
USOS DE SUELOS EN SABANAS. ESBOZO TRANSATLÁNTICO: SUR AMÉRICA Y ÁFRICA CENTRO OCCIDENTAL

*Michel Brossard
Luiz Carlos Balbino
Edmond Hien
Ndeye Yacine Badiane Ndour
Jean-Claude Leprun
Danilo López-Hernández*

INTRODUCCIÓN

Las sabanas ocupan 43% de la superficie terrestre, y representan el primer bioma intertropical distribuido en América del Sur, África, Australia y Asia del Sur. Su composición vegetal se caracteriza por asociaciones de herbáceas con la presencia o no de árboles. Los climas en que se desarrollan son contrastantes, caracterizados por la alternancia bien marcada de una estación de lluvias y una estación seca, con pluviometría esencialmente mono-modal, condiciones que son importantes para el manejo agro-silvo-pastoril de sus suelos. Algunos puntos claves de debates sobre estos ecosistemas fueron presentados en el último simposio internacional sobre sabanas (Faleiro y Farías Neto, 2008), pero sin tomar en cuenta las diversidades de sus ecosistemas (biomas) y las consecuencias que esto tiene en las agriculturas que en ellos se desarrollan. En efecto, a pesar de su apariencia homogénea, los biomas de sabanas tienen sus particularidades y en ellos se ha observado un desarrollo diverso de las prácticas y sistemas agrícolas.

En este capítulo, después de presentar los contextos ambientales generales de las sabanas de América del Sur y del África del Oeste, se hace una presentación acerca de los suelos y de sus principales limitaciones naturales, para esbozar cual ha sido la evolución de las agriculturas del África del Oeste y del Cerrado y los Llanos del Orinoco con sus principales características. Específicamente, en lo que concierne a los suelos, la comparación de sus contextos a ambos lados del Atlántico muestra que las condiciones de su formación y comportamiento varían de manera notable. Al final, se presentan las opciones de uso y manejos de las sabanas que se han adoptados en los últimos años, y que pueden ser alternativas sostenibles en los contextos globales.

Los grandes ambientes de sabanas: comparación de los ambientes africanos y americanos

El Cuadro 3.1 resume los aspectos más importantes de comparación entre los biomas existentes en las tres regiones biogeográficas. Los comentarios de dicho cuadro llevan a consideraciones sobre el funcionamiento de los ecosistemas. Este tipo de comparación fue hecho originalmente en una publicación sobre las regiones semi-áridas del Sahel africano y de la Caatinga brasilera (Leprun, 1992), posteriormente otras comparaciones han sido realizadas (López-Hernández *et al.*, 2011).

Cuadro 3.1. Comparación de los ambientes en Cerrado, Llanos y sabanas del África del Oeste

	Cerrado	Llanos colombo-venezolanos	Oeste africano
Situación geográfica	Continental entre Amazonía y trópico de Capricornio	Cuenca sedimentaria entre los Andes y las Cordilleras Caribeñas y el escudo de Guyana, abierta hacia el Atlántico	Continental acentuada en la regiones norte (efecto del Sahara) y del centro del continente
Superficie km²	2,04 x 10 ⁶	0,48 x 10 ⁶	5 x 10 ⁶
Clima y erosividad de las lluvias, pluviosidad anual (mm), meses de sequía	Isotérmicos, Tropical Aw*, templado por la altitud; lluvias erosivas (R _{usa} = 700 a 1000 mm) (P= 700-2200) (5-7 meses)	Isohipertérmicos, Tropical Aw*, caliente, lluvias intensas, (P= 600-1400) (3-8 meses)	Isohipertérmicos, Tropical Aw* y Semi-árido caliente al norte Bsh*, más caliente, aire muy seco, (P = 600 a 1400 mm) Lluvias erosivas (R _{usa} = 260-500 mm)
Litología	Sedimentos metamorfizados, areniscas, alteración profunda y intensa	Sedimentos del Terciario superior y Cuaternario, corazas, alteración superficial poco intensa en comparación con otras regiones	Sedimentarias y cristalinas dominantes, muy alteradas, corazas
Tectónica	Activa durante el Terciario y Cuaternario	Activa durante el Cuaternario	Estable desde el Terciario
Relieve y red hidrográfica	Suave ondulado, sucesión de mesetas, módulos constantes, entre 500 y 1000 m de altitud, entallados por las nacientes de tres importantes cuencas hidrográficas de drenaje del Brasil, exorreico.	Plano, baja altitud (≤ 300 m), exorreico,	Plano, sin crestas, encorazado. Baja altitud (≤ 500 m) con algunos relieves marcados (500-1000 m) Endorreico, red ramificada, crecidas violentas
Suelos	Texturas variadas según la litología, profundos, caolinita-goetita-gibbsita, alta porosidad, buenas propiedades físicas, humedad alta, desaturados, ácidos a poco ácidos, riqueza química natural baja.	Texturas variadas según el tipo de sedimento, diferenciación lateral dependiente del sistema de drenaje, drenaje variado. Mineralogía refleja el material de origen (illita, caolinita, vermiculita, esmectitas en las arcillas)	En general arenosos, de poca espesura, pero con corazas, profundidad útil muchas veces limitante, caolinita-hematita-goetita, encostrados, desaturados en cationes, baja porosidad, propiedades físicas mediocres, humedad baja, riqueza química natural media a baja
Aguas	Poco mineralizadas	Levemente ácidas	Poco mineralizadas
Escurrimiento superficial	Inexistente naturalmente, importante en monocultivos convencionales	Leve en llanos no inundables bien drenados, importantes en llanos anegados	Importante
Vegetación	Bosques, sabanas boscosas, sabanas, y formaciones vegetales variadas atlánticas o amazónicas asociadas en los valles	Dependiente de la topografía y de los suelos, variadas entre sabanas, bosques, formaciones inundables	Sabanas arbóreas y estepas
Fauna	Herbívoros raros, insectívoros y carnívoros. Termitas, hormigas, lombrices.	Herbívoros raros, insectívoros y carnívoros. Termitas, hormigas, lombrices.	Grande herbívoros, insectívoros, carnívoros. Termitas, hormigas, lombrices
Población	Urbana, emigrante de otras regiones	Rural	Rural
Actividades agrícolas	Recientes (50 años), cultivos de renta intensivos de altos insumos, mecanización pesada, ganadería extensiva e intensiva. Quemadas.	Ganadería tradicional extensiva. Cultivos recientes y ganadería más intensiva. Mecanización. Quemadas.	De subsistencia, antiguas (>2000 años), quemadas anuales, cultivos itinerantes, poco mecanizados, sobrepastoreo
Degradación física	Compactación, erosión linear, barrancos	Variadas, compactación, sellado, erosión linear	Erosión laminar, sellado, barrancos
Degradación química	Acidificación, toxicidad aluminica, biocidas	Desbalances iónicos, biocidas	Empobrecimiento, lixiviación, biocidas

* Tipología Köppen (Peel *et al.*, 2007).

Aspectos geológicos

Los contextos morfológicos y geológicos son de primera importancia en la formación y manejo de los suelos, en el modo de ocupación de las sabanas, y las explotaciones agrícolas escogidas. En ambas regiones continentales las litologías son diversas.

Por un lado, tenemos en África las formaciones cristalinas de la plataforma Precámbrica con migmatitas, granitos y rocas básicas. Sin embargo, lo que domina en extensión en las sabanas africanas son las formaciones sedimentarias del Secundario y Terciario (areniscas, esquistos, calizas). El basamento Precámbrico también aflora en el Cerrado, con materiales esencialmente sedimentarios metamorfizados.

Por el otro lado, en el caso de los Llanos, es de resaltar la edad joven de los materiales (Terciario y Cuaternario). La parte africana se destaca por su estabilidad tectónica, en cambio el Cerrado no ha cesado de elevarse desde el Secundario y la cuenca de los Llanos continúa formándose desde el Terciario.

Aspectos agroclimáticos

El contexto edafológico y agroclimático varía entre los continentes (Cuadro 3.1). En relación a las regiones agroclimáticas (sensu Pieri, 1989), los biomas Cerrado y Llanos presentan una vegetación natural de tipo sabana arbustiva y arbórea, la cual es más arbórea en el Cerrado, la pluviosidad se distribuye entre 700 a 2200 mm anuales, con una estación seca más extendida y una amplitud pluviométrica bien importante en el Cerrado. El Cerrado y los Llanos presentan similitudes bioclimáticas con las sabanas subsaharianas que se entienden del este al oeste del continente africano (Figura 3.1).

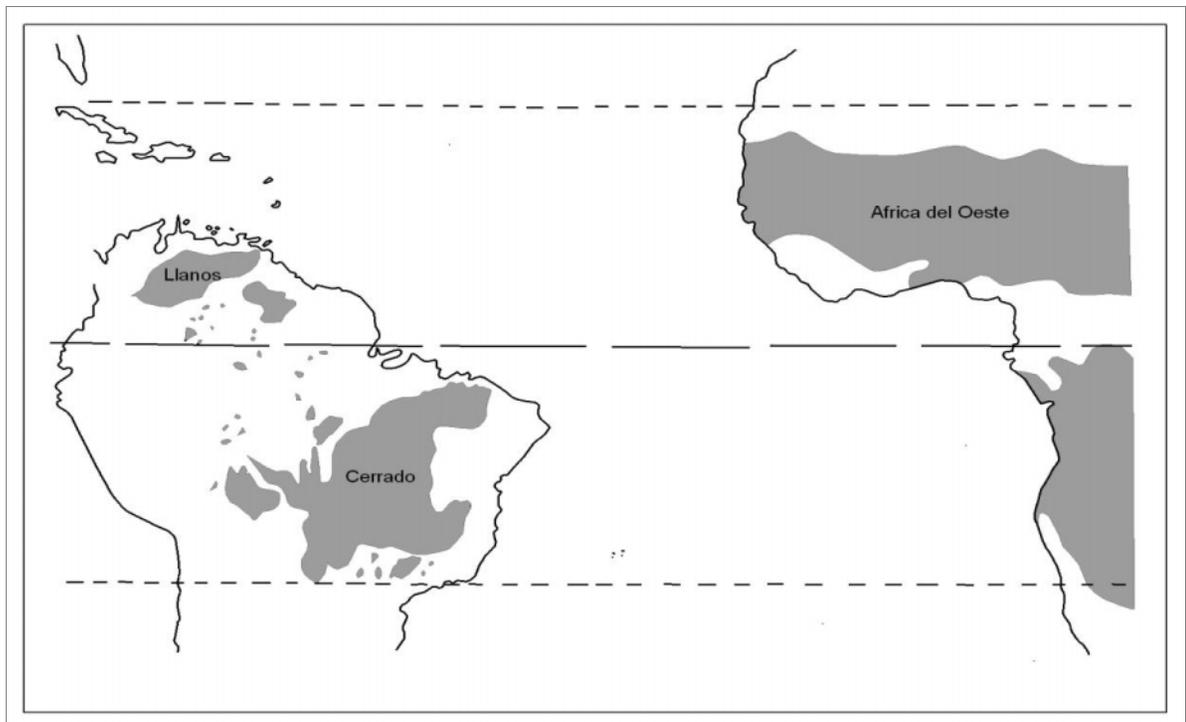


Figura 3.1. Distribución en los dos lados del Atlántico de los biomas de las sabanas consideradas.

Las sabanas africanas representan 40% de la superficie del continente. Estas regiones, denominadas sudanesa, sudano-guineana al norte de la cuenca congoleña, presentan una vegetación natural de tipo arbustivo y arbórea, con lluvias de 500 a 1100 mm anuales. Son regiones de alta importancia demográfica pues corresponden a 16 países de África. En África del oeste, o África Centro Occidental (Senegal, Guinea, Costa de Marfil, Burkina Faso, Malí, Ghana, Benin, Nigeria, Togo, norte de Camerún, Chad y África Central) los suelos de textura arenosa son muy extendidos, los materiales son intensamente alterados, con poca materia orgánica, neutros a poco ácidos, pueden estar desaturados de bases cambiables, y son muy sensibles a mecanismos de erosión laminar. Al contrario, los suelos de los Llanos presentan, por lo general, texturas más finas y los del Cerrado texturas variadas en relación con la litología (Balbino *et al.*, 2002).

Las formaciones vegetales

Las formaciones vegetales de las sabanas africanas (Encarte 3.1, Figura 3.2) se presentan como ecosistemas bastante abiertos, por ser en su extensión latitudinal muy sensibles a los efectos del cambio climático ocurrido en los últimos 40 años. En la actualidad, tal desequilibrio aumenta del sur al norte, en una época donde las necesidades de producción se acrecientan y en consecuencia las presiones sobre el ambiente aumentan. Los efectos del fuego son importantes, y forman parte de un tríptico sabana-fuego-hombre (Menaut, 1993), particularmente, la proporción de especies leñosas y herbáceas ha sido modificada en función de objetivos pecuarios (Kornelius *et al.* 1979; Gillon, 1983).

Encarte 3.1. La vegetación de sabanas del África del oeste

Las subdivisiones fitogeográficas y climáticas se sobreponen, y dos conjuntos de vegetación aparecen: el conjunto saheliano semi-árido y el conjunto sudaniano. Entre estos dos, es difícil percibir los límites de separación, las transiciones son graduales tanto en la proporción de estratos herbáceos y arbóreos como en densidad, el efecto de las tallas, y la aparición de nuevas especies. Del norte al sur, desde el Sahara, sin tomar en cuenta la zona pastoral xérica saheliana estricta, aparecen las sabanas secas (con precipitaciones en la actualidad de 400 mm que hasta los años 1970 fueron de 600 mm). Esta zona es de agricultura precaria. Sigue una zona de sabanas arbustivas y boscosas (zona sudano-saheliana, sudanesa, y sudano-guineana) con pluviometría monomodal entre 500 y 1200 mm, la agricultura está bien establecida. Un árbol caracteriza muy bien estas sabanas, es el karité (*Butyrospermum parkii*), las otras especies arbóreas son el *Bombax costatum* (mariguano, "kapokier"), *Anogeissus leiocarpus*, *Tamarindus indica* (Tamarindo), *Parkia biglobosa* (Néré). Las herbáceas *Ctenium elegans*, *Andropogon gayanus*, *Loudetia togoensis*, *Vetiveria nigritana*, *Pennisetum pedicellatum*. Existen formaciones vegetales edáficas asociadas a ambientes particulares como es el caso de los suelos hidromórficos, los vertisoles, los suelos estrictamente arenosos y las corazas desmanteladas (gravas) que representan grandes superficies.

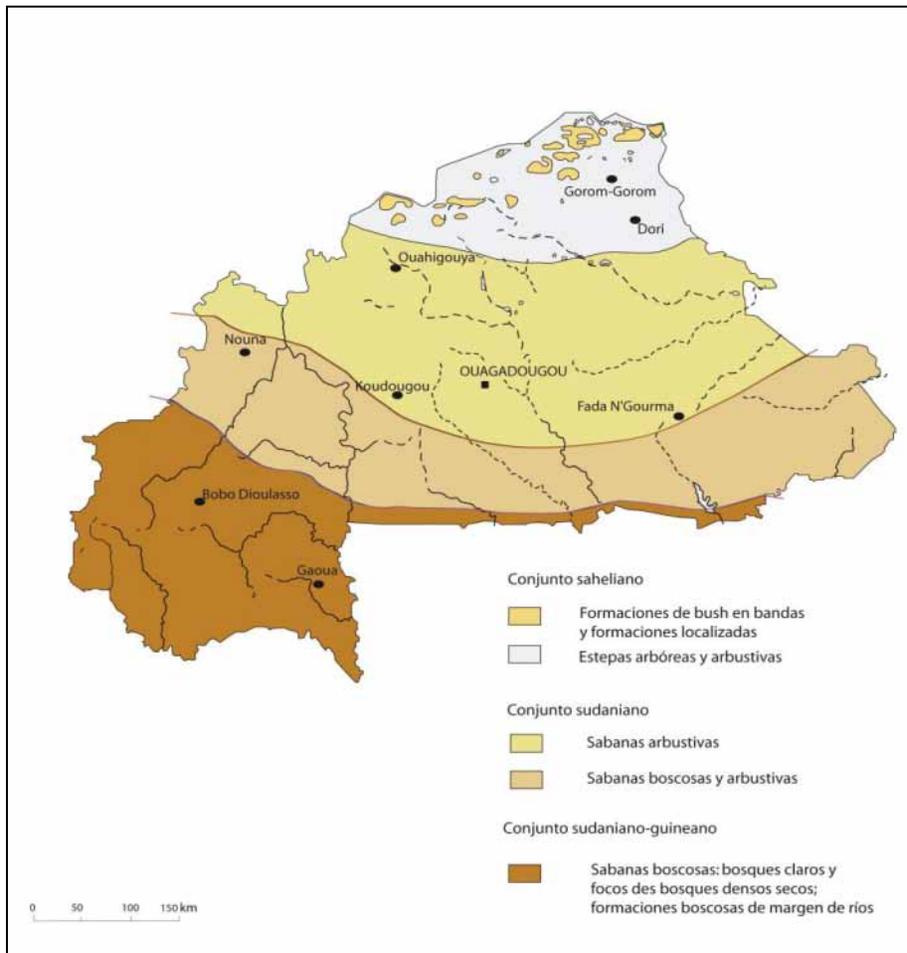


Figura 3.2. Ejemplo en Burkina Faso de la distribución latitudinal de los conjuntos de vegetación de las sabanas del África sud-sahariana.

En cambio, las grandes sabanas americanas se presentan bajo un contexto climático más favorable. La localización continental del Cerrado, entre climas húmedos al sur, norte y sur este (Figura 3.3), a pesar de tener una abertura hacia un clima más seco hacia el noroeste, muestra que en su estructura y naturaleza, la vegetación se organiza como una formación vegetal continua, con una riqueza específica que le permite adaptarse a los cambios correspondientes a las fluctuaciones climáticas pasadas que fueron o más húmedas o más secas que las condiciones actuales (Salgado-Labouriau *et al.*, 1997; Desjardins *et al.*, 1997).

Los suelos profundos en el Cerrado, son una de las claves para el funcionamiento de estos sistemas, al compensarse la aridez climática de una parte del año por una reserva hídrica en profundidad, o al permitir un drenaje eficaz en periodos de alta pluviosidad. Podemos considerar este bioma como relativamente resistente, adaptado, reconstruible, siempre y cuando los focos de biodiversidad y la continuidad de ambientes naturales se mantengan. Una de las características del Cerrado, es que al contrario de las sabanas africanas, las cuales son muy dependientes de las lluvias a escala del bioma, la distribución de sus fisionomías del Cerrado (Encarte 3.2) no es controlada por las diferencias pluviométricas (Eiten, 1972; Eiten y Sambuichi, 1996).

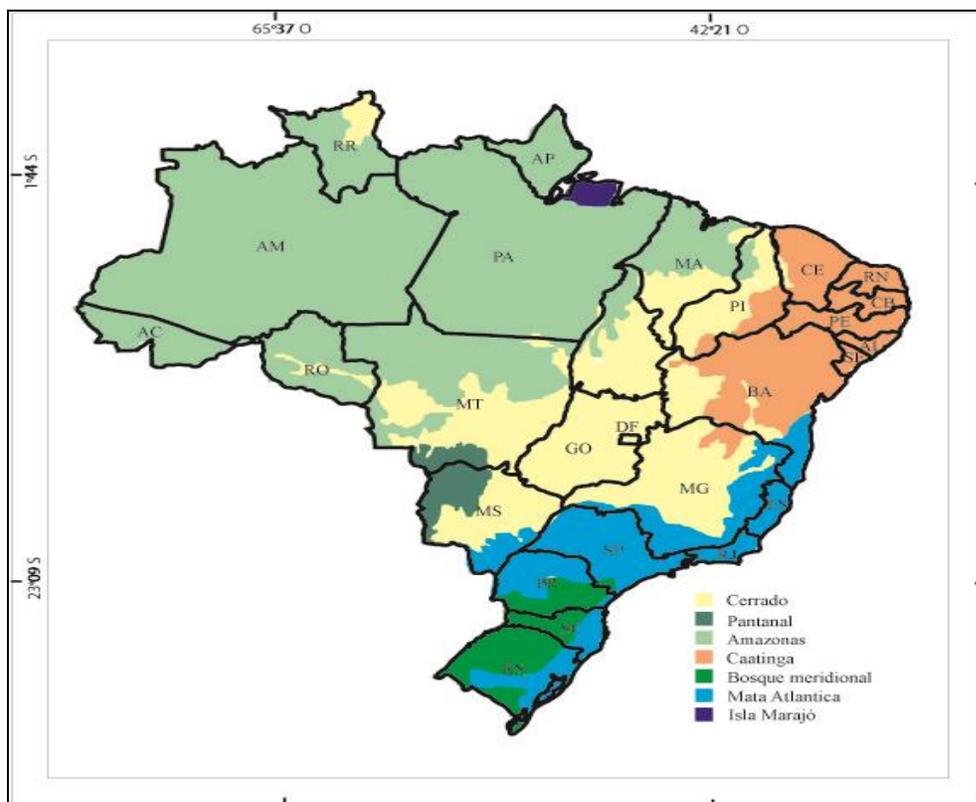


Figura 3.3. Localización del Cerrado entre los otros biomas y los diferentes estados del Brasil (en esta escala la Caatinga representa las regiones áridas y semi-áridas).

Encarte 3.2. Las vegetaciones del Cerrado (Ribeiro y Walter, 2008)

Son formaciones de bosques, sabanas arbóreas y sabanas herbáceas. Los bosques corresponden a los bosques de galerías, bosques secos (caducifolios) y el Cerrado que es un bosque xeromórfico con un estrato arbóreo dominante y estrato herbáceo casi ausente. Las formas de sabanas comprenden el “Cerrado sensu stricto”, sabanas de estratos arbóreas, arbustivas y herbáceas bien representadas (sabana boscosa). Los palmares se encuentran en suelos bien drenados, y las “veredas” corresponden a los palmares de los suelos hidromórficos. Las sabanas herbáceas, “campo sujo” (sabana abierta) donde el estrato arbóreo nunca es superior a 6% de densidad, el “campo rupestre” que tiene asociaciones en los suelos poco espesos, y particularmente litosoles. El “campo limpio” corresponde a la sabana herbácea (sabana pastizal).

En consecuencia, en las sabanas americanas, la vegetación presenta un gradiente determinado por los factores edáficos (Encartes 3.2 y 3.3). Estos factores dependen de la profundidad de aparición del substrato rocoso, así como de la tasa de saturación de los horizontes superficiales por las aguas durante la estación lluviosa (Furley y Ratter, 1988; Oliveira Filho *et al.*, 1989). La tasa de saturación de cationes es también determinada por la naturaleza de los materiales de origen del suelo considerado (Furley y Ratter, 1988).

Encarte 3.3. Las vegetaciones de los Llanos del Orinoco

La vegetación de los llanos venezolanos está constituida por una mezcla de elementos florísticos y un mosaico compuesto de diferentes tipos de vegetación asociada con el paisaje, las características del suelo y las relaciones hídricas. El componente boscoso se asocia con bosques secos (caducifolios) o con bosque de galerías a lo largo de las corrientes de agua. En zonas donde predomina el componente arcilloso en el suelo aparece la palma llanera (*Copernicia tectorum*) y asociados a las corrientes de agua: los grandes morichales (*Mauritia flexuosa*). Sin embargo, las sabanas herbáceas representan el componente más importante, en los suelos con buen drenaje abundan las gramíneas principalmente representadas por *Trachypogon spp.* y *Axonopus spp.* El componente arbóreo en estas sabanas lo representan principalmente el chaparro (*Curatella americana*), Manteco (*Byrsonimia crassifolia*) y Alcornoque llanero (*Bowdichia virgilioides*). En zonas de mal drenaje la vegetación herbácea es más de tipo hidrófilas donde dominan *Himenachne amplexicaulis* y *Leersia hexandra*.

Los grandes tipos de suelos

Vale la pena recordar que históricamente, en los mapeos y las cartografías de suelos de estos biomas, fueron usados por lo menos cinco sistemas de clasificación: Clasificación francesa (CPCS, 1967) en África del oeste; el esquema de Young (1976) en los mapeos hechos por los ingleses; el esquema de la leyenda FAO-UNESCO (1974); la Taxonomía estadounidense (Soil Survey Staff, 1975) y la Clasificación brasileña (Camargo *et al.*, 1987; EMBRAPA, 2006). Se trata, en estos casos, de sistemas de clasificaciones usados por los mismos investigadores que hicieron, tanto los recorridos de campo como los mapas de suelos. No pasó lo mismo por las traducciones posteriores a la creación de la leyenda del sistema FAO de 1974, que se limitaron a realizar artificios puramente intelectuales sin realizar verificaciones de campo.

Los suelos de sabanas, los más cultivados de América (Cuadros 3.1 y 3.2), son generalmente profundos, de textura relativamente homogénea. Estos suelos, constituidos a partir de materiales muy alterados, pueden ser ácidos o muy ácidos, los más extendidos son desaturados en cationes, los problemas químicos que presentan no son tanto de acidez, sino más bien de un déficit de calcio. Están representados, en general, por los rhodic o acric Ferralsols de la leyenda de suelos FAO. Semejantes suelos se encuentran también en la región norte de Mozambique, en Zambia, Tanzania y África central, pero no siempre en sabanas. Algunas regiones de Zimbabwe y de Kenya podrían ser comparables.

En realidad, si tomamos en cuenta la gran variabilidad de suelos observados en sabanas, es imposible generalizar y considerar que existe un “suelo típico de sabana” (Montgomery y Askew, 1983). Los suelos de las sabanas africanas son de grupos variados, caracterizados por arcillas de baja actividad, texturas arenosas dominantes y una extensión importante de corazas de hierro que cuando se desmantelan generan grandes extensiones de suelos de gravillas (por ejemplo en Burkina Faso estas formaciones representan unos 60% del territorio).

Sin embargo, presentamos, para no complicar el marco de referencia, el cual no es puramente de suelos, un conjunto de hechos en el marco actual del WRB World Reference Base (IUSS, 2006). Se nota en el Encarte 3.4, que estos grandes grupos de suelos son visualizados en una escala regional. En el Cuadro 3.2, se presentan las variaciones de algunas propiedades físicas y químicas de los horizontes superficiales de suelos en las 3 grandes regiones estudiadas.

Encarte 3.4. Los suelos encontrados en sabanas según el sistema WRB (IUSS, 2006)

Acrisoles. Se caracterizan por tener una concentración más importante de arcillas en los horizontes sub-superficiales que en el horizonte superficial, las arcillas son de baja actividad (1/1), pueden ser suelos desaturados en cationes. Se desarrollan sobre una grande variabilidad de materiales, pero particularmente sobre arcillas altamente alteradas y en procesos de alteración. [Argissoles del Brasil; parte de los “sols ferrallitiques fortement ou moyennement désaturés” y parte des “ferrugineux tropicaux” de los franceses (Boulet *et al.*, 1968); aparecen como “Ultisols with low activity clays” de los estadounidenses]. Observados en las sabanas de sur América y africanas (son también suelos de bosques); se cultivan en secano o son irrigados, cuando se encalan y con fertilización completa son apropiados para cultivo. Las rotaciones de cultivos anuales con pasturas cultivadas parecen mantener el contenido de materia orgánica (MO). La protección de la superficie del suelo de los mecanismos de erosión y pérdidas de MO son esenciales para conservación de la fertilidad química y física.

Ferralsoles. Son los Oxisoles (USDA), Latosoles (Brasil), Alítico, Ferrítico y Ferralítico (Cuba); Sols ferrallitiques (Francia) y suelos Ferralíticos (Federación Rusa). Profundos, rojos o amarillos, se los considera de los trópicos húmedos, pero representan 49 % de la superficie del Cerrado (Balbino *et al.*, 2002) y son los más cultivados. Los límites son difusos entre horizontes, el conjunto de arcillas está dominado por arcillas de baja actividad (caolinita) y alto contenido de sesquióxidos de hierro y aluminio (goetita, hematita y gibbsita). Se caracterizan por propiedades físicas favorables: la profundidad del suelo es generalmente importante, la permeabilidad notable a causa de una microestructura estable, estos factores los hacen poco susceptibles a la erosión natural.

La fertilidad química natural y la retención de cationes por la fracción mineral del suelo son bajas. La biomasa, en condiciones naturales recicla completamente la mineralomasa, los nutrientes están concentrados en la materia orgánica del suelo (la MO es un elemento clave de la CICE), la introducción de agricultura de altos insumos los agota rápidamente. Son suelos que retienen fuertemente el fósforo (Brossard *et al.* 1998; Chapuis & Brossard, 1998; Corazza *et al.*, 2003). El encalado es usado para combatir la acidez, pero en realidad se opera para cubrir las necesidades de calcio. El uso de yeso se ha desarrollado bastante en Brasil como un aporte de Ca^{2+} móvil; el sulfato del yeso reacciona con los sesquióxidos para producir un efecto de “autoencalado”. Las buenas propiedades físicas de los Ferralsoles y la topografía generalmente llana a suave ondulada han estimulado el cultivo de estos suelos en el Cerrado.

Lixisoles. Como los Acrisoles, el contenido de arcillas es superior en profundidad, pero en este caso no son desaturados en cationes, aunque puedan contener arcillas de baja actividad en ciertos horizontes. Los Lixisoles (Alfisoles, USDA) que aún permanecen bajo sabana natural o vegetación forestal abierta son utilizados para pastoreo de baja intensidad. Tienen los mismos problemas de sensibilidad a las lluvias erosivas y pérdidas de MO que los acrisoles. Son sensibles a la compactación, ya que por poseer baja estabilidad estructural, el deterioro de la estructura es un proceso común.

Medidas de control de labranzas y erosión tales como terrazas, labores en contorno, cobertura con rastrojo y uso de cultivos de cobertura ayudan a conservar el suelo. El bajo contenido de nutrientes para las plantas y la baja retención de cationes hacen que la aplicación recurrente de fertilizantes y/o calcáreo sean una precondition para el cultivo continuo. Los Lixisoles deteriorados química o físicamente se regeneran muy lentamente cuando no se les reclama oportunamente. En ellos deben preferirse los cultivos perennes a los anuales, particularmente en tierras en pendiente. La producción de cultivos de tubérculo (yuca y papa dulce) o maní, incrementan el peligro de deterioro y erosión del suelo. La rotación de cultivos anuales con pasturas mejoradas ha sido recomendada para mantener o mejorar el contenido de materia orgánica del suelo.

Encarte 3.4. (continuación)

Nitisoles. Se encuentran predominantemente en tierras llanas hasta con colinas bajo bosque lluvioso tropical o vegetación de sabana. La formación de plintita está asociada con áreas llanas a suavemente inclinadas con nivel freático fluctuante o agua superficial estancada (suelos parcialmente hidromórficos). Un concepto ampliamente aceptado es que la plintita está asociada con áreas de selva lluviosa (plintita blanda) mientras que suelos petroplínticos y pisolíticos son más comunes en la zona de sabana. Para los franceses, los suelos pisolíticos, son el resultado de la alteración de grandes extensiones de corazas que poco a poco han ido dismantelando (“sols gravillonnaires”). Áreas extensas con pisolitos y petroplintita ocurren en la zona de Sudán-Sahel, donde la petroplintita forma cubiertas duras arriba de elementos del paisaje sobre-elevados/expuestos. Suelos similares ocurren en la sabana del sur de África, en el subcontinente Indio, y en partes más secas del Sudeste Asiático y norte de Australia. La asociación en una misma clase de nitisoles hidromórficos con suelos derivados de fuertes alteraciones donde el único material remanente sean las corazas, es compleja.

Vertisoles. Son suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expandibles (2/1). Se les conoce como “suelos pesados”. Estos suelos forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan, lo que ocurre con frecuencia. Nombres comunes locales para muchos Vertisoles son suelos negros de algodón, regur (India), black turf soils (Sudáfrica), margalites (Indonesia), Vertosols (Australia), Vertissolos (Brasil), y Vertisoles (Estados Unidos de Norteamérica). El material parental es formado o por sedimentos que contienen elevada proporción de arcillas expandibles, o arcillas expandibles producidas por neoformación a partir de meteorización de rocas. Se observan en ambientes de depresiones y áreas llanas a onduladas, principalmente en climas tropicales, subtropicales, semiáridos a sub-húmedos y húmedos con una alternancia clara de estación seca y húmeda. La vegetación típica es sabana, pastizal natural y/o bosque. En las zonas sudano-sahelianas las condiciones de alteración actual de las rocas produce arcillas 2/1.

Cuadro 3. 2. Intervalos de valores de algunos parámetros de los horizontes superficiales de suelos del Cerrado, de los Llanos y de África del oeste

	Cerrado	Llanos	África del oeste**
Textura	Arenosa o arcillosa	Franco-arenosa o arcillosa	Areno-arcillosa
Carbono orgánico (g kg ⁻¹)	5 – 24	4 – 15	2,9 - 8,7
Ca ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	4 – 16,2*	0,5 – 15	0,5 – 2,0
Permeabilidad (mm h ⁻¹ en saturación)	Elevada >40-80	Mediana a baja	Baja (11-39)
Estructura	Grumosa	Grumosa y blocosa	Maciza
Estado superficial	No costroso, costrosa en cultivos permanentes mal manejados	Costras inducidas por cultivos permanentes mal manejados	Costrosa
NB	* Ca+Mg para Cerrado		** “Sols ferrugineux”

Agricultura en sabanas

Sabanas Africanas

Al este del Atlántico, las zonas de las sabanas africanas fueron testigos del nacimiento de los grandes imperios de la antigüedad, en estas sabanas se desarrolló una agricultura original basada en cultivos sobre roza y quema durante 3-4 años, seguidos de varios años de barbecho. Estos sistemas

lograron mantener las tierras durante siglos, en un nivel de productividad bajo, pero estable (Pieri, 1989). Esto fue aparentemente compatible con la baja densidad demográfica de la época. Actualmente estas sabanas corresponden a la principal zona de producción de cereales del oeste africano.

Sin embargo, conviene anotar que los sistemas agrícolas de la mayoría de los países del África subsahariana han sido considerablemente alterados en los cuatro últimos decenios debido a los efectos de la sequía y del cambio de uso de las tierras. El uso de las tierras fue modificándose a causa del impulso de políticas agrícolas que modificaron los sistemas productivos (Figura 3.4). La gestión agrícola tradicional fue cambiando con la presión demográfica y las aperturas a la economía de mercado en base a los cultivos de exportación (Floret y Pontanier, 1993).

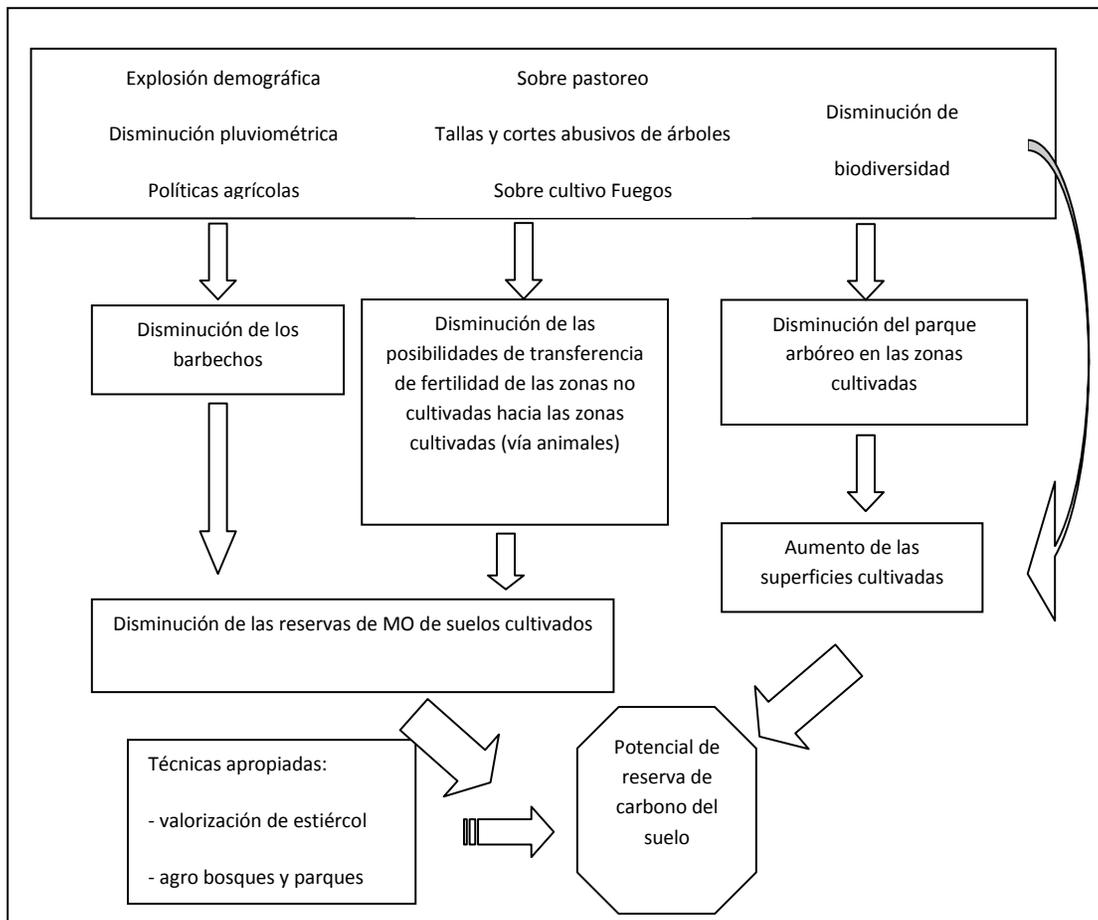


Figura 3.4. Relaciones entre los modos de manejo, fertilidad de suelos y materia orgánica (MO) en la zona central del Burkina Faso (Hien, 2004).

En los mediados de los años 60 del siglo pasado, se estimaba que la introducción del mani¹⁹ necesitó una extensión de las tierras cultivadas en detrimento del espacio silvo-pastoril, la rotación

¹⁹ Los cultivos de oleoproteaginosos fueron impulsados en África por los europeos después de la segunda guerra mundial como una solución a los acuerdos de 1947 con USA, que impusieron a Europa una reducción de esos cultivos para favorecer los cultivos y exportaciones estadounidenses de soja.

trienal maní-cereal-barbecho substituyendo la rotación cereal-barbecho ganadero (Pelissier, 1966). Tal situación se reporta en la región de Casamance del Senegal, donde los bosques fueron intensamente transformados en zonas de cultivos y regiones de suelos marginales fueron dedicadas a la agricultura (Pieri, 1989). El resultado es que actualmente, los barbechos son raros en las regiones de alta densidad demográfica, y ha disminuido el retorno de materia orgánica para mantener o restaurar la fertilidad de los suelos. Pieri (1991) estimó que el balance de nitrógeno era negativo para la mayoría de los sistemas de cultivo actualmente en uso en África del oeste, el déficit anual puede llegar a 25 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

En lo que concierne al uso de abonos orgánicos, el problema esencial del empleo de estos residuos orgánicos es su disponibilidad. En efecto, se usan principalmente los residuos de cultivos como alimento animal, y como accesorio doméstico (combustibles, cercas). Las deyecciones animales son igualmente usadas como combustible; se estima que el confinamiento de los animales en parcelas solo representa 15% de las superficies agrícolas (Berger, 1991), y esta práctica se mantiene únicamente en parcelas situadas en la proximidad inmediata de los pueblos. En este contexto, Pieri (1989) estimó que la fertilidad de las tierras cultivadas no puede ser conservada mediante el uso de barbechos de solamente mediana duración que no permiten compensar las exportaciones minerales por los cultivos. El manejo inapropiado de los recursos orgánicos lleva a degradaciones de los suelos cultivados, con disminución de los niveles de fertilidad química y de los rendimientos agrícolas que ya fueron relatados hace más de tres décadas (Siband, 1974).

De la misma manera, la disminución de fertilidad de los suelos arenosos debe ser atribuida globalmente al decrecimiento de los contenidos de materia orgánica (MO) y a la alteración de las propiedades físicas que provoca (Dugué, 1998). Por ejemplo, las superficies de tierras con vocación agrícola de Burkina Faso se estiman en 8,9 Mha, de las cuales unos 3,5 Mha (39%) son anualmente cultivados. Así, la presión sobre estas tierras es importante, si bien en la zona central del país los barbechos casi han desaparecido como sistema de manejo de los cultivos.

Además, en todo el África subsahariana, los costos de transporte de los fertilizantes minerales son elevados (Sánchez, 2002). El uso de estos es bajo y se dedica a los cultivos de renta, principalmente el algodón (Mahdavi, 1991). El manejo extensivo del ganado es dominante, y como la integración agricultura-ganadería es poco desarrollada, no se producen significantes masas de estiércol (Sedogo, 1993; Djenontin *et al.*, 2009).

Sabanas Americanas

Al contrario de la evolución de los sistemas de producción africanos, en las sabanas americanas se han conocido otros tipos de desarrollo. Las características del ambiente físico determinaron durante muchos decenios que los biomas de sabanas americanas fueran considerados como inadecuados para la producción agrícola, y estos ambientes quedaron restringidos a una ganadería extensiva. Las sabanas americanas eran únicamente pobladas por escasas y dispersas poblaciones indígenas las cuales llegaron a Suramérica hace unos 12 000 años (Barbosa y Schmitz, 1998), lo que contribuyó a que no se produjeran drásticos efectos sobre el paisaje (López-Hernández, 1995).

Así, hasta la década de 1960, puede considerarse que las sabanas sud-americanas fueron poco antropizadas. En Venezuela, hasta la primera parte del siglo XX, la agricultura en sabana fue de subsistencia, limitada a los suelos sobre aluviones recientes de las márgenes de ríos (López-Hernández y Ojeda, 1996). Las actividades agrícolas eran principalmente de ganadería extensiva con uso del fuego para eliminar el material lignoso de las especies nativas y favorecer el rebrote de herbáceas (Kornelius *et al.*, 1979; López-Hernández, 1995; Lopes *et al.*, 1999; Hernández-Valencia y López-Hernández, 1999). A estos usos, se agregaba una explotación paralela de la biodiversidad (vegetal y

animal) nativa (Barbosa y Schmiz, 1998; Oliveira y Marquis, 2002).

La agricultura adquiere una importancia en las sabanas del Orinoco colombo-venezolano, cuando se toman esquemas de producción asociados a una fuerte fertilización con abonos sintéticos solubles y a la introducción de productos fitosanitarios (Sánchez, 1989; López-Hernández y Ojeda, 1996).

En el Cerrado el mecanismo fue similar (Goedert, 1983; Lopes *et al.*, 1999), en ambos casos esto fue fruto de políticas agrícolas gubernamentales voluntaristas. La extensión de la producción vegetal movilizó la introducción y/o la producción de cultivares mejorados, y el desarrollo de irrigación, la cual inicialmente no estaba prevista. En los últimos 50 años, tanto en los Llanos como en el Cerrado, los pastizales naturales, adaptados a los suelos, fueron transformados en pastizales cultivados con especies introducidas de África, principalmente de los géneros *Brachiaria* (i.e. *Urochloa*) y *Andropogon* (Pizarro *et al.*, 1996).

En lo que concierne a la agricultura orgánica, al igual que en África, el problema principal del empleo de estos residuos orgánicos es su disponibilidad. Sin embargo, las deyecciones animales no son usadas como combustibles, sino más bien como abono en huertos caseros o en sitios cercados donde se recoge el ganado por las noches (corrales). Los corrales llaneros son pequeñas áreas de sabanas por lo general ubicadas cerca de la casa del dueño del rebaño donde se confina el ganado durante la noche a lo largo de periodos de varios meses. Después que el ganado es sacado del lugar, los potreros abandonados, ricos en excretas, se siembran con diferentes variedades de cultivos en una forma diversificada parecida al conuco tradicional (López-Hernández *et al.*, 2010).

La deforestación del Cerrado se realizó bajo el siguiente proceso: después del corte, extracción de maderas y leñas y quema de los restos, se sembraba el arroz para roturar, y posteriormente se procedía a sembrar el pastizal, principal rubro de los sistemas de producción. Cabe señalar que en Brasil en épocas recientes, la siderúrgica del estado del Minas Gerais ha utilizado todavía como fuente de energía el carbón vegetal proveniente de los cortes de las sabanas y bosques del Cerrado (Anónimo, 1993; Carvalho y Muniz, 1996).

El modelo de agricultura era minero, es decir sin retorno de nutrientes y sin criterios racionales de manejo, por lo que la degradación del pastizal era bastante acelerada, en dos a cinco años, se transformaban en pastizales de bajo soporte animal. Actualmente (2009-2010), la ganadería del Cerrado abriga más del 40% del rebaño brasilero proveyendo 58% de la producción nacional de carne bovina y 20% de la producción de leche. Sin embargo, en los años 1990 se estimaba que 50 Mha de pastizales cultivados del Cerrado estaban en niveles bajos de producción y con procesos de degradación de los suelos (Kluthcouski *et al.*, 1999).

Finalmente, el aumento de la producción agrícola del Cerrado, y particularmente de granos, fue el resultado tanto de expansión de superficies como del aumento de la productividad unitaria. Al inicio de la década de 1970, aproximadamente 4,5 Mha estaban ocupadas por la producción de granos, produciéndose unos 5,2 Mt. A mediados de la década de los 70, aumenta el índice de productividad y nuevas áreas son abiertas. Actualmente son 14 Mha en cultivos de granos (soja 59%, maíz 26%) y 3,5 Mha en silvicultura comercial (pinos y eucaliptos). Globalmente el mecanismo fue completamente apoyado y dinamizado por políticas públicas, particularmente por el bajo precio de las tierras (pero también fue objeto de especulación en el Cerrado la adquisición de tierras pues estas fueron ofrecidas a precios muy atractivos por el estado federal).

La deforestación y el uso de la tierra han sido contrastantes en los llanos de Colombia y Venezuela. Al principio y hasta comienzo de la década de 1950, el uso principal en ambos casos era para la ganadería extensiva (menos 0,4 unidades animal/ha). Se diferencian luego los dos países con

una agresiva política de subsidio gubernamental en Venezuela para la introducción de pastos mejorados que en la actualidad alcanzan a una 5×10^6 ha, mientras que para los cultivos esta área es de 1×10^6 ha. Mas tardíamente en Colombia (década de 1970), se ha intensificado la ganadería y agricultura en sabanas alcanzando en los últimos años, las siguientes extensiones: $0,1 \times 10^6$ ha y $0,4 \times 10^6$ ha, respectivamente (Rondón *et al.* 2006), este proceso sin duda ha sido retardado por la situación de guerra que ha vivido ese país.

En lo que respecta a la silvicultura en las sabanas del Orinoco, en los llanos venezolanos se encuentra una de las plantaciones de pinos tropicales (*Pinus caribaea, var. hondurensis*) con fines comerciales más extensa ($0,8 \times 10^6$ ha), mientras que en Colombia las plantaciones comerciales alcanzan $0,1 \times 10^6$ ha (Rondón *et al.* 2006).

El uso de sabanas, cambios climáticos, y grandes ciclos biogeoquímicos

Se puede considerar que las sabanas se encuentran actualmente en la confluencia de debates centrales en donde se confrontan, por un lado, la capacidad de preservación de funciones de biodiversidad, y por el otro, la capacidad productiva agro-silvo-pastoril. En efecto desde Rio92, se considera como de primordial importancia la capacidad de los bosques (considerado como el servicio eco-sistémico de sus biomásas y sus suelos) de acumular, secuestrar y asimilar el dióxido de carbono. En consecuencia, las opiniones internacionales coinciden en oponerse cada vez más a la deforestación, llegando hasta considerar que se deben sustraer los bosques del balance en la disponibilidad de suelos para cultivos (Fischer y Heilig, 1997). Tal postura implicaría que únicamente los suelos de sabanas deben ser dedicados a nuevos usos y estrategias. Esto ha sido particularmente bien defendido en el caso del Cerrado donde la superficie de pastizales cultivados, que habían llegado a un nivel de baja productividad, alcanzó 50×10^6 ha, lo que ha llevado a considerar que son una reserva de suelos cultivables una vez desforestados. Se piensa que esto frenaría, aunque aun no demostrado, la especulación en dirección del bosque amazónico (Bertrand *et al.*, 2005; Théry y Mello, 2005).

Si bien, estas consideraciones se aplican al debate sur-americano, parecen a primera vista fuera de propósito en África del oeste, donde las preocupaciones son más triviales, de necesidades inmediatas, y en donde el quehacer diario es alrededor de la producción alimentos que debe ser mejorada dado el aumento de la población y la dependencia cada vez más acentuada de las importaciones de alimentos.

Bajo este orden de ideas, conviene tomar en consideración la relación que pueden tener los cambios climáticos y los suelos (Bernoux *et al.*, 2005). Una de las particularidades del uso de las sabanas americanas fue, y aún es, la transformación del uso de las tierras (Brossard y Barcellos, 2005; López-Hernández *et al.*, 2005; Goedert *et al.*, 2008). Tradicionalmente en las Américas, el pastoreo era extensivo (Euclides Filho, 2008), como lo es actualmente en partes de sabanas africanas (Djenontin *et al.*, 2009). Una de las estrategias en los Llanos y en el Cerrado para levantar las limitaciones de baja producción de las especies nativas, fue la introducción de gramíneas africanas. Estas han incrementado, al parecer, los contenidos de carbono de los suelos (Corazza *et al.*, 1999; Chapuis Lardy *et al.*, 2002; Ojeda *et al.*, 2009), aunque los resultados no sean todavía muy claros en muchos casos (Bustamante *et al.*, 2006). Los trabajos entre la relación del contenido de carbono y los modos de manejo y de usos de tierras todavía tienen que ser mejorados, y debe darse más atención a una contabilización regional del fenómeno (Polwson *et al.*, 2011).

El segundo factor que debemos tomar en cuenta es el manejo del nitrógeno asociado a la fertilización, las emisiones de N_2O podrían ser estimuladas bajo ese manejo, pero faltan datos por regiones que permitan concluir y responder coherentemente. En lo que se refiere al manejo de los pastizales, Barcellos *et al.* (2008) consideran que la solución se encuentra en las asociaciones con

leguminosas forrajeras. Estos autores señalan que los estudios que relacionan el papel de las leguminosas como componente de control y de *mitigación* de los emisiones de gases con efecto invernadero (GEI), son relativamente escasos en los ambientes de sabanas. Los aspectos positivos de las leguminosas en el aumento de la producción primaria de forraje, en el desarrollo animal, y en el mantenimiento de las propiedades de los suelos son conocidos. No obstante, se necesita todavía ofrecer técnicas de evaluación suficientemente validadas para confirmar la estrategia de manejo basada en leguminosas.

En África, la degradación de las condiciones climáticas entre 1968 y 1973, período de sequía que se prolongó hasta 2002 (Somé, 1989; L'Hôte *et al.*, 2002), tuvo un impacto considerable sobre las fitocenosis con una fuerte mortalidad de numerosas especies herbáceas gramináceas y otras, y disminución de la productividad primaria en relación a la perturbación de los ciclos fenológicos. En el Cerrado, uno de los principales problemas de actualidad, es el posible aumento de la temperatura media que modificaría considerablemente los esquemas agrícolas existentes, disminuyendo particularmente la productividad primaria de la plantas oleo-proteínicas (Assad *et al.*, 2008).

En el cuadro del protocolo de Kyoto (2001), se organizó un mecanismo para un desarrollo de energías limpias (Mdp). Este instrumento lleva a las entidades diversas del Norte y del Sur a asociarse para la reducción de las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI). Uno de los mecanismos "flexibles" atribuye un valor de cambio (económico) a las reacciones de emisiones de CO₂ e inducen de esa manera la creación de un mercado del carbono. Ese mercado fue encuadrado por reglas estrictas de participación. En el Protocolo de Kyoto, cada país debe hacer el inventario de los flujos en GEI tomando en cuenta los suelos. Lógicamente se deberá llegar a la posibilidad de hacer a nivel nacional simulaciones de los efectos de cambios de manejos y prácticas sobre el balance de GEI. En lo que se refiere a los suelos, es necesario que se simulen los modos de gestión y las prácticas que pueden ser secuestradoras de carbono en escalas de haciendas, regional y multi-regional. En efecto, los resultados actuales provienen solamente de unos pocos estudios locales, a partir de los cuales extrapolaciones y proyectos especializados deben apoyarse en más investigaciones.

Si bien, los países africanos no son grandes emisores de GEI, el Brasil se está convirtiendo en uno de ellos (Bernoux *et al.*, 2005), igual ocurre en los llanos venezolanos debido a la intensa actividad petrolera, particularmente en la región centro oriental. Puede admitirse que el impacto de estos protocolos ambientales estimula investigaciones que son promotoras de mejoras en el manejo, únicamente porque se apoyan en la conservación de la materia orgánica del suelo. Finalmente, debemos siempre recordar que el mantenimiento de la materia orgánica en el suelo siempre será una de las principales claves de la fertilidad de las tierras. Las alternativas que se presentan a continuación ilustran en ciertos casos estas preocupaciones.

Alternativas actuales y sostenibilidad

Desde hace unos veinte años se han establecidos los límites o parámetros que definen un "agroecosistema sostenible" (Conway, 1987). Esto ha llevado a desarrollar en ciertos casos conceptos nuevos de sistemas de producción, en otros, nuevas técnicas o un mejor conocimiento de prácticas antiguas que venían siendo abandonadas frente a la visión modernista del uso de técnicas de altos insumos. En esta sección presentamos algunas alternativas que se han generado para sabanas.

Cerrado

La agricultura brasilera se destacó con la incorporación de los suelos del Cerrado considerados de fertilidad natural baja con una política de altos insumos y del mejoramiento genético de plantas. En los años 1990-95 el “sistema plantío direto” (SPD), sistema sin labranza, introducido desde las regiones del sur, se desarrolló en el Cerrado mostrando una gran adaptación al contexto edafoclimático local²⁰. Sin embargo, el problema del uso de defoliantes, para mantener los pastos entre zafras, con los cultivos no está completamente resuelto, y son pocos los productores que han conseguido suprimirlos. El salto de calidad del SPD, que al final garantiza la viabilidad económica, reside en la diversificación de los cultivos y de las rotaciones. Uno de los resultados interesantes es el impacto en el manejo de la materia orgánica de los suelos (Siquiera Neto *et al.*, 2008).

En este sentido, durante los cinco últimos años la integración cultivo-ganadería-silvicultura o agrosilvicultura (“*integração lavoura-pecuária-floresta*”, iLPF) está siendo estudiada y fomentada para tratar de lograr la sostenibilidad agrícola. Los trabajos iniciales de fitotecnia adaptaron las forrajeras a la sombra, en sistemas silvopastoriles, así poco a poco se asociaron cultivos anuales, considerando las rotaciones y el espacio entre los diferentes cultivos (Soares *et al.*, 2009). Esta integración se realiza en una misma área, con cultivos en consorcios, en sucesión o rotaciones. La idea es la de aprovechar las grandes extensiones existentes de pastizales de baja productividad y con monocultivos (Macedo, 2009), pues globalmente estos sistemas existen de manera aislada. Por otra parte, en el Cerrado, la rotación soya-maíz se estableció rápidamente durante 1970-75, y hasta ahora representa el sistema de rotación más común.

Al inicio, la agricultura en el Cerrado fue dominada por los cultivos de granos, particularmente el arroz de secano, para mejorar las propiedades químicas de los suelos antes al implante de los pastizales cultivados (Cornelius *et al.*, 1979). Las primeras alternativas de integración entre cultivo y ganadería, entre 1980 y 1990, fueron hechas con los sistemas “Barreirão” y “Santa Fé” (Kluthcouski *et al.*, 2003). El “Barreirão” es una forma de recuperar el pastizal de bajo nivel de productividad con la asociación de cultivos y rotaciones. Posteriormente, el “Santa Fé” fue desarrollado con el consorcio de maíz y las plantas forrajeras en SPD y el manejo de la competencia entre las especies. El desarrollo de sistemas de producción integrando cultivos anuales de soya o maíz en la primera zafra y sorgo en la segunda con especies forrajeras (Brachiarias), se estableció a pedido de los productores que querían desarrollar el SPD. Las dificultades de implantación del pasto, según el período seco o por las bajas temperaturas, llevaron a la integración de los cultivos con la ganadería (“*integração lavoura-pecuária*”, ILP) aprovechando parte de los pastos o de la segunda zafra solo como pastizal. Los géneros *Brachiaria* (i.e. *Urochloa*) y *Panicum* y cultivares de mijo (*Pennisetum*) son bien adaptados a estos sistemas, aunque, los mismos son muy dependientes de agrotóxicos. Sin embargo, cabe indicar que dentro de la rotación, el pastizal funciona como una opción que es cada vez más empleada, lo que permite la reducción de enfermedades, plagas y plantas invasoras (Macedo, 2009). Debemos también resaltar el papel de las leguminosas, tanto en los pastizales en consorcios con gramíneas, como en las rotaciones de cultivos.

A pesar del potencial de las leguminosas en la producción de bovinos en pasto, y de esfuerzos constantes en investigación y difusión, su uso en los pastizales cultivados brasileros está limitado. Las razones para esta limitación son variables: se considera que la disponibilidad de estos cultivares es escasa, que el precio de producción de semillas o de material vegetativo es bastante elevado, que la persistencia de la leguminosa bajo pastoreo es limitada, igualmente el establecimiento de las plantas

²⁰ En el sur del Brasil, estas prácticas fueron el resultado de grandes problemas de erosión que venían enfrentando los productores de grano en sistemas convencionales en los años 1970.

puede parecer lento, y finalmente el rol que las leguminosas tienen en los sistemas de producción son realmente desconocidos, y cuando son conocidos, aparecen como poco determinantes para su adopción (Barcellos *et al.*, 2008).

La introducción de la silvicultura en los sistemas agrícolas suramericanos es reciente, los ejemplos son escasos, pero se difunden, particularmente en las zonas del cultivo con eucalipto. Actualmente los ciclos son de 7 años en los monocultivos de eucaliptos, lo que lleva a problemas de fertilidad y mantenimiento del sistema para largos períodos. Los focos de la investigación en los últimos cinco años se han dedicado a los efectos del espaciamiento y los manejos de plantíos del recurso natural dentro de los diferentes componentes de los sistemas, en lo que se refiere a la productividad, uso de diferentes especies, y los componentes del suelo y agua. Los iLPF corresponden actualmente a un 5% de las superficies de cultivos anuales (Macedo, 2009). Sin embargo, aún no existen datos pertinentes sobre su efecto sobre los suelos. Por otra parte, la agricultura familiar²¹ demanda leguminosas leñosas en los sistemas de producción de leche, particularmente en los suelos arenosos de muy baja fertilidad química. Los iLPF podrían ser bien adaptados para estos fines. La expansión del iLPF está actualmente limitada por las faltas de infraestructuras, de logística y de líneas de crédito.

Llanos de Colombia y Venezuela

En Venezuela, hasta la primera mitad del siglo XX, la agricultura en sabanas, básicamente de subsistencia, se limitaba a los suelos jóvenes (entisoles) de las márgenes de ríos y vegas (Carvallo, 1995; López-Hernández y Ojeda, 1996). La agricultura de excedentes llega a las sabanas de la Orinoquía colombo-venezolana en el momento en que se pudieron corregir sus deficiencias nutricionales, utilizándose altas dosis de fertilizantes solubles y esquema de producción de altos insumos (López-Hernández y Ojeda, 1996), al igual que en el Cerrado brasileño donde se produjo un proceso similar (Goedert, 1983, Lopes *et al.*, 1999) fruto de una política agrícola gubernamental orientada. También se hizo necesario la introducción o generación *in situ* de cultivares mejorados, igualmente en muchos casos se ha implementado una red de riego adecuada para aumentar el número de ciclos de cultivo.

Las variaciones en la intensidad de uso de la tierra en muchos casos han sido definidas por la situación en el paisaje. Así, en las sabanas colombo-venezolanas, gran parte de las tierras bajo cultivos y pasturas, están concentradas en las altiplanicies y en las planicies aluviales.

De gran importancia en la extensión agrícola de la sabana, ha sido los cultivos de algodón, sorgo, arroz y maní²², así como la producción de ganado (leche y carne) en forma intensiva en las sabanas del piedemonte andino, pasando por los cultivos de sorgo y maíz en los Llanos Centrales venezolanos y hacia las altiplanicies orientales, que tienen suelos de muy baja fertilidad, en donde ha ocurrido una expansión importante de la agricultura en los rubros de maní, melón, ajonjolí, sorgo, maíz y extensas plantaciones de *Pinus caribaea*.

La conversión de las sabanas en campos bajo cultivo, en el caso de Colombia, comenzó igualmente en la década de 1960 cultivándose principalmente arroz como paso previo para establecer las pasturas (Sanz *et al.*, 2004). Hacia la década de los ochentas, algunas áreas fueron plantadas con

²¹ Agricultura en la cual domina la proporción de mano de obra familiar (Bainville *et al.*, 2005).

²² Un proceso de expansión en rubros agrícolas similares ocurrió a partir de los últimos cincuenta años durante la tecnificación de la agricultura en las sabanas de África Central (Pieri, 1989).

palma aceitera y en los noventa, con el desarrollo de variedades e híbridos de maíz adaptadas a suelos ácidos, ha habido una inusitada dedicación a la producción de cereales, especialmente bajo sistemas de rotación con cultivos de soya tolerantes a suelos ácidos (Narro *et al.*, 2004).

En las sabanas pobremente drenadas, la principal forma de uso de la tierra es la ganadería. La ubicación de los animales se ha realizado desde tiempos coloniales bajo una práctica con división de potreros en función de unidades fisiográficas en áreas bajo condiciones de inundación y áreas bien drenadas, en estas últimas predominan especies menos nutritivas pero accesibles en la época de lluvia (López-Hernández, 1994). En el caso de los llanos venezolanos inundables, un programa de construcción de diques modulares para represar el agua usando la topografía natural del terreno, regular inundaciones y mejorar la condición hídrica de especies vegetales hidrófilas tal es el caso de *Leersia hexandra*, *Hymenachne amplexicaulis* y *Paspalum fasciculatum* se adelantó bajo iniciativa estatal en los años 70 (López-Hernández *et al.*, 1994). Bajo el esquema de modulación, el ganado se alimenta con pastos de mejor calidad nutricional. Una vez que los niveles de agua descienden en los períodos de transición lluvia-sequía y sequía, los animales son trasladados a zonas bajas donde aún permanecen pastos verdes. En las sabanas inundables colombianas, pocos cambios se han realizado bajo este particular tipo de manejo.

Vemos así que, entre las sabanas sudamericanas, al intensificarse el uso de las tierras, ha habido diferentes grados de desarrollo agropecuario, sobre esos procesos han influido, desde factores ambientales a factores políticos y socioeconómicos. En el caso de las sabanas colombianas, la intensificación de la agricultura se ha dado hacia las sabanas vecinas de las principales ciudades (Villavicencio, Granada, Puerto Gaitán) y a lo largo de las principales carreteras que las conectan. En los años 70, la investigación liderada por el CIAT (Centro Internacional Agricultura tropical) y el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) apoyaron la intensificación de la actividad ganadera a través de la introducción de pastos mejorados, principalmente africanos (especies de *Brachiaria*) en asociación con leguminosas forrajeras (*Arachis pintoii*, *Centrosema acutifolium*, *Desmodium ovalifolium*).

En Venezuela, a pesar que en los últimos 20 años no existen registros exactos de la proporción de tierras bajo diferentes modalidades de cultivos y manejos (Rondón *et al.*, 2006), se conoce que aproximadamente 26% de las de sabanas están bajo manejo agrícola, lo que no es de extrañar ya que el país dispone de una extensa red de carreteras, indicando así un uso más intensivo de las sabanas venezolanas en relación a las colombianas. Por lo tanto, vale la pena resaltar la existencia de una vasta extensión del bioma Llano que aún podría ser convertido en unidades de producción agropecuaria, mientras que en el caso brasileño, la dedicación del Cerrado al uso agrícola ha transformado este bioma en uno de los potenciales más importantes en la producción del país (Théry y Mello, 2005). Sin duda la situación política de Colombia en lo que concierne a los conflictos internos afecta negativamente la intensidad de uso agropecuario, en particular de sus Llanos orientales, situación que desafortunadamente ha repercutido de manera muy intensa en los últimos años en la vecina Venezuela.

Al igual que en Colombia y Brasil, la investigación agrícola en los últimos 20 años en las sabanas venezolanas incluye el estudio de la introducción de pastos mejorados, primordialmente africanos (principalmente especies de *Brachiaria*) en asociación con leguminosas forrajeras (*Centrosema acutifolium*, *Desmodium ovalifolium*), en combinación con cultivos y sistemas de labranzas conservacionistas (Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002; Ojeda *et al.*, 2009).

Africa del oeste

Desde los años 50, las investigaciones agronómicas en esta gran región africana privilegiaron primero una concepción económica de mejora del componente químico de la fertilidad. Los gobiernos

defendieron el empleo masivo de fertilizantes minerales para mejorar de manera significativa los rendimientos.

Pero en los años 70, la crisis energética, la acidificación de los suelos y el descenso pluviométrico, colocaron en posición de quiebra este tipo de gestión de la fertilidad, lo que obligó a buscar entonces ahorros sustanciales de fertilizantes sobre la base del input local de MO. El interés en la valorización de los residuos de cultivos, entre los cuales, los residuos de cereales aparecieron como unos de los principales recursos orgánicos (Berger, 1991) y la integración agricultura-ganadería fueron y son todavía implementados para lograr la economía de fertilizantes minerales.

Desde 1990, tomando en cuenta las problemáticas ambientales a nivel de los estados, se opera un cambio radical de actitud en el manejo de los agrosistemas que se tradujo principalmente por una mayor atención a los recursos naturales, y particularmente los suelos, y por un nuevo paradigma, que no coloca mas la maximización del rendimiento como el objetivo, pero considera más su optimización fundada en un objetivo agronómico y ambiental. Numerosos estudios (Pieri, 1989; Feller, 1995; Swift, 1996) proponen la MO como un indicador de la regeneración de suelos de estas regiones. Las técnicas conservacionistas propuestas son variadas:

- Limitación del escurrimiento y de la erosión

Por ejemplo, en la zona central de Burkina Faso, región del Yatenga, los productores han adoptado técnicas de conservación de las aguas y de los suelos con dispositivos anti-erosivos (cordones de piedras) asociados a abonos orgánicos, muy raramente al mulch. En Malí, las técnicas de camellones en curvas de nivel mejoran la conservación del agua de lluvia y permite la regeneración con árboles (Traoré, 2003). Entre estas prácticas, en regiones más secas y semi-áridas, el “zaï” es una técnica tradicional de restauración de suelos físicamente degradados, particularmente de suelos sellados en superficie y/o encorazados. En estos casos, se emplea la captura del escurrimiento superficial en pequeñas cuencas y la MO es colocada al nivel de la planta. El “djengo” funciona de la misma manera pero en suelos arenosos. Las dos prácticas incrementan la producción de granos, y más que todo, limitan el riesgo de falta de producción, adicionalmente permiten la regeneración de componentes arbustivos y arbóreos (Hien *et al.*, 2010).

- Transformación de las rotaciones y desarrollo de las asociaciones de cultivos

Los productores se han adaptado al descenso de la fertilidad edáfica modificando las rotaciones. En la zona del algodón de Burkina Faso, han privilegiado cultivos poco exigentes como el maní y el sorgo en los suelos más limitados. Las asociaciones, por ejemplo con el caupí (*Vigna unguiculata*) son frecuentes. Las variedades rastreras del caupí cubren rápidamente el suelo y limitan las malezas y la emergencia de *Striga hermontica*, una invasora importante en toda África, parasita angiosperma, de campos cultivados africanos y de Madagascar.

- Valorización de los abonos orgánicos

Ganry y Badiane (1998) han hecho una síntesis de la valorización agrícola de los estiércoles y compost en África sudano-saheliana. Ellos concluyen que disponemos de técnicas e instrumentos para inducir o estimular significativamente la fabricación y el uso del estiércol, e indican que su promoción en África necesita una “revolución forrajera tropical”. En su trabajo estos autores muestran que la

sinergia entre el fertilizante y el estiércol, por medio de la transferencia de fertilidad operada por los animales, ahorra en pocos casos el uso de fertilizante cuando existe, pero que el estiércol puede ser considerado un sustituto del fertilizante en caso de indisponibilidad. En las regiones más secas, con riesgo climático elevado, el estiércol en compost, incorporado a intervalos regulares al suelo, reduce el riesgo en secano. Para la producción de compost existen técnicas de ahorro de agua que son indispensables pues en ciertos casos, el proceso consume mucha agua.

Para sanear las cosechas, los agricultores suelen quemar los pastos y así eliminan las semillas de las malezas y los patógenos, pero pierden igualmente un recurso importante de MO. El compostaje, con su fase exotérmica, permite el mismo resultado. Estos autores muestran también que estos composts mejoran las cosechas en rendimiento y valor nutricional. El uso masivo del abono de estiércol lo realizan los agricultores-ganaderos cuando no pueden mas aumentar las superficies cultivadas. Pero aún con el aumento demográfico de animales, las ofertas de abono animal tradicional (“poudrette”) no permite fertilizar más de un 7%, y en el mejor de los casos un 15%, de las superficies cultivadas cada año (Dugué, 1998). Las distancias entre parcelas y la falta de material de transporte adecuado, llevan a los agricultores a colocar el abono orgánico siempre en las mismas parcelas. Para Godet (1990), la oferta de ganado y la disponibilidad de pastos son insuficientes si se comparan a la demanda de los productores, estas estrategias solo se desarrollan con el aumento de la productividad de los pastizales naturales o por el desarrollo de cultivos de forrajes (César y Coulibaly, 1991).

- Desarrollo de “parques arbóreos” (sabanas parques)

A fin de valorizar la producción de madera, leña, forraje y principalmente frutos de algunas especies, los productores escogen mantener árboles en las zonas de cultivos constituyéndose así “parques” de *Faidherbia albida*, *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, etc. En la zona subsaheliana los cultivos tradicionales están casi siempre asociados a estas especies. En estos agro-ecosistemas, se cultiva hasta unos 20 años sin que haya una evolución notable de los rendimientos y sin inputs notables (Traoré, 2003). Estos parques son un potencial importante de estas regiones y se consideran actualmente algunos proyectos de regeneración de parques preexistentes. Sin embargo, a pesar que los productores reconocen la importancia de los parques tradicionales, nunca adoptaron las técnicas de cultivo en corredores, asociando líneas de arboles, en los cuales las ramas cortadas y colocadas sobre el suelo producen MO.

- Las plantas de cobertura y los barbechos mejorados

Se buscó el uso de plantas de cobertura, particularmente de leguminosas fijadoras de nitrógeno, que cubran el suelo en cualquier periodo del año, y que permitan limitar el escurrimiento superficial, favorezcan la actividad biológica, produzcan y suministren cantidades importantes de MO y elementos minerales a las capas superficiales del suelo. Estas leguminosas pueden ser utilizadas como plantas de cobertura entre dos ciclos o en cultivo puro como barbecho de corto plazo (2-3 años). Innovaciones de esta naturaleza aún están en experimentación (Azontonde *et al.*, 1998). Desde un punto de vista agronómico parecen ser interesantes para estas regiones, pero no hay que descuidar las potenciales limitaciones a su adopción que son las quemadas durante la estación seca y el consumo por el ganado u otros herbívoros presentes en el área.

- El problema de los efluentes orgánicos

En las sabanas africanas, el modo de distribución de las lluvias llevó al uso de aguas

provenientes de napas freáticas para compensar el déficit hídrico en gran parte del año. En estos sistemas de cultivo bajo riego se ha concentrado la agricultura peri-urbana de pequeños productores (40% de la producción nacional en Senegal, Mbaye, 1999) que por ejemplo en Dakar, utilizan al máximo 0,5 ha/productor. Estos sistemas son intensivos, con varios ciclos anuales, fertilización mineral y orgánica y agrotóxicos (Ba-Diao, 2004). En el caso de suelos arenosos de Dakar, como la demanda de agua ha crecido y las capas freáticas han disminuido, estas agriculturas peri-urbanas utilizan ahora efluentes urbanos no tratados, siendo los tratamientos de los efluentes muy costosos. Estas prácticas han llevado a los suelos y a los mantos acuíferos importantes cantidades de MO particulada y disuelta, detergentes y microorganismos con la consecuente contaminación nitrogenada. Ndour *et al.*, (2008), muestran que la contaminación por los nitratos de la capa freática es en parte dependiente de la nitrificación del amonio (NH_4^+) contenido en los efluentes, y que la química del suelos y las comunidades de bacterias no parecen ser afectadas por el régimen de irrigación de efluentes. Con el desarrollo de grandes urbes, los efluentes podrían ser una alternativa interesante, pero la calidad de los materiales no se encuentra todavía a un nivel sanitario aceptable para uso agrícola.

Estudios similares han sido hechos en el Cerrado, donde en ciertos casos la agricultura de hortalizas se ha asociado al uso de los efluentes sólidos y líquidos, aunque bajo una supervisión muy dinámica de la investigación institucional local y de un cuidado efectivo en el uso de efluentes (Bettiol y Camargo, 2000).

CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

En la última década se han realizados muchos ensayo sobre la prospección y evolución de la agricultura mundial (Petit, 2010), incluyéndose aquella agricultura correspondiente a los agroecosistemas de sabanas. Este esfuerzo de síntesis, de los dos lados del Océano Atlántico, nos muestra la gran diversidad que hay en ambientes bio-edáficos y en ecosistemas de sabanas.

El análisis comparativo indica que las condiciones de producción vegetal son globalmente más difíciles en los ambientes africanos ya que el clima es más favorable en América del Sur, y que las presiones termo-hídricas sobre las sabanas del África del Oeste son fuertes con un gradiente del norte al sur. Estos problemas climáticos no parecen ser compensados por las propiedades más favorables de los suelos. Aún si desde el punto de vista químico, la oferta edáfica puede ser considerada como globalmente comparable, los problemas físicos son mucho más delicados de resolver en los suelos del oeste africano.

Lo que caracteriza los sistemas agrícolas a través del África del Oeste es su diversidad, mientras que en el Cerrado y los Llanos la intervención reciente conduce a una homogeneización gradual de las actividades agropecuarias. Pero aún con estas recientes evoluciones, en ambos lados del océano, los debates fundamentales sobre las condiciones que se deben lograr para que la agricultura moderna sirva a los intereses de los pequeños productores, son en general ideológicos e improductivos.

Actualmente, existen alrededor de 300 millones de pobladores en las sabanas del oeste africano, de los cuales 60% viven de la agricultura. Este contexto global, de fuerte crecimiento demográfico y condición climática variable, muestra que la agricultura en pequeñas parcelas tiene un rol fundamental en la mejora de seguridad alimentaria y en la lucha contra la pobreza; posiblemente demostrada por una relación positiva entre el aumento de la productividad agrícola y la reducción de la pobreza en África (Forum for Agricultural Research in Africa: <http://www.fara-africa.org>).

El modelo y el desiderátum en el conocimiento de los sistemas agrícolas de las sabanas

americanas, con políticas de transferencia de tecnología fundadas en latifundios capitalistas no parecen ser la base de un escenario aceptable y transferible al África. Actualmente, el progreso científico y técnico para las agriculturas de zonas más pobres solo se realizará tomando en cuenta las particularidades de éstas, y el conocimiento detallado de los ecosistemas originales y de los agroecosistemas resultantes de la intensificación de su uso agrícola.

AGRADECIMIENTO

Ing. Elodie Dupuits, por el apoyo técnico en la iconografía.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo, 1993. O Cerrado e a siderurgia, *Silvicultura*, 13, 48, 6-9.
- Assad, E.D., F.M. Marín, N.P. Martins, H.S. Pinto y J. Zulio Jr. 2008. Análise de riscos climáticos para competitividade de agrícola e conservação dos recursos naturais. In: Faleiro F.G., Farías Neto A.L de, (ed. tec.) *Savanas. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Embrapa Cerrados, Planaltina DF, Brasil, 1083-1108.
- Azontonde, A., C. Feller, F. Ganry y J.C Rémy. 1998. Le mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud du Bénin. *Agriculture et Développement* 18, 55- 62.
- Ba-Diao, M. 2004. Situation et contraintes des systèmes urbains et périurbains de production horticole et animale dans la région de Dakar. *Cahiers Agricultures* 13:39-49.
- Bainville, S., F. Affholder, M. Figuié y J. S. N Madeira. 2005. As transformações da agricultura familiar do município de Silvânia: uma pequena revolução agrícola nos cerrados brasileiros. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, 22, 2, 269-291.
- Balbino, L.C., M. Brossard, J.C., Leprun y A. Bruand. 2002. Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques : une étude bibliographique. *Étude et Gestion des Sols*, 9, 83-104.
- Barbosa, A.S., P.I. Schmitz. 1998. Ocupação indígena do cerrado: esboço de uma história, In: Sano, S.M., Almeida, S.P. de (Eds), *Cerrado: ambiente e flora*, Planaltina, DF (Brasil), EMBRAPA, 3-43.
- Barcellos, A. de O., A. K. B. Ramos, L. Vilela y G. B. Martha Jr. 2008. Leguminosas para utilização em pastagens. In: *Encontro técnico sobre leguminosas forrageiras, 2. Desafios e perspectivas*. Nova Odessa: APTA, p. 125-162.
- Berger, M. 1991. La gestion des résidus organiques à la ferme. In : *Savanes d'Afrique, terres fertiles. Actes des rencontres internationales*, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990, Paris, Ministère de la Coopération et du Développement, 293-315.
- Bernoux, M., C. C. Cerri, B. Volkoff, M. C. Carvalho da C., C. E. P. Feller, V. Cerri, M. Eschenbrenner, C. Piccolo y B. Feigl. 2005. Gases do efeito estufa e estoques de carbono nos solos: inventário do Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, 22, 1, 235-246.
- Bertrand, J.-P., C. Cadier y J. G. Gasquès. 2005. Le crédit : un des facteurs-clés de l'expansion de la filière soja dans le Mato Grosso. *Cahiers Agricultures*, 14, 1, 46-52.
- Bettiol, W. y O. Camargo (Ed.). 2000. *Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 312 p.
- Boulet, R., R. Fauck, B. Kaloga, J.C. Leprun. J. Riquier y J. Vieillefon. 1968. Plate 9. Soils (1/5.000.000). In: *Organisation of African Unity, Scientific Technical and Research Commission (ed) (with the assistance of the Ford Foundation) International Atlas of West Africa OAU Dakar, Sénégal*.
- Brossard, M. y L. Chapuis-Lardy. 1998. Quelques aspects récents de la fertilité du phosphore de sols

- tropicaux. In: C.R. XVIème Congrès A.I.S.S., Symposium 13b, CD.
- Brossard, M. y A. Barcellos de O. 2005. Conversion du Cerrado en pâturages cultivés et fonctionnement des ferralsols. *Cahier Agricultures*, 14, 1, 64-69.
- Bustamante, M. M. C., M. Corbeels, E. Scopel y R. Roscoe. 2006. Soil carbon storage and sequestration potencial in the Cerrado region of Brazil. In: Lal R., Cerri C. C., Bernoux M., Etchevers J., Cerri C. E. P. (eds), *Carbon sequestration in soils of Latin America*. The Haworth Press, Inc., 285-304.
- Camargo, M. N., E. Klamt y J. H. Kauffman. 1987. Sistema brasileiro de classificação de solos. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo*, Campinas, 12, 1, 11-33.
- Carvalho, G. 1995. El proceso histórico de la agricultura venezolana. Fondo Editorial tropykos. CENDES, Caracas.
- Carvalho de B., R. y M. Muniz. 1996. Árvore no chão ou enxofre no ar? O dilemma da siderurgia nas Minas Gerais, *Ciência Hoje*, 20, 38-47.
- Carvalho, M. M., J. L. O. Silva y B. A. Campos Jr. 1997. Produção de matéria seca e composição mineral da forragem de seis gramíneas tropicais estabelecidas em um sub-bosque de angico-vermelho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26, 2, 213-218.
- Cesar, J. y Z. Coulibaly. 1991. Le rôle des --jachères et des cultures fourragères dans le maintien de la fertilité des terres. In: *Savanes d'Afrique, terres fertiles. Actes des rencontres internationales*, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement, 271-287.
- Chapuis-Lardy, L. y M. Brossard. 1998. Réserve et stabilité biochimique du phosphore organique de sols ferrallitiques (Cerrados, Brésil). In C.R. XVIème Congrès A.I.S.S., Symposium 13b, CD.
- Chapuis Lardy, L., M. Brossard, M. L. Lopes Assad y J. Y. Laurent. 2002. Carbon and phosphorus stocks in clayey ferralsols (Cerrados, Brazil). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 92, 147-158.
- Conway, G. R. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems*, Londres, 24, 2, 95-117.
- Corazza, E. J., J. E. Silva, D. V. S. Resk y A. C. Gomes. 1999. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de cerrado. *Rev. Bras. Ciên. Solo*, 23, 425-432.
- Corazza, E. J., M. Brossard, T. Muraoka y M. A. Coelho Filho. 2003. Spatial variability of soil phosphorus of a low productivity *Brachiaria brizantha* pasture. *Scientia Agricola*, 60, 559-564.
- CPCS (Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols) 1967. *Classification des sols*. Grignon, France. 96 p.
- Desjardins, T., A. Carneiro Filho y A. Chauvel. 1997. Flutuacoes do limite floresta-cerrado durante o Holoceno em Roraima. In : Barbosa R.I. (ed.), Ferreira E.J.G. (ed.), Castellon E.G. (ed.). *Homem, ambiente e ecologia no Estado de Roraima*. Manaus: INPA, p. 307-323.
- Djenontin, A. J. P., M. Houinato, B. Toutain y B. Sinsin. 2009. Pratiques et stratégies des éleveurs face à la réduction de l'offre fourragère au Nord-Est du Bénin. *Sécheresse*, 20, 4, 346-53.
- Dugué, P. 1998. Gestion de la fertilité et stratégies paysannes. Le cas des zones de savanes d'Afrique de l'Ouest. *Agriculture et Développement* 18, 13-20.
- Eiten, G. 1972. The Cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical review*, 38, 201-341.
- Eiten, G. y R. H. R. Sambuichi. 1996. Effect of long-term periodic fire on plant diversity in a Cerrado region. In: Pereira R. C., Nasser L. C. B. (eds). *Anais VIII Simposio sobre o Cerrado*, Embrapa-CPAC, n° 15, 32 p.
- Embrapa. 2006. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2a ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro, 196 pp.

- Euclides, K. Filho. 2008. A pecuária de corte no Cerrado brasileiro. In: Faleiro F. G., Farias Neto A. L de, (ed. tec.) Savanas. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Embrapa Cerrados, Planaltina DF, Brasil, 613-644.
- Faleiro, F. G. y A. Farias Neto de L. (ed. tec.). 2008. Savanas. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Embrapa Cerrados, Planaltina DF, Brasil, 1198 p.
- FAO-UNESCO, 1974. Soil map of the World 1:5,000,000. Vol.1 Legend. FAO-UNESCO, Paris, 59 p.
- Feller, C. 1995. La matière organique du sol : un indicateur de fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. Agriculture et Développement 8, 35-41.
- Fischer, G. y G. K. Heilig. 1997. Population momentum and the demand on land and water resources. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. 352: 1356, 869-889.
- Floret, C. y R. Pontanier. 1993. Recherches sur la jachère en Afrique tropicale. In: Floret, C., Pontanier, R., Serpentier, G. (Eds.), La jachère en Afrique tropicale. UNESCO, Paris, pp. 11–54.
- Furley P. A. y J. A. Ratter. 1988. Soil resources and plant-communities of the Central Brazilian Cerrado and their development. Journal of Biogeography, 15, 1, 97-108.
- Ganry F. y A. Badiane. 1998. La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne. Diagnostic et perspectives. Agriculture et Développement, 18, 73- 80.
- Gillon D. 1983. The fire problem in tropical savannas. In: Bourlière F. (ed.), Tropical savannas. Elsevier, Amsterdam, 617-641.
- Godet, G. 1990. Relation entre la charge animale et la production numérique dans les troupeaux bovins sédentaires au sud du Mali. In : Actes de séminaire sur l'élevage en zone cotonnière, Ouagadougou, Burkina Faso, 25-29 octobre 1989. Maison-Alfort, IEMVT, Ouagadougou, CEBV: 299-306.
- Goedert, W.J. 1983. Management of Cerrado soils of Brazil: A review, J. Soil Sci., 34, 405-423.
- Goedert, W.J., E. Wagner y A. Barcellos de O. 2008. Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. In: Faleiro F.G., Farias Neto A.L de, (ed. tec.) Savanas. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Embrapa Cerrados, Planaltina DF, Brasil, 49-77.
- Hernández, R. M. y D. López-Hernández. 2002. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. Soil Biol. Biochem., 34, 1563-1570.
- Hernández-Valencia, I. y D. López-Hernández. 1999. Allocation of phosphorus in a tropical savanna, Chemosphere, 39, 199- 207.
- Hien, E. 2004. Dynamique du carbone dans un Acrisol ferrique du Centre Ouest Burkina: Influence des pratiques culturales sur le stock et la qualité de la matière organique. Thèse ENSA Montpellier, 121 p. et an.
- Hien, E., W. T. Kabore, D. Masse y P. Dugue. 2010. Sustainable Farming Systems in the Sub-Saharan Zone of Burkina Faso - Key Factors. Sustainability in Debate, 1, 2, 127-140.
- IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports N° 103. FAO, Rome. 128 pp.
- Kluthcouski, J., I. P. Oliveira, L. P. Yokoyama, L. G. Dutra, T. A. Portes, A. E. Silva, B. S. Pinheiro, E. Ferreira E. M. Castro., C. M. Guimarães, J.C. Gomide y L. C. Balbino. 1999. Sistema Barreirão: Recuperación/Renovación de Pasturas Degradadas Utilizando Cultivos Anuales. In: E. P. Guimarães, J. I. Sans, I. M. Rao, M. C. Amézquita, E. Amézquita (eds). Sistemas Agropastoriles en Sabanas Tropicales de America Latina, CIAT-Embrapa, 195-231.

- Kluthcouski, J., L. F. Stone y H. Aidar (ed.). 2003. *Integração lavoura-pecuária*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 570 p.
- Kornelius, E., M. G. Saueressing y W. J. Goedert. 1979. Pasture establishment and management in the Cerrado of Brazil. In: P. A., Sanchez, L.E. Tergas, (Eds), *Pasture production in acid soils of the tropics*, Cali (Colombia), CIAT, 147-166.
- Leprun, J. C. 1992. *Ecologie comparée de deux régions semi-arides : le Nordeste du Brésil et le Sahel africain*. In: Delhoume J-P. (ed.), Maury M. E. (ed.). *Estudio de la relaciones agua-suelo-vegetación en una zona árida del Norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Xalapa, Instituto de Ecología, p. 285-294. Seminario Mapimi 1989/10/23-29, Durango.
- Leprun, J. C. 2009. Les Ferruginosols. In: *Référentiel pédologique 2008*, Association française pour l'étude du sol (Afes). D. Baize & M.-C. Girard, coord. Ed. Quæ, Versailles, pp. 169-177.
- Lopes, A., M. A. Ayarzay, R. Thomas. 1999. *Sistemas Agropastoriles en las Sabanas de América Latina Tropical: Lecciones del Desarrollo Agrícola de los Cerrados de Brasil*, in Guimarães, E. P., Sanz, J. I., Rao, I. M., Amézquita, M. C., Amézquita, E. (Eds), *Publicación CIAT*, 313, 9-30.
- López-Hernández, D. 1995. Impact of agriculture and livestock production on tropical soils in Latin America. In: Turner, B. L., Gómez-Sal, A., González Bernáldez, F., Castri, F. di (Eds), *Global land use change: A perspective from the Columbian Encounter*, Consejo Supremo de Investigaciones Científicas (CSIC), 405-418.
- López-Hernández, D. 1995. Balance de elementos en una sabana inundada. Mantecal, Edo. Apure. Venezuela. *Acta Biológica Venezuelica* 15, 3, 55-88.
- López-Hernández, D. 2010. Agricultural systems in the savanna-forest ecotone of Venezuelan Amazonian. Evaluation of soil quality indicators. Chapter 1. In: *Amazon Basin: Plant Life, Wildlife and Environment*. Environmental Research Advances Series. Nicolas Rojas and Rafael Prieto (eds). NovaScience Publishers Inc. 1-45.
- López-Hernández, D. y A. Ojeda. 1996. Alternativas en el manejo agroecológico de los suelos de las sabanas del norte de suramérica. *Ecotropicos* 9, 99-115.
- López-Hernández, D., M. García y M. Niño. 1994. Input and output of nutrients in a diked flooded savanna. *J. Applied Ecology* 31: 303-312.
- López-Hernández, D., M. Brossard y A. Fournier. 2011. Savanna biomass production, N biogeochemistry, and cycling: A comparison between Western Africa (Ivory Coast and Burkina Faso) and the Venezuelan Llanos. *Recent Res. Devel. Soil Sci.*, 3: 1-34. Research Signpost Kerala, India.
- L'hôte, Y., G. Mahe, B. Some y J.P. Triboulet. 2002. Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. *Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques* 47, 4, 563-572.
- Macedo, M. C. M. 2009. *Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 133-146.
- Mahdavi, G. 1991. Les conditions d'une généralisation de l'utilisation des engrais. Le point de vue d'un opérateur du développement agricole. In: *Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales*, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, pp. 465-470.
- Mbaye, A. 1999. Production des légumes à Dakar : importance, contraintes et potentialités. In: Smith O. (ed) *Agriculture urbaine en Afrique de l'Ouest*. International Development Research Center, Othawa, pp 56-66.

- Menaut, J. C. 1993. Effets des feux de savane sur le stockage et l'émission du carbone et des éléments-trace. *Sécheresse*, 4, 4, 251-253.
- Montgomery, R. F. y G. P. Askew. 1983. Soils of tropical savannas. In: Bourliere, F. (Ed.), *Ecosystems of the World, Tropical Savannas*, Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam, 63-78.
- Narro, L., S. Pandey, A. J. León, C. Pérez y F. Salazar. 2004. Maize varieties for acid soils. In: E. P. Guimarães, J. I. Sanz, I. M. Rao, M. C. Amézquita, E. Amézquita and R. J. Thomas (eds) "Agropastoral Systems for the Tropical Savannas of Latin America". CIAT-EMBRAPA, Publication 338, Cali, Colombia. Chapter 10: 141-155.
- Ndour, N. Y. B., E., Baudoin, A. Guissé, M. Seck, M. Khouma y A. Brauman. 2008. Impact of irrigation water quality on soil nitrifying and total bacterial communities. *Biol Fertil Soils*, 44: 797–803.
- Ojeda, A. D., M. Stein, P. Chacón y D. López-Hernández. 2009. Papel del carbono orgánico en la fertilidad de un ultisol de sabana con predominio de cargas variables. *Bioagro* 21: 195-202.
- Oliveira, A. T. Filho, G. J. Shepherd, F. R. Martins y W. H. Stubblebine. 1989. Environmental factors affecting phytosociology and floristic variation in an area of Cerrado in central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 5, 413-431.
- Oliveira, P. S. y R. J. Marquis (Eds). 2002. *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*, New York, Columbia University Press.
- Peel, M. C., B. L. Finlayson y T. A. McMahon. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydro Earth Syst Sci*, 11: 1633-1644.
- Pelissier, P. 1966. *Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance*. Saint-Yrieix, imp. Fabrege, 940p.
- Petit, M. 2010. Perspectives, projections, évaluations, supputations sur l'avenir de l'agriculture mondiale. *Cahiers Agricultures* 19, 1, 3-5.
- Pieri, C. 1989. *Fertilité des terres de savanes : trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara*, Montpellier, CIRAD / Paris, Ministère de la Coopération et du Développement.
- Pieri, C. 1991. Les bases agronomiques de l'amélioration et du maintien de la fertilité des terres de savanes au sud du Sahara. In: *Savanes d'Afrique, terres fertiles? Actes des Rencontres Internationales*, Ministère de la Coopération. Montpellier, France, pp. 43-74.
- Pizarro, E. A., C. B. do Valle, G. Keller-Grein, R. Schultze-Kraft, A. H. Zimmer. 1996. Regional experience with *Brachiaria*: Tropical America – Savannas. In Miles, J. W., Maass, B. L., Valle, C. B. do, Kumble, V. (Eds), *Brachiaria: Biology, agronomy, and improvement*, Cali (Colombia), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) / Campo Grande (Brasil), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA).
- Powlson, D. S., A. P. Whitmore y K. W. T. Goulding. 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, 62, 42-55.
- Ribeiro, J. F. y B. M. T. Walter 2008. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S., Almeida, S. P., Ribeiro, F. *Cerrado: Ecologia e Flora*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília-DF, pp. 152-212.
- Rondón M. A, D. Acevedo, R. M. Hernández, Y. Rubiano, M. Rivera, E. Amézquita, M. Romero, L. Sarmiento, M. A. Ayarza, E. Barrios e I. Rao. 2005. Carbon sequestration of the neotropical savanna of Colombia and Venezuela. In: Lal R., Cerri C.C., Bernoux Martial, Etchevers J., Cerri E. (Eds). *Carbon sequestration in soils of Latin America*. New York, Haworth Press, 2006, p. 213-243.
- Salgado-Labouriau M. L., V. Casseti, K. R. Ferraz-Vicentini, L. Martin, F. Soubiès, K. Suguio y B. Turcq. 1997. Late quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from central Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 128 (1-4), 215-226.

- Sánchez, C. 1989. Contribución al conocimiento de la mínima labranza en Venezuela, San Juan de los Morros (Venezuela), Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales Rómulo Gallegos.
- Sanchez, P. A. 2002. Soil fertility and hunger in Africa. *Science* 295 (5562), 2019-2020.
- Sanz, J. I., R. S. Zeigler, S. Sarkarung, D. L. Molina y M. Rivera. 2004. Improved rice/pasture systems for native savannas and degraded pastures in acid soils of Latin America. In E. P. Guimarães, J. I. Sanz, I. M. Rao, M. C. Amézquita, E. Amézquita and R. J. Thomas (eds) "Agropastoral Systems for the Tropical Savannas of Latin America". CIAT-EMBRAPA, Publication 338, Cali, Colombia. Chapter 16: 240-247.
- Sedogo, P. M. 1993. Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Docteur ès Sciences, Université de Côte d'Ivoire, Abidjan, 330p.
- Siband, P. 1974. Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *L'Agronomie Tropicale* 29, 12, 1228-1248.
- Siqueira-Neto, M., E. Scopel, M. Corbeels, A. Nunes Cardoso, J. M. Douzet, C., Feller, M. C. Piccolo, C. C. Cerri y M., Bernoux. 2010. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: an on-farm synchronic assessment. *Soil & Tillage Research*, 110, 187-195.
- Soares, A. B., L. R. Sartori, P. R. Adami et al. 2009. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 3, 443-451.
- Soil Survey Staff, 1975. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. USDA Handb. 436. US Government Printing Office, Washington, DC.
- Somé, L. 1989. Diagnostic agropédologique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Étude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. Doctorat USTL, Université Montpellier II, Montpellier, 312 p.
- Swift, M. J. 1996. Soil biodiversity and the fertility of tropical soils. The TSBF soil biodiversity network. *Biology International*. 33, 24-28.
- Théry H. y N.A. de Mello. 2005. Diversidades e mobilidades da agricultura brasileira. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, 22, 1, 21-36.
- Traoré, K. 2003. Le parc à Karité : Sa contribution à la durabilité de l'agrosystème. Cas d'une toposéquence à Konobougou (Mali-Sud). Thèse de Doctorat, ENSAM, Montpellier, 216 p.
- Young, A. 1976. *Tropical soils and soil survey*. Cambridge Geographical Studies, 9. Cambridge University Press, London, 468 pp.

**Roberto López Falcón, Jean Marie Hétier,
Danilo López Hernández, Richard Schargel, Alfred Zinck**
Editores

TIERRAS LLANERAS DE VENEZUELA
...tierras de buena esperanza



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Consejo de Publicaciones
2015

Título de la obra: **Tierras Llaneras de Venezuela**
...tierras de buena esperanza

Editores: **Roberto López Falcón, Jean Marie Hétier**
Danilo López Hernández, Richard Schargel
Alfred Zinck

Arbitrado y publicado por el Consejo de Publicaciones de la
Universidad de Los Andes
Av. Andrés Bello, antiguo CALA, La Parroquia
Mérida, Estado Mérida, Venezuela
Telefax (+58274) 2713210, 2712034, 2711955
e-mail cpula@ula.ve
<http://www.ula.ve/cp>

Colección: Tecnología
Serie: Ingeniería
1ª edición en CD Rom, 2015

Reservados todos los derechos
© Roberto López Falcón, Jean Marie Hétier, Danilo López Hernández
Richard Schargel, Alfred Zinck

Diagramación: Consejo de Publicaciones
Diseño de Portada: Consejo de Publicaciones

Hecho el Depósito de Ley
Depósito Legal FD2372015329
ISBN 978-980-11-1781-0

Mérida, Venezuela, 2015