el proceso de evaluación y valoración social de los impactos según las percepciones locales, se observa que la tecnología desarrollada ha incidido de manera positiva, directa y muy significativa en los componentes relacionados con la renta o el ingreso de los productores, derivados principalmente de una mayor productividad de la tierra.
- De igual forma, se identificaron impactos positivos, directos y muy significativos de la tecnología en el empleo, relacionados con mayores oportunidades de conseguir trabajo y de estabilidad laboral, a causa del aumento significativo de la actividad agropecuaria en la región en los últimos años.
- Se pudo establecer que se dio un impacto positivo, directo y altamente significativo en la capacitación técnica de los trabajadores, vinculada con el manejo de los nuevos paquetes tecnológicos introducidos.
- También se reconoció un impacto indirecto, positivo y significativo en el mejoramiento de la calidad de vida en el ámbito local, especialmente, en el mejoramiento de la calidad de la vivienda, del servicio de salud y de los productos que se consumen, como resultado de un cambio en los ingresos derivados de la actividad agropecuaria.
- Desde la percepción de los productores y los trabajadores, estos procesos de desarrollo tecnológico no representaron un cambio importante en las formas de organización social ni en el apoyo institucional, ya que en los resultados de la encuesta este aspecto obtuvo una calificación de 2, que, de acuerdo con la escala definida para el estudio, corresponde a un impacto irrelevante.
- Respecto a los indicadores de calidad de vida (ICV) y de necesidades básicas insatisfechas (NBI), los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán

mostraron una significativa reducción de sus niveles de pobreza, según los censos de 1993 y 2005. Esto se demuestra en el hecho de que se presentó un aumento de 6,6 puntos en el ICV y una disminución de 8,2 puntos en el NBI, con un importante número de hogares que cambiaron sus condiciones socioeconómicas. Sin embargo, es claro que esto no puede ser atribuido completamente a la introducción de nuevos sistemas agropecuarios producto de la tecnología, sino, en gran medida, a la entrada de la actividad petrolera a la región.

- Se deben realizar estudios más profundos y enfocados en separar los efectos sociales de las actividades petroleras de aquellos provocados específicamente por la tecnología agropecuaria. Con este fin, se sugiere la introducción de técnicas de estadística social y de sociometría.

Impacto ambiental

Las principales conclusiones y recomendaciones del estudio, en torno a los impactos ambientales, se presentan a continuación:

- La tecnología generada y empleada para mejorar las características de los suelos de la altillanura tuvo efectos positivos en su fertilidad.
- El impacto de la tecnología de encalado también ha sido positivo en el contenido de calcio y magnesio, y ha permitido aumentar sustancialmente la saturación de bases y disminuir la de aluminio.
- En la mayoría de los sistemas productivos, la aplicación de fertilizantes ha contribuido a elevar el contenido de fósforo y potasio de materia orgánica.
- En un porcentaje importante de suelos, los valores de saturación de aluminio y los contenidos de fósforo disponible aún son limitantes, por lo cual se debe continuar con acciones de investigación y transferencia de tecnología. Lo anterior permitirá incrementar los niveles de producción de los pastos, los cultivos permanentes y los de rotación semestral que se quieren establecer en la altillanura plana del Meta.
- De acuerdo con estudios referenciados en la región, los diferentes sistemas de labranza han tenido un efecto positivo en el movimiento del agua y el aire del suelo, que favorecen el desarrollo y la producción de los cultivos.
- En la evaluación se apreciaron dos efectos ambientales positivos de la tecnología: el aumento en la calidad y cantidad del suelo, y el cambio en

la intensidad de su uso. Los puntajes altos de estos impactos reconocen la importancia de la tecnología para superar las limitaciones de los suelos ácidos en su uso agropecuario.

- Los impactos positivos de la tecnología en la biodiversidad se concentran en la adaptación de especies a los nuevos registros de acidez del suelo y en la incorporación de variedades adaptadas a los suelos ácidos.
- Los efectos negativos más importantes están relacionados con los impactos en la biodiversidad y las áreas protegidas, como los bosques de galería. Los aspectos que más influyeron de manera negativa en los puntajes respecto a la biodiversidad son los relacionados con la pérdida de corredores biológicos y de variedades. En menor grado se encuentran el daño a la vegetación nativa, las alelopatías y la competencia.
- La magnitud, la persistencia, la extensión y el largo plazo (o la imposibilidad de revertir los efectos negativos) inciden de forma significativa en la categoría de áreas especiales. Se afectan de manera negativa los morichales en las áreas de conservación permanente, aquellas de comunidades indígenas y las de sistemas naturales, a pesar de que se da un importante impacto en la recuperación de suelos para producción agrícola.
- Hay efectos negativos en la calidad del agua y la atmósfera, en especial, la producción de CO₂, gas de efecto invernadero y en los posibles impactos del cambio del pH del agua y sus impactos en los ecosistemas acuáticos.
- Debido a que se está evaluando la incorporación de una nueva área de producción en un ecosistema frágil, los efectos negativos pueden ser de mayor magnitud, por el cambio drástico que sufre el ambiente cuando hay una transición de un ecosistema a un agroecosistema. En una primera fase se realiza una intervención antrópica leve, pero con el pasar del tiempo se va intensificando su acción sobre el medio.
- Dado que el cambio de uso de la tierra ha sido rápido en la altillanura, se debe continuar la evaluación y aplicar tecnologías que permitan preservar el medio, su diversidad y la calidad de los recursos naturales, para minimizar la degradación del ambiente.

Excedentes económicos de la investigación y el desarrollo tecnológico para la sociedad

Las siguientes son las principales conclusiones y recomendaciones del estudio, derivadas de la utilización de dos herramientas de análisis: Modexc y Dream.

- Las actividades institucionales de I+D para la introducción de sistemas productivos agropecuarios en la altillanura del Meta han sido altamente rentables para la sociedad, pues han generado excedentes valorados en 13,5 billones de pesos durante los últimos veinte años, de los cuales el 84,7% ha beneficiado a los productores (mediante el aumento de ingresos) y el 15,3% a los consumidores (a través de la reducción de precios).
- Los mayores excedentes (52,2%) se han producido en la introducción de pastos mejorados y en la introducción de maíz (46,7%).
- Al considerar los costos de inversión en I+D para la tecnología aplicada en la altillanura, los modelos Modexc y Dream permiten calcular una tasa interna de retorno para la sociedad cercana al 64% y una relación beneficio-costos de 524. Esto demuestra la alta rentabilidad de la actividad investigativa emprendida por el ICA, AGROSAVIA y el CIAT, con el apoyo financiero del Estado colombiano, a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Por último, con base en los resultados de la aplicación de ambos modelos (Modexc y Dream) se puede afirmar que la continuidad en la inversión en I+D agropecuario en la región de la altillanura del Orinoco es altamente recomendable, dados los elevados retornos sociales que genera. Dicha inversión debería estar enfocada en garantizar la sostenibilidad de los sistemas y en incrementar su competitividad, acompañada de políticas de reducción de algunas restricciones de mercado, las cuales limitan los excedentes que podrían ganar tanto productores como consumidores.



Los autores

Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray

grodriguez@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo, economista agrario y magíster en Economía con estudios doctorales en Economía del Territorio. Investigador de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en agroeconomía y agroindustria, con énfasis en análisis de sistemas de agricultura familiar y agroindustria rural que involucran la valorización de productos del agro mediante procesos de acondicionamiento y transformación. El tema de su más reciente trabajo investigativo es la valoración socioeconómica de opciones tecnológicas para pequeños productores agropecuarios frente al cambio climático. Actualmente es miembro del Comité Científico de la Red de Raíces y Tubérculos de AGROSAVIA y Coordinador de la Red SIAL Americana.

Roger Alonso Bautista Cubillos

rbautista@agrosavia.co

Economista y magíster en Territorio, con especialización en Gerencia Financiera. Se desempeña en diferentes áreas de investigación, administración financiera y planeación estratégica. Lidera la formulación y ejecución de proyectos del área agropecuaria con énfasis en áreas socioeconómicas.

María Margarita Ramírez Gómez

mmramirez@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma, magíster en Microbiología de Suelos y doctora en Microbiología. En AGROSAVIA ha participado en la conformación, coordinación y puesta en marcha de los programas nacionales de Manejo Integrado de Suelos y Aguas y Manejo Integrado de Recursos Biofísicos. También se ha desempeñado en el Banco de Germoplasma de microorganismos, con interés en biofertilización. Es líder de las redes regionales de manejo de suelos de ladera de Prociandino y de manejo de suelos de Procitrópicos. Ha formado parte de grupos multidisciplinarios de investigación a nivel regional (Mojana, Alto Patío, Suelos Ácidos, Pequeña Irrigación y Suelos de Ladera) y de equipos de evaluación económica, biofísica y ambiental de la degradación/recuperación de suelos y del impacto de tecnologías.

Otoniel Pérez López

operez@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo y magíster en Salud y Producción Animal con énfasis en nutrición de rumiantes. Experiencia en la evaluación, desarrollo, uso y manejo de pastos y forrajes tropicales, así como en su integración en sistemas de producción animal. Experiencia en el desarrollo y vinculación de sistemas integrados agrosilvopastoriles en condiciones de suelos ácidos de la Orinoquía colombiana.

Carolina González Rojas

c.gonzalez@cgiar.org

Economista agrícola. PhD en Economía Agrícola de la Universidad de Hohenheim. Magíster en Economía aplicada de la Pontificia Universidad Javeriana. Experiencia en investigación socioeconómica enfocada en desarrollo sostenible, economía agrícola, evaluación de impacto y desarrollo rural.

Salomón Pérez Suárez

s.p.suarez@cgiar.org

Economista, magíster en Economía y PhD en Economía Agrícola. Experiencia en evaluación de impacto de tecnologías agrícolas, estudios de aceptación del consumidor y adopción de nuevas variedades. Actualmente es el coordinador del país para el proyecto HarvestPlus en Guatemala.

Albert Gutiérrez Vanegas

agutierrez@agrosavia.co

Ingeniero agrícola y magíster en Agroforestería Tropical. Experiencia en investigación de zonificaciones edafoclimáticas y caracterización de varias especies agrícolas de importancia social y económica para el país, especialmente, caucho natural, forestales comerciales y forestales nativos. Amplia trayectoria en la coordinación y liderazgo de equipos técnicos y proyectos de investigación. Actualmente se desempeña como investigador máster de la Red de Innovación de Cultivos Permanentes en AGROSAVIA.

Hernando Méndez Aldana

mendezah@hotmail.com

Agrólogo y magíster en Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. Experiencia en el Programa de Suelos del ICA y coordinador del Programa Regional de Sistemas de Producción de AGROSAVIA con sede en Bucaramanga. Experiencia en ejecución, seguimiento y evaluación de experimentos para el desarrollo de tecnologías en conservación de suelos de ladera y minifundios.

Irma Baquero Haeberlin

irma.baquero@escuelaing.edu.co

Economista de la Universidad de los Andes, magíster en Economía Agrícola de la Universidad de Wisconsin-Madison y PhD en Economía Rural de la Universidad Federal de Viçosa (Brasil). Ha realizado diversas investigaciones en economía de la sostenibilidad, prospectiva agroambiental, estudios de competitividad, cadenas productivas y evaluación de impacto, adopción, cambio y prospectiva de nuevas tecnologías.

Zulma Roa Díaz

kausay07@gmail.com

Socióloga y magíster en Economía del Medioambiente y Recursos Naturales. Experiencia en ejecución, evaluación y seguimiento de proyectos ambientales y sociales.

Samuel Caicedo Guerrero

scaicedo@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo y magíster en Genética. Experiencia en desarrollo de cosecha, poscosecha y transformación, así como en generación de variedades de arroz y soya para la altillanura colombiana.

Sandra Xiomara Pulido Castro

spulido@agrosavia.co

Ingeniera agronómica y magíster en Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Caldas. Su línea central de investigación es la caracterización y tipificación de sistemas de producción agropecuarios. Experiencia en transferencia de tecnologías agropecuarias. Actualmente se desempeña como jefe del Departamento de Transferencia de Tecnología de AGROSAVIA.

Tatiana Olarte Hernández

tatianaolarte_11@hotmail.com

Economista de la Universidad de los Llanos con especialización en Gerencia Financiera.



Referencias

- Almanza, E., Bernal, J., Argüello, O. (s. f.). *Desarrollo de prácticas de manejo y conservación de suelos para los sistemas de producción de maíz en la altillanura colombiana* (Informe). Bogotá: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Alston, J. M., Norton, G. W., & Pardey, P. G. (1998). *Science under scarcity: Principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting*. Wallingford: Centre for Agriculture and Bioscience International.
- Álvarez, M., & García, F. (2007). *Eucalipto Pellita (F. Muell) especie multipropósito al servicio de la ganadería en los llanos orientales* (Plegable). Villavicencio: Corpoica.
- Avila, A. F. D., Rodrigues, G. S., & Vedovoto, G. L. (2008). *Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: metodologia de referência*. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).
- Baca, G. (2007). *Matemática financiera*. Bogotá: Fondo Educativo Panamericano.
- Baquero, I. B., & Ramírez, M. (2005). *Indicadores de impacto ambiental. Plan de investigación de soya*. Ponencia presentada en el Seminario-Taller Impacto de la Tecnología, Centro de Investigación Tibaitatá, Cundinamarca.
- Bernal, J. (1994). *Pastos y forrajes tropicales*. Bogotá: Banco Ganadero.
- Bernal, J. (2006). Manejo de malezas en el cultivo de la soya. En C. A. Jaramillo, & N. Cubillos (Eds.), *Soya (Glycine max (L.) Merrill). Alternativa para los sistemas de producción de la Orinoquia colombiana* (Manual técnico N.º 9) (pp. 173-180). Villavicencio: Corpoica.
- Bueno, G. A. (2010). Sistemas silvopastoriles. Arreglos y usos. En A. Rincón, & C. A. Jaramillo (Eds.), *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos* (pp. 201-229). Villavicencio: Corpoica.

- Caballero, J., Carcaño, M., & Mascarua, M. (1992). Field inoculation of wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum brasilense* under temperate climate. *Symbiosis*, 13, 243-253.
- Caicedo, S., Bernal, J., Navas, G., Salamanca, C., Guevara, E., & Botero, R. (2004). *Labranza de conservación para la producción de cultivos semestrales en el piedemonte llanero* (Boletín Técnico n.º 39) (pp. 9-10). Villavicencio: Corpoica
- Conesa, V. (2009). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes). (2014). *Documento Conpes 3797. Política para el desarrollo integral de la Orinoquía: altillanura. Fase 1*. Recuperado de <http://bit.ly/2Hhabgz>.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2002). *Estudio detallado de suelos de la estación experimental sabanas municipio de Puerto López, Meta* (Informe Técnico). Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Correa, H. D., Ruiz, S. L., & Arévalo, L. M. (Eds.) (2005). *Plan de acción en biodiversidad de la cuenca del Orinoco. Colombia 2005-2015. Propuesta técnica* (pp. 17-20). Bogotá: Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (Corporinoquia), Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Macarena (Cormacarena), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Fundación Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Fundación Omacha, Fundación Horizonte Verde, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad de los Llanos (Unillanos), Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF-Colombia), Agencia de Cooperación Alemana para el Desarrollo (GTZ-Colombia).
- Cubillos, N., & Jaramillo, C. (2006). *Variedad de soya Corpoica Superior 6* (Plegable Divulgativo N.º 45). Bogotá: Corpoica.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2005). *Boletín. Censo General 2005. Perfil Puerto López-Meta*. Bogotá: DANE.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2006). *Boletín. Censo General 2005. Perfil Puerto Gaitán-Meta*. Bogotá: DANE.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2011). *Cuentas departamentales. Base 2005: resultados año 2009p (provisional)* (Boletín de prensa). Bogotá: DANE. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2005/Resultados_2009.pdf.

- Espinal, C. F., Martínez, H., & Acevedo, X. (2005). *La cadena de cereales, alimentos balanceados para animales. Avicultura y porcicultura en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica, 1991-2005* (Documento de trabajo N.º 51). Bogotá: MADR, Observatorio Agrocadenas Colombia.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos. Determinación de los requerimientos de cal*. Quito: International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Federación Colombiana de Municipios. (2008a). *Información municipal para la toma de decisiones. Puerto López (Meta)*. Recuperado de https://www2.fcm.org.co/appfichamun/pdfs/ficha_50573000.pdf
- Federación Colombiana de Municipios. (2008b). *Información municipal para la toma de decisiones. Puerto Gaitán (Meta)*. Recuperado de https://www2.fcm.org.co/appfichamun/pdfs/ficha_50568000.pdf
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce). (2012). *Formación precios internos de cereales*. Recuperado de <http://www.fenalce.org/nueva/pg.php?pa=31>.
- Fonseca, I., & García, F. (2007). Componentes técnicos y productivos de un proyecto forestal. En Autores (Eds.), *Abecé forestal, herramientas para tomar decisiones*. (pp. 34-36). Villavicencio. Corpoica.
- Gobernación del Meta. (2006). *Evaluaciones agropecuarias. Informe de coyuntura años 2004-2005*. Villavicencio: MADR y Gobernación del Meta, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- Gobernación del Meta. (2009). *Evaluaciones agropecuarias. Informe de coyuntura año 2009*. Villavicencio: MADR y Gobernación del Meta, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- Gobernación del Meta. (2011). *Evaluaciones agropecuarias. Informe de coyuntura año 2010*. Villavicencio: MADR y Gobernación del Meta - Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- Gobernación del Meta, & IGAC. (2004). *El Meta: un territorio de oportunidades*. Bogotá: IGAC.
- Grageda, O., Díaz, A., Peña, J., & Vera, J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
- Grageda, O., Mora, M., Castellanos, R., Follet, R., & Peña, J. (2003). Fertilizer nitrogen recovery under different tillage treatments and cropping sequences in a vertisol in central México. En IAEA (Ed.), *Management of crop residues for sustainable crop production* (pp. 39-55). Viena: FAO y Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

- Griliches, Z. (1957). Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 24(4), 501-523.
- Hernández, G. H. (2004). *Impactos de las regalías petroleras en el departamento del Meta* (pp. 41-42). Villavicencio: Banco de la República, Centro Regional de Estudios Económicos. Recuperado de http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/2004_julio_0.pdf.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2006). *Resolución N.º 001478. Por la cual se adoptan normas de carácter fitosanitario y de recursos biológicos para la producción, distribución y comercialización de material de propagación vegetativa de caucho natural (Hevea sp.)*. Recuperado de <http://www.ica.gov.co/getattachment/bd5b232f-a473-4a6d-8e0a-28cad11fe0a7/1478.aspx>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2004). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta* [CD-ROM]. Bogotá: IGAC.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (2007). *Guía del manejo integrado de plagas (MIP) para técnicos y productores*. Recuperado de https://www.jica.go.jp/project/panama/0603268/materials/pdf/04_manual/manual_04.pdf
- Jaramillo, C., & Pulido, X. (2004). *Recomendaciones básicas para cultivar maíz en sistemas de rotación en la altillanura plana colombiana* (Boletín divulgativo N.º 14). Villavicencio: Corpoica.
- Jaramillo, C. A., & Cubillos, N. (Eds.). (2006). *Soya (Glycine max (L.) Merrill) Alternativa para los sistemas de producción de la Orinoquia colombiana* (Manual Técnico N.º 9). Villavicencio: Corpoica.
- Martínez, A. (2007). *Consideraciones técnicas para el establecimiento y manejo del cultivo del caucho (Hevea brasiliensis) en la Orinoquia colombiana*. Villavicencio: Corpoica.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2012). *Anuario estadístico del sector agropecuario* (pp. 14-42). Bogotá: Autor.
- Nájar, P. (2004). *Manual para la evaluación de impacto ambiental de la investigación* (Documento interno de trabajo). Bogotá: Corpoica, Programa Nacional de Estudios Socioeconómicos.
- Navarro, M. L., & Morales, A. (Eds.). (1992). *Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación* (Manual de asistencia técnica N.º 25). Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Principios básicos de la agricultura de conservación*. Recuperado de <http://www.fao.org/ag/ca/es/1b.html>.

- Pachico, D., Lynam, J., & Jones, P. G. (1987). The distribution of benefits from technical change among classes of consumers and producers: An *ex-ante* analysis of beans in Brazil. *Research Policy*, 16(5), 279-285.
- Pardo, O., & Pérez, O. (2010). Alternativas forrajeras para los Llanos Orientales de Colombia. En A. Rincón, & C. A. Jaramillo (Eds.), *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos* (pp. 27-73). Villavicencio: Corpoica.
- Pérez, O., & Bueno, G. (2010). Cultivos forrajeros para la alimentación de bovinos. En A. Rincón, & C. A. Jaramillo (Eds.), *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos* (pp. 231-249). Villavicencio: Corpoica.
- Pérez, O., Pérez, R., Bueno, G., & Mojica, J. (2003). Caña (*Saccharum officinarum*). En C. A. Jaramillo (Ed.), *Cultivos para la alimentación animal en sistemas de producción bovina de la Orinoquia colombiana* (Boletín Técnico n.º 44) (pp. 9-17). Villavicencio: Corpoica.
- Ramírez, M., Baquero, I., Nájjar, P., Cardozo, F., & Ramírez, J. (2004). *Evaluación de impacto ambiental del plan de investigación de soya en el Valle del Cauca* (Informe final, documento interno de trabajo). Bogotá: Corpoica.
- Ramírez, M., Moreno, L., Serralde, D., Pérez, A., & Salamanca, C. (2011). *Soya ICA J-96 Bradyrhizobium japonicum. Biofertilizante para soya* (Plegable). Bogotá: Corpoica.
- Richards, M., & Panfil, S. N. (2010). *Manual para la evaluación del impacto social de los proyectos de carbono terrestre* (Versión 1). Washington: Forest Trends, Climate, Community & Biodiversity Alliance, Rainforest Alliance y Fauna & Flora International. Recuperado de www.forest-trends.org/documents/index.php?pubID=2459.
- Rincón, A. (2010). Manejo de praderas bajo pastoreo. En A. Rincón, & C. A. Jaramillo (Eds.), *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos* (pp. 123). Villavicencio: Corpoica.
- Rincón, A., & Caicedo, S. (2010). Establecimiento de pastos en sistemas ganaderos de los llanos colombianos. En A. Rincón, & C. A. Jaramillo (Eds.), *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos* (pp. 75-111). Villavicencio: Corpoica.
- Rivas, L. (2002, noviembre). *Impacto económico de la adopción de pastos mejorados en América Latina tropical*. Documento presentado en el Simposio Internacional sobre Rentabilidad en las Empresas Ganaderas, Universidad Autónoma de México, Veracruz.

- Rivas, L., García, J., Seré, C., Jarvis, L., & Sanint, L. (1992). *Modelo de análisis de excedentes económicos (Modexc)* (Documento de trabajo N.º 107). Cali: CIAT.
- Rivas, L., Hoyos, P., Amézquita, E., & Molina, D. (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* (Proyecto de evaluación de impacto, convenio MADR-CIAT). Cali: CIAT.
- Rodrigues, G. S., De Almeida, C. C., & Dias, A. F. (2010). An environmental I assessment system for agricultural research and development II: Institutional learning experience at Embrapa. *Journal of Technology Management & Innovation*, 5(4), 38-56.
- Rodríguez, G., Bautista, R., Dias, F., Stachetti, G., & Espinosa, C. (2015). *Diagnóstico socioeconómico y tecnológico de sistemas productivos agropecuarios de la altillanura colombiana: línea de base año 2011-2012*. Bogotá: Corpoica.
- Sánchez, S. L. (1990). Aspectos sobre acidez y enclamiento. En F. Silva (Ed.), *Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego*. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (sccs).
- Santillán, M. L. (2016). *Así funcionan los biofertilizantes*. Recuperado de http://ciencia.unam.mx/leer/570/Asi_funcionan_los_biofertilizantes.
- Sistema Integral de Información Departamental (SIID). (2009a). *Caracterización del municipio de Puerto Gaitán, 2009* (p. 15). Recuperado de <http://www.siid.gov.co/siid/forms/documentos/Microsoft%20Word%20-%20PUERTO%20GAITAN.pdf>.
- Sistema Integral de Información Departamental (SIID). (2009b). *Caracterización del municipio de Puerto López, 2009*. Recuperado de <http://www.siid.gov.co/siid/forms/documentos/Microsoft%20Word%20-%20PTO%20%20LOPEZ.pdf>.
- Sistema de Información de los Recursos Forestales de Costa Rica (Sirefor). (2004). *Industrialización y usos*. En Manual para productores de melina (pp. 118-119). Costa Rica. Recuperado de http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Especies_plantaciones/MELINA/Manual%20para%20los%20productores%20de%20melina.pdf.
- Stachetti, G., Campanhola, C., & Choji, P. (2002). Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: um sistema de avaliação para o contexto institucional de P&D. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 19(3), 349-375.

- Tapiero, A. (2006). Manejo de las enfermedades del cultivo de la soya (*Glycine max* L.) en los Llanos Orientales de Colombia. En C. A. Jaramillo, & N. Cubillos (Eds.), *Soya (Glycine max (L.) Merrill). Alternativa para los sistemas de producción de la Orinoquia colombiana. Manual técnico N.º 9* (pp. 193-205). Villavicencio: Corpoica.
- Tapiero, A., Caicedo, S., Baquero, J., Ospina, Y., Guimarães, E., & Châtel, M. (2003). *Arroz Corpoica Llanura 11, variedad mejorada de alta precocidad para los sistemas productivos de la altillanura plana* (Plegable divulgativo N.º 60). Villavicencio: Corpoica.
- Valencia, R. (2006). Variedades de soya de importancia económica para la Orinoquia colombiana. En C. A. Jaramillo, & N. Cubillos (Eds.), *Soya (Glycine max (L.) Merrill). Alternativa para los sistemas de producción de la Orinoquia colombiana* (Manual técnico N.º 9) (pp. 77-79). Villavicencio: Corpoica.
- Valencia, R., & Caicedo, S. (1992). *Soyica P-34, nueva variedad para la producción competitiva en el piedemonte llanero* (Plegable divulgativo N.º 256). Bogotá: ICA.
- Valencia, R., & Caicedo, S. (2010). *Corpoica Sabana 7. Variedad de soya para suelos ácidos de la altillanura* (Plegable divulgativo N.º 59). Bogotá: Corpoica.
- Valencia, R., Pardo, O., Rincón, A., & Bueno, G. (2006). *Corpoica Taluma 5. Variedad de soya de uso forrajero o grano para sistemas de producción de la Orinoquia colombiana* (Boletín técnico N.º 48). Villavicencio: Corpoica, MADR y Cooperativa Agropecuaria de Ginebra (Valle) (Coagro).
- Valencia, R., & Segura, S. (2004). *Corpoica La Libertad 4. Variedad de soya para los sistemas de producción de la altillanura colombiana* (Plegable divulgativo N.º 40). Villavicencio: Corpoica, MADR y Coagro.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255(2), 571-586.
- Vilela, L., Solares, W. V., Sousa, D. M. G., & Macedo, M. C. M. (1998). *Calagem e adubação para pastagens na região do cerrado* (Circular técnica N.º 37) (p. 16). Planaltina: Embrapa.
- Wood, S., & Baitx, W. (1998). *Dream: manual para el usuario*. San José: CIAT, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Terminó de diseñarse
en junio de 2019, Bogotá, D. C., Colombia

Los desarrollos investigativos son, en esencia, generados para el progreso de la sociedad. Esta premisa no es ajena para los procesos agropecuarios, por el contrario, se acentúa y adquiere importancia, si se tiene en cuenta la cultura agropecuaria nacional y sus formas de llevarlo a cabo. No obstante, estos desarrollos con su respectiva adopción tecnológica deben impactar de manera directa en la multidimensión social, ambiental y económica de las regiones e incluso a nivel nacional.

El grupo compilador, investigativo y colaborativo realizó un proyecto de investigación sobre la adopción e impacto de estas tecnologías, teniendo en cuenta la importancia de la altillanura colombiana como despensa agropecuaria y buscó determinar nuevas áreas para la producción, en alianza con varias entidades públicas y privadas (desde los años ochenta) como el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y, posteriormente, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), pues hasta ese momento no existían estudios multidimensionales de impacto para esta región.

Este libro, compila y describe las ofertas generadas y adoptadas por los productores de la región, el impacto generado, durante dos décadas, en dos vías: la estimación económica (método de excedentes económicos) y la percepción de los productores en el ámbito social y ambiental, estos últimos, basados en metodologías diseñadas por Embrapa de Brasil (Ambitec). El grupo investigativo espera que estos resultados sirvan a la comunidad académica, a las entidades tomadoras de decisiones y a nuestros productores agropecuarios.



BAC

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: **bac@agrosavia.co**

TELÉFONO: **(57 1) 422 73 00 EXT. 1257 o 1274**

SKYPE: **biblioteca.agropecuaria**

www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta



**El campo
es de todos**

Minagricultura