

Evaluación del riesgo agroambiental de los suelos de las comunidades indígenas del estado Anzoátegui, Venezuela

D.R. Lugo-Morin

Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Especialidad de Postgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. EDAR. 72760. Pue. México

➤ Recibido el 2 de julio de 2006, aceptado el 2 de noviembre de 2006.

Evaluación del riesgo agroambiental de los suelos de las comunidades indígenas del estado Anzoátegui, Venezuela. Con el propósito de realizar una evaluación del riesgo agroambiental en los suelos de las comunidades indígenas del Estado Anzoátegui Venezuela, se evaluaron cinco unidades de tierra de la zona de interés frente a diez usos agropecuarios; Algodón (*Gossypium hirsutum*), Frijol (*Vigna sinensis*), Maíz (*Zea mays*), Maní (*Arachis hypogaea*), Melón (*Cucumis melo*), Ñame (*Dioscorea alata*), Ganadería (pasto), Patilla (*Citrullus vulgaris*), Sorgo (*Sorghum bicolor*) y Yuca (*Manihot esculenta*). La evaluación se realizó con el sistema de apoyo a la decisión sobre evaluación de tierras (MicroLEIS); a través de los modelos Raizal y Pantanal, los cuales permiten determinar la vulnerabilidad potencial, de manejo y real según los riesgos de erosión (hídrica y eólica) y agrocontaminación. Se concluyó que los suelos presentan una degradación agroambiental de moderada a alta para las unidades evaluadas.

Palabras clave: *Zea mays*, *Manihot esculenta*, *Dioscorea alata*, erosión, agrocontaminación y MicroLEIS.

Evaluation of the risk agroambiental of the soils of the indigenous communities of the state Anzoategui, Venezuela. In order to know the risk agroambiental in indigenous communities of Anzoategui State, Venezuela, five land units and ten as opposed land uses were evaluated, including Cotton (*Gossypium hirsutum*), Cowpea (*Vigna sinensis*), Maize (*Zea mays*), Peanut (*Arachis hypogaea*), Muskmelon (*Cucumis melo*), Yam (*Dioscorea alata*), Pasture, Watermelon (*Citrullus lanatus*), Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Yucca (*Manihot esculenta*). The evaluation was done with Raizal and Pantanal models a land evaluation decision support system (MicroLEIS), which allowed to determine the potential vulnerability, of present handling, and according to the erosion (water and eolic) and agrocontamination risks. It was concluded that evaluation agroambiental was moderately- high for all the study units.

Key words: *Zea mays*, *Manihot esculenta*, *Dioscorea alata*, erosion, agrocontamination and MicroLEIS.

Introducción

En Venezuela existen grandes problemas de degradación de los suelos. Autores como Fernández *et al.*, (1998); Mazzani, (1999); Mogollón y Comerma, (1994); Pla, (1988, 1990); Rodríguez *et al.*, (2003); Lozano *et al.*, (2002) encuentran que las tierras de uso agrícola están severamente degradadas debido a un uso excesivo de maquinarias e insumos (fertilizantes y pesticidas), entre otros aspectos. Por otra parte, las necesidades crecientes de tierras para desarrollos urbanos e industriales se cubren muchas veces a costa de pérdidas de tierra de alta capacidad agrícola. Esto ha sucedido con la mayoría de las tierras de la Mesa de Guanipa, donde, debido a las operaciones de exploración y producción de crudos de las Empresas Petroleras, se han desafectado miles de hectáreas (esto, por supuesto, con su respectiva contribución económica), originando daños serios al medio ambiente, en la mayoría de casos irreversibles.

Pla (1988) señala que se requieren urgentes decisiones en cuanto al uso racional de la tierra, tanto en nuevos desarrollos agrícolas como cuando se requieran introducir cambios en su uso y manejo. Estas decisiones deben basarse en medios efectivos para evaluar y manejar los limitados recursos de suelos aptos para la agricultura en Venezuela. En este sentido han surgido diferentes modelos para evaluar los procesos degradativos que pueden ocasionar las actividades de orden productivo

Los suelos predominantes del área son Ultisoles y Oxisoles (*Quartzipsamments*, *Kandiustuits*, *Haplustox*) y presentan un avanzado desarrollo pedogenético con la excepción de aquellos formados por un esqueleto de arenas de cuarzo en su mayoría Entisoles, donde no ha podido desarrollarse un proceso pedogenético, debido a la resistencia que presenta, estos materiales.

Para este estudio se utilizó información disponible correspondiente a: 1) los estudios de suelos de la Mesa de Guanipa (IAN, 1970a, 1970b) y el estudio geomorfológico de los llanos orientales de Venezuela, realizado por COPLANARH (1973). Para la zona de estudio se consideran cinco unidades cartográficas, ubicadas geográficamente en dos Municipios (Freites e Independencia) del Estado Anzoátegui. Los suelos están clasificados a nivel de fases de familia. En la **Tabla 1** se indica el suelo representativo y el área de las unidades cartográficas; 2) la información climática (**Tabla 2**) se obtuvo de la estación climatológica del MARNR, El TIGRE-CIA-GUANIPA (MARNR, 2005); 3) la información de los usos se obtuvo de los trabajos de Amodio *et al.* (1991), Guerrero (1999), Guzmán (1991), López (1991), Rodríguez y Carnero (1991) y Rodríguez *et al.* (2003). Por otra parte, se obtuvo información adicional sobre el manejo de los diferentes cultivos de las comunidades indígenas Kariñas a través de visitas de campo y observaciones directas (la zona de estudio se mantuvo en observación durante todo el año 2001, realizando entrevistas a informantes durante un total de 20 visitas).

Tabla 1. Suelos representativos y unidades de tierras delimitadas en el área de estudio.

UT	UC	Suelo representativo	Área (ha)	% del área total
1	A111 – A112	Typic Haplustox	5625	10.27
2	A121 – A122	Plinthic Haplustox	12527	22.86
3	A151 – A152	Oxic Quartzipsamments	32966	60.17
4	C21	Oxic Plinthaquilt	208	0.38
5	A25 – A17	Oxic Quartzipsamments	3461	6.32
TOTAL			54787	100

UT: Unidad de tierra; UC: Unidad cartográfica
Fuente: IAN, 1970a.

Tabla 2. Información climatológica del área de estudio (Promedios obtenidos con datos entre los años 1971-2004).

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PPx	9.6	6.4	9.3	39.9	80.4	167.3	192.7	177.3	133.8	114.4	60.0	32.9
PPmx	19.3	17.3	31.6	76.1	93.1	188.1	207.6	184.8	155.8	153.2	114.2	52.8
Tx	25.7	26.2	27.9	28.3	27.8	26.5	26.4	26.8	27.0	27.2	26.9	25.9

PPx: Precipitación promedio; PPmx: Precipitación promedio máxima por evento; Tx: Temperatura promedio.

Definición de unidades de tierra y usos agropecuarios

Las unidades de tierra (UT) se construyeron combinando la información edáfica y climática previa. En base a los estudios de Amodio *et al.* (1991) y Rodríguez *et al.* (2003), se establecieron los usos agropecuarios más representativos del área de estudio.

Las unidades se caracterizaron de acuerdo con las necesidades del sistema de apoyo a la decisión sobre evaluación de tierras (MicroLEIS). En el **Tabla 3** se presentan las variables de las características de las unidades de tierra y de las características de manejo de cultivo, las variables se obtuvieron de Amodio *et al.* (1991), Gilley y Doran (1997), Guerrero (1999), Guzmán (1991), IAN (1970a, 1970b), López (1991), Rodríguez y Carnero (1991) y Rodríguez *et al.* (2003).

Tabla 3. Variables empleadas en el modelo Raizal y Pantanal.

Variables de características de tierra		
De lugar	De suelo	De clima
Forma del terreno	Drenaje	Precipitación Media Mensual
Pendiente	Textura	Precipitación Máxima Mensual
Profundidad de la Capa Freática	Pedregosidad superficial	Temperatura Media Mensual
Latitud	pH y Saturación de Na	

Variables de características de manejo

De cultivo	De labores	De fertilización
Tipo de utilización de la tierra	Fecha de siembra	Utilización de fertilizante fosfatado
Rotación de cultivo	Tipo de laboreo	Utilización de fertilizante nitrogenado
Uso de tierras en pendientes	Profundidad de laboreo	Utilización de estiércol animal
Duración del período de cultivo	Método de laboreo	Utilización de residuo indust./urbano
Duración de las hojas	Espaciamiento entre hileras	Fecha de fertilización
Posición de las hojas	Drenaje artificial	De uso de pesticidas
Area foliar específica	Nivel artificial del agua subt.	Utilización del pesticida
Altura de la planta	Prácticas de conservación del suelo (Agua)	Persistencia del pesticida
Profundidad volumétrica de raíces	Prácticas de conservación del suelo (Viento)	Toxicidad (LD-50) del pesticida
Estructura del cultivo	Tratamiento de residuos	Método de aplicación

Nota: el uso de pesticida puede indicar la presencia de metales pesados en el suelo (De la Rosa *et al.*, 2004).

Evaluación de riesgo agroambiental

Las unidades de tierra fueron evaluadas para cada uno de los usos seleccionados por medio del sistema experto de apoyo a la decisión sobre evaluación de tierras (MicroLEIS) (De La Rosa *et al.*, 2004). Los sistemas expertos son herramientas basadas en inteligencia artificial. Son programas de ordenador que simulan los procedimientos para solucionar problemas en un campo determinado, tal y como lo harían expertos humanos. Estos sistemas desarrollan conocimiento inferido mediante árboles de decisión, con el objetivo de determinar la vulnerabilidad potencial, de manejo y real a la erosión (hídrica y eólica), y a la contaminación por agroquímicos. La erosión y contaminación agroquímica de suelos se estudiaron separadamente mediante el empleo de los modelos Raizal (riesgo de erosión) y Pantanal (riesgo de contaminación), respectivamente. Los modelos Raizal y Pantanal consideran separadamente tres tipos de vulnerabilidad: potencial, de manejo y real, para los siguientes factores de degradación: erosión hídrica, y eólica y contaminación por fósforo, nitrógeno, metales pesados (Cu, Zn, Cd, Hg, Pb) y pesticidas (general, hidrófila, hidrófoba) (Fernández *et al.*, 1998).

En el sistema MicroLEIS, los estudios de evaluación de tierras están enfocados al uso agrícola, su planificación y manejo, de cara a la protección del suelo. Otros estudios de evaluación de tierras se preocupan de la productividad, a través de la modelización del sistema de desarrollo de los cultivos. La fase de modelización incluye los siguientes pasos principales:

- *selección* de los atributos de la tierra: características de tierras y cualidades asociadas.
- *definición* de requerimientos relevantes del uso de la tierra o limitaciones: respuesta al uso de la tierra o nivel de degradación.
- *comparación* entre los atributos de la tierra y los requerimientos de uso: identificando las relaciones causa-efecto a través de descripciones cualitativas, tablas de correspondencia, árboles de decisión, curvas de respuesta, índices de clasificación, factores de peso, o modelos descriptivos.
- *validación* de los algoritmos desarrollados en otras áreas representativas.

La selección de los atributos de tierras (sitio/suelo, clima, y cultivo/manejo) como variables de entrada o indicadores diagnóstico para modelos predictivos es una parte esencial de los estudios de evaluación de tierras (De La Rosa *et al.*, 2004).

Los riesgos de erosión y agrocontaminación se obtuvieron de la siguiente manera: las características de tierra y manejo (**Tabla 3**), generalizadas en clases o niveles, fueron combinadas por medio de árboles de decisión para obtener las cualidades de tierra y manejo (**Tabla 4**). Estas fueron asociadas a través de árboles de decisión basados en la metodología de sistema experto para generar las clases de vulnerabilidad. La evaluación generó clases de vulnerabilidad que, para el caso del módulo Raizal, están comprendidas desde la clase V1, la cual indica que las unidades de campo no son vulnerables a la erosión, hasta la clase V10, la cual indica que las unidades de tierra presentan una vulnerabilidad a la erosión extremadamente alta, no siendo igual para la vulnerabilidad de manejo, donde las clases están comprendidas de V1 hasta V4. Para el caso del módulo Pantanal, están comprendidas para la vulnerabilidad potencial y manejo desde la clase V1, lo cual indica tierras no vulnerables a la contaminación agroquímicas, hasta la clase V4, que indica tierras vulnerables a la contaminación agroquímica, para la vulnerabilidad real, las clases van de V1 a V5 (De La Rosa *et al.*, 2004).

Tabla 4. Cualidades de tierra y manejo.

<u>Modelo Raizal</u>	
Cualidades de tierra	Cualidades de manejo
t- Relieve	o- Propiedades del cultivo para erosión hídrica
k- Erosionabilidad del suelo a la erosión hídrica	z- Prácticas de cultivo para la erosión hídrica
r- Erosividad de la lluvia	c- Propiedades del cultivo para erosión eólica
e- Erosionabilidad del suelo a la erosión eólica	u- Prácticas de cultivo para la erosión eólica
<u>Modelo Pantanal</u>	
Cualidades de tierra	Cualidades de manejo
r- Escorrentía superficial	i- Manejo de fosfato
l- Grado de lavado	j- Manejo de nitrógeno
o- Adsorción de pesticidas	q- Manejo de metales pesados
g- Degradación de pesticidas	r- Manejo de la erosión del suelo
c- Capacidad de adsorción de cationes	
d- Desnitrificación	
f- Fijación de fosfato	

Resultados y discusión

Definición de las unidades de tierra (UT) y los usos agropecuarios

Dado que las condiciones climáticas son similares en toda el área de estudio; las UT se delimitaron en base a la información edáfica del IAN, (1970a) en combinación con la información climática (**Tabla 2**) obteniéndose cinco (5) UT (**Tabla 1**). Las unidades de tierras estudiadas se caracterizan por presentar perfiles con una marcada acidez en cada uno de los horizontes descritos, así como un grado de fertilidad bajo. Hay presencia predominante, en la mayoría de los casos, de textura arenosa en la parte superior del perfil razón por la cual los suelos tienen infiltración y percolación rápida; la retención de humedad en la zona radicular es baja. Los horizontes presentan muy bajo contenido de materia orgánica (Rodríguez *et al.*, 2003).

El uso actual de la tierra esta comprendido en urbano y agrícola, en la zona se presentan diversos sistemas de explotación (siembra en conuco y siembra en hileras), caracterizados por la presencia de Yuca (*Manihot esculenta*), Maní (*Arachis hypogea*), Frijol (*Vigna sinensis*), Patilla (*Citrullus vulgaris*), Melón (*Cucumis melo*), Maíz (*Zea mays*), Sorgo (*Sorghum bicolor*) y pastizales (*Brachiaria brizantha*, *B. dictyoneura*, *B. decumbens* y *B. humidicola*) (Rodríguez *et al.*, 2003). Por otra parte, las estrategias de subsistencia en los agroecosistemas locales: el sistema agrícola tradicional de los kariñas está basado en el conuco (*swidden*) que se trata de pequeñas extensiones de tierras cercanas a los morichales, cultivadas por un período limitado de años y traslados periódicos para no agotar los nutrientes del suelo. Aunque no está completamente en crisis, este sistema de cultivo ha sufrido transformaciones en el curso de los últimos decenios debido, sobre todo al aumento del contacto con los criollos y a la progresiva inserción de los kariñas en los mercados (Amodio *et al.*, 1991). Actualmente, algunas comunidades, tales como Mapiricure, Tascabaña I, Bajo Hondo, Barbonero y Kashaama, han adoptado otros sistemas de producción agrícolas en raíces y tubérculos, hortalizas y leguminosas, con una superficie utilizada que supera las 200 hectáreas.

Amodio *et al.* (1991) y Rodríguez *et al.* (2003) reportan que en el área de estudio tienen carácter de importancia la yuca, el maíz, el frijol, ñame, ocumo, patilla, melón y el algodón. CIAGRO (2003) reporta para los cultivos maíz, yuca, algodón, frijol, patilla, melón y maní. Su producción, aunque poco considerable, representa un aporte importante al Estado, concentrando el 3,8%, 2,1%, 6,4%, 2,5%, 10,9%, 1,1% y 66,5%, respectivamente, de la producción nacional en el período 1996-2002.

Las unidades de tierra y los usos agropecuarios se caracterizaron de acuerdo con las necesidades de los modelos Raizal y Pantanal (**Tabla 3**). En la zona de estudio se observa un predominio de suelos con CIC baja, con una baja a moderada pedregosidad superficial, la forma del terreno predominante es plano y en menor proporción meseta, los suelos presentan en la mayoría de los casos un buen drenaje con pendiente que van de bajas a moderadas (0,5% – 8%), el nivel de materia orgánica es bajo (< 2%), el pH oscila entre 4,3 y 6,1 y la saturación de sodio presenta niveles bajos para toda la zona de

estudio. Con respecto a los usos agropecuarios más representativos para la zona de estudio se observa, en forma general, que las prácticas de manejo se adaptan a las condiciones agroecológicas del área de estudio, es frecuente el uso de pesticidas, el tipo de laboreo es convencional combinado con prácticas conservacionistas de suelo.

Evaluación del riesgo agroambiental de las tierras

El riesgo agroambiental se analiza por separado, por un lado aspectos erosivos y, por otro, la agrocontaminación. En ambos casos se consideran tres aspectos, vulnerabilidad potencial, de manejo y real. La vulnerabilidad potencial considera el riesgo biofísico de que la aptitud del suelo pueda ser dañada en una o más de sus funciones ecológicas; la vulnerabilidad de manejo considera el riesgo a la degradación que conlleva un tipo de utilización de campo particular y la vulnerabilidad real considera simultáneamente los riesgos biofísicos y de manejo para la unidad de campo determinada.

Vulnerabilidad agroambiental según riesgos de degradación por agrocontaminación

Vulnerabilidad potencial

Las UT presentan una vulnerabilidad potencial de ninguna (V1) a alta (V4) (**Tabla 5**). Para el caso de agrocontaminación por fósforo, el 70,8% del área presentó una baja (V2) vulnerabilidad. Sólo el 22,9% del área presentó una alta (V4) vulnerabilidad a la agrocontaminación por fósforo, debido a los riesgos de escorrentía superficial y a la presencia de suelos arenosos con poca materia orgánica. Para el nitrógeno, la vulnerabilidad es de moderada a alta (V3-V4), abarcando la totalidad del área de estudio. Por otra parte, el 77,1% del área presentó una moderada (V3) vulnerabilidad a la agrocontaminación por metales pesados, mientras que la vulnerabilidad a la agrocontaminación por pesticidas es alta (V4), abarcando el 93,7% del área de estudio. Estos problemas se relacionan con la baja capacidad de adsorción de cationes, la baja capacidad de biodegradación de los pesticidas y, en menor proporción, los riesgos de escorrentía superficial. Los bajos contenidos de materia orgánica y las altas temperaturas, que inciden en una menor cantidad de microorganismos en el suelo, son las características que ocasionan estos problemas. Aspectos que Basto-Saldaña *et al.* (2005) y Heinrichs *et al.* (2005) mencionan como relevantes en sus respectivos estudios. Estos resultados son consistentes con los estudios de Fernández *et al.* (1998), donde reporta que los suelos representativos de Los Llanos Orientales mostraron una vulnerabilidad moderada a alta (V3-V4) para contaminación por nitrógeno, metales pesados y pesticidas, no siendo así para la vulnerabilidad potencial de contaminación por fósforo, la cual oscila de baja a moderada (V2-V3). Los mencionados autores reportan que estos problemas están asociados principalmente a la baja capacidad de adsorción de cationes y pesticidas, que incide en la retención de fósforo, la baja posibilidad de biodegradación, la alta susceptibilidad al lavado en los suelos arenosos y las condiciones de reducción en los suelos con tendencia a régimen de humedad áquico.

Tabla 5. Vulnerabilidad potencial a la agrocontaminación en la zona de estudio.

UT	Fósforo	Nitrógeno	Metales pesados	Pesticidas	Área (%)
1	V2	V3cd	V3c	V4og	10.27
2	V4r	V4cdr	V4cr	V4ogr	22.86
3	V2	V3cd	V3c	V4og	60.17
4	V2	V3cd	V3c	V4og	0.38
5	V1	V3cd	V3c	V3g	6.32
TOTAL					100

r: Escorrentía superficial; g: Degradación de pesticidas; c: Capacidad de adsorción de cationes; d: Desnitrificación; o: Adsorción de pesticidas

Otros estudios realizados en España y el Reino Unido destacan que los bajos niveles de materia orgánica en el suelo pueden aumentar los riesgos por contaminación de pesticidas y metales pesados debido, principalmente, a la baja actividad de la microfauna del suelo (Bordas y Sánchez, 1998; Goulding y Blake, 1998; Tower y Paterson, 1997).

Vulnerabilidad de manejo

Los usos representativos de la zona de estudio son el Algodón, Frijol, Maíz, Maní, Melón, Ñame, Pasto, Pastilla, Sorgo y Yuca. El manejo agronómico del Algodón, Frijol, Maíz, Maní, Melón, Patilla, Sorgo y Yuca está relacionado con un uso elevado de fertilizantes nitrogenado y pesticidas, además de la ausencia de prácticas de conservación de suelos y agua, lo que genera una vulnerabilidad de manejo a la agrocontaminación por nitrógeno y pesticidas alta (V4). Estudios realizados por Cabral Da Silva *et al.* (2005) y Fadalski y Tormena (2005) demuestran que los sistemas convencionales de manejo son altamente degradativos. Por otra parte, se observa en la **Tabla 6** como los usos seleccionados presentan una vulnerabilidad

de manejo que oscila de baja a moderada (V2-V3) para la contaminación por fósforo y metales pesados. Los usos Ñame y Pasto presentan una vulnerabilidad de manejo de clase ninguna (V1), esto se debe al tipo de manejo y a las prácticas de conservación de suelos y aguas. Las técnicas de manejo aplicadas a estos usos están muy asociadas a porciones de terrenos, denominados "Morichales", que presentan una vegetación que posee una fuente de recursos hídricos constante. Cabe destacar que Fernández *et al.* (1998) reportan que los usos Maní y Soja presentan un alto (V4) riesgo de contaminación por fósforo, nitrógeno, metales pesados y pesticidas debido a un uso excesivo de fertilizantes, pesticidas y la falta de prácticas de conservación. Por otra parte, los pastos se mantienen de forma natural con una vulnerabilidad de manejo a la agrocontaminación de ninguna a baja (V1-V2), coincidiendo con los resultados expuestos.

Tabla 6. Vulnerabilidad de manejo a la agrocontaminación para los usos agropecuarios seleccionados en la zona de estudio.

Usos	Fósforo	Nitrógeno	Metales pesados	Pesticidas
Algodón	V2i	V3j	V3q	V4t
Frijol	V2	V4j	V2	V1
Maíz	V2	V4j	V2	V4t
Maní	V2	V4j	V2	V4t
Melón	V2	V4j	V2	V4t
Ñame	V1	V1	V1	V1
Pasto	V1	V1	V1	V1
Patilla	V2	V4j	V2	V4t
Sorgo	V2	V4j	V2	V4t
Yuca	V3i	V4j	V3q	V4t

i: Manejo de fosfato; j: Manejo de nitrógeno; q: Manejo de metales pesados; t: Manejo de pesticidas

Vulnerabilidad real

El riesgo potencial (**Tabla 5**), combinado con el riesgo de manejo (**Tabla 6**) generaron en las UT una vulnerabilidad real de ninguna (V1) a extrema (V5). Para el caso de agrocontaminación por fósforo para los usos Algodón, Frijol, Maíz, Maní, Melón, Ñame, Pasto, Patilla y Sorgo, el 77,1% del área presenta clases que oscilan entre ninguna (V1) a baja (V2) de vulnerabilidad real. Sólo el uso Yuca presenta una vulnerabilidad real a la agrocontaminación por fósforo que va de alta a extrema (V4-V5), abarcando el 77,1% y 22.9% del área de estudio, respectivamente. Esto se debe al manejo de fosfato asociado con la falta de prácticas de conservación de suelos y agua. Para la agrocontaminación por nitrógeno, la vulnerabilidad fue extrema (V5) para todos los usos seleccionados, excluyendo los usos Ñame y Pasto, donde la vulnerabilidad fue baja (V2). Por otra parte, toda el área de estudio presentó una moderada a alta (V3-V4) vulnerabilidad a la agrocontaminación por metales pesados para todos los usos seleccionados, con la excepción del uso Ñame, que presentó de ninguna a baja (V1-V2) vulnerabilidad a la agrocontaminación por metales pesados. Lo mismo ocurrió para el caso de la vulnerabilidad a la agrocontaminación por pesticidas, donde toda el área de estudio presentó una susceptibilidad extrema (V5) para los usos Algodón, Maíz, Maní, Melón, Patilla, Sorgo y Yuca. Sólo los usos Frijol y Ñame presentaron una vulnerabilidad a la agrocontaminación por pesticidas baja (V2). Estos problemas se originan por el uso inadecuado de fertilizantes y pesticidas en combinación con la baja capacidad de adsorción de cationes, la baja capacidad de biodegradación de los pesticidas y los riesgos de escorrentía superficial que, aunque no son generalizados, pueden provocar serios daños a unidades de tierras (UT2) específicas.

El ñame y el pasto se presentan como una alternativa de usos más sostenible y respetuosa con el medioambiente, mostrando una baja (V2) vulnerabilidad real a la agrocontaminación por fósforo, nitrógeno, metales pesados y pesticidas en más 75% del área de estudio. En este sentido, Cabral Da Silva *et al.* (2005) destacan que el uso de pasto asociado con aportes de nitrógeno al suelo representa una importante estrategia para reducir el riesgo por agrocontaminación.

Vulnerabilidad agroambiental según riesgos de degradación por erosión

Vulnerabilidad potencial

La vulnerabilidad potencial según el riesgo de erosión hídrica en la zona de estudio es sumamente baja, con calificaciones que oscilan desde ninguna (V1) hasta baja (V2) en toda el área de estudio (100%) (**Tabla 7**). Esto es debido a que en la mayoría del área de estudio predominan las bajas pendientes y el buen drenaje. Sin embargo, bajo condiciones climáticas extremas pueden originarse procesos erosivos a niveles irreversibles. Fernández *et al.* (1998) reportan que para Los Llanos Orientales la vulnerabilidad potencial a la erosión hídrica oscila entre ninguna a baja (V1-V2), coincidiendo con los resultados del presente estudio. Otros estudios realizados por COPLANARH (1973) e IAN (1970a) en Los Llanos Orientales señalan que

los problemas de erosión hídrica no constituyen una limitación muy grave para el desarrollo agropecuario de la región. Para la erosión eólica se puede observar una vulnerabilidad potencial extrema (V10), debido principalmente a la alta erosionabilidad del suelo, en combinación con la baja estabilidad estructural de los agregados y la velocidad del viento. Gilley y Doran (1997) y Perret *et al.* (1996) destacan que una alta erosionabilidad puede estar asociada a la baja estabilidad estructural de los agregados, aspecto importante a considerar en el área de estudio, debido a la predominancia de perfiles arenosos. Esta afirmación es sostenida por Albuquerque *et al.* (2005) y Argenton *et al.* (2005). Estudios realizados en Nigeria y Estados Unidos muestran altos niveles de erosión eólica en suelos de texturas arenosas con niveles altos de partículas finas (Wu *et al.*, 1997; Baidu y Napier, 1998).

Tabla 7. Vulnerabilidad potencial a la erosión (hídrica y eólica) en la zona de estudio.

UT	Erosión hídrica	Erosión eólica	% del área total
1	V1	V10e	10.27
2	V2	V10e	22.86
3	V1	V10e	60.17
4	V1	V10e	0.38
5	V2	V10e	6.32
TOTAL			100

e: Erosionabilidad del suelo a la erosión eólica

Vulnerabilidad de manejo

Los usos Algodón, Frijol, Maíz, Maní, Melón, Patilla, Sorgo y Yuca presentan una vulnerabilidad de manejo a la erosión hídrica que oscila entre moderadamente alta a muy alta (V3-V4) (**Tabla 8**), debido a las prácticas de manejo convencionales (el uso excesivo de implementos agrícolas, el uso ineficiente de agroquímicos y la ausencia de prácticas de conservación de suelo) utilizadas para estos cultivos. Adicionalmente, las características del cultivo con una duración de las hojas temporal, posición de las hojas verticales y alturas de las plantas superiores a 0,5 m, contribuyen significativamente a que la vulnerabilidad de manejo sea alta. Un estudio realizado en São Paulo destaca como el maíz es altamente degradativo para el suelo cuando se usan prácticas de manejo convencionales (Heinrichs *et al.*, 2005). Para los usos pasto y ñame, debido a la ausencia de prácticas de manejo convencionales y a las características de los cultivos, la vulnerabilidad de manejo es muy baja (V1), según los riesgos de erosión hídrica. Por ello, se considera que el manejo actual del Pasto y el Ñame se adecuan a las condiciones agroecológicas que imperan en el área de estudio. La vulnerabilidad a la erosión eólica oscila entre moderadamente alta a muy alta (V3-V4) para todos los usos, debido a las prácticas del cultivo, como la pulverización del suelo, en combinación con el uso de implementos agrícola, el espaciamiento entre plantas y la presencia de suelos desnudos. Este último aspecto está muy relacionado con el nivel de partículas finas y la velocidad del viento.

Tabla 8. Vulnerabilidad de manejo de la erosión (hídrica y eólica) para los usos agropecuarios seleccionados en la zona de estudio.

Usos	Erosión hídrica	Erosión eólica
Algodón	V4oz	V4u
Frijol	V3o	V4uc
Maíz	V4oz	V4u
Maní	V4oz	V4uc
Melón	V3o	V4uc
Ñame	V1	V3u
Pasto	V1	V3u
Patilla	V3o	V4uc
Sorgo	V4oz	V4u
Yuca	V4z	V4u

o: Propiedades del cultivo para la erosión hídrica; z: Prácticas del cultivo para la erosión hídrica; c: Propiedades del cultivo para la erosión eólica; u: Prácticas del cultivo para la erosión eólica.

Vulnerabilidad real

El riesgo potencial (**Tabla 7**) junto al riesgo de manejo (**Tabla 8**) generaron para los usos Algodón, Maíz, Maní, Pasto, Sorgo y Yuca una vulnerabilidad real a la erosión hídrica que oscila entre baja (V3) y ligeramente alta (V6). En esta clase, los procesos erosivos pueden eliminar por completo el horizonte A, pudiendo aparecer cárcavas someras. Cabe destacar que el 30% del área presenta una vulnerabilidad real moderadamente alta (V6), donde las prácticas del cultivo para la erosión hídrica influyen de manera significativa, además de las prácticas de cultivo para la erosión eólica. Fernández *et al.* (1998) reportan que para los sistemas de producción con Maní y Soja, las clases de riesgos oscilan desde muy baja (V2), a moderadamente baja (V4), señalando que la recuperación de estos suelos necesitaría de un programa de conservación para un uso sostenible de la tierra.

Por otra parte, para los usos Frijol, Ñame, Melón y Patilla la vulnerabilidad real a la erosión hídrica es muy baja (V2), aunque puede llegar a ser moderadamente baja (V4). Las propiedades del cultivo y las prácticas asociadas al mismo son características que contribuyen a disminuir el impacto de las gotas de lluvia, bajando significativamente las probabilidades de que se generen procesos erosivos. El riesgo real de erosión eólica va desde muy alto (V9) a extremo (V10) para todos los usos seleccionados, donde las características de los usos junto a la erosionabilidad del suelo a la erosión eólica son factores importantes a considerar en la determinación de los riesgos.

Conclusiones

1. Con el uso de un sistema de apoyo a la decisión agro-ecológica (MicroLEIS) se evaluó exitosamente el riesgo agroambiental, a partir del análisis de la erosión y agrocontaminación que presentan los suelos de las comunidades indígenas asentadas en los Municipios Freites e Independencia.
2. Los suelos de las comunidades indígenas evaluados a partir de los usos agropecuarios: Algodón, Frijol, Maíz, Maní, Melón, Ñame, Ganadería (pasto), Patilla, Sorgo y Yuca presentaron una vulnerabilidad agroambiental de moderada a alta.
3. Los sistemas de producción Algodón, Maíz, Maní, Sorgo y Yuca generan una alta vulnerabilidad de manejo y real, según los riesgos de erosión hídrica y agrocontaminación. Se recomienda una disminución en el uso de implementos agrícola, incorporación de prácticas de conservación de suelos y aguas, y asociación de los cultivos Maíz, Sorgo y Yuca con pasto de porte bajo. Estos aspectos mejorarían la estabilidad estructural del suelo, así como su capacidad de retener la humedad y el flujo interno. En cuanto al riesgo de erosión eólica, la vulnerabilidad agroambiental es alta (potencial, de manejo y real). Esto se debe a los altos niveles de erosionabilidad de los suelos, al espaciamiento entre hileras de la mayoría de los usos agropecuarios seleccionados, a los altos niveles de partículas finas, y a la velocidad del viento. Para paliar estos problemas se recomienda incorporar de manera lenta y gradual materia orgánica al suelo. Esto permitiría una recuperación lenta de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo. Aunando el uso de barreras vivas y cultivos de cobertura, se incidiría en aspectos fundamentales de la protección del suelo, promoviendo la actividad biológica del mismo.

Referencias

- Albuquerque, J. A., Argenton, J., Bayer, C., Do Prado Wildner, L., y Granzotto Kuntze, M. A. 2005. Relação de atributos do solo com a agregação de um latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *R. Bras. Ci. Solo.* 29: 415-424.
- Amodio, E, Biord, H., Jiménez A. y Méndez, M. 1991. *La situación actual de los Kariñas*. IVIC-MLAL. Caracas. Venezuela. 172 pp.
- Argenton, J., Albuquerque, J. A., Bayer, C., y Do Prado Wildner, L. 2005. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *R. Bras. Ci. Solo.* 29: 425-435.
- Baidu, F y Napier, T. 1998. Wind erosion control within Niger. *Journal of Soil and Water Conservation.* 53:120-125.
- Basto-Saldaña, R., De Sá Mendonça, E., Álvarez V. H., Corrêa Metro, M. y Da Costa, L. M. 2005. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimiento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. *R. Bras. Ci. Solo.* 29: 21-31.
- Bordas, V. y Sánchez, J. 1998. Metodología y valores estimados para definir el riesgo de degradación química de los suelos en la Provincia de Valencia. *An. Edafol. Agrobiol.* 47: 801-809.
- Cabral Da Silva, E., Buzetti, S., Guimarães, G. L., Lazarini, E. y Eustáquio De Sá, M. 2005. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio directo sobre latossolo vermelho. *R. Bras. Ci. Solo.* 29: 353-362.

- CIAGRO (Centro de Información Agroalimentaria). 2003. Estadísticas Básicas de Producción. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay. Venezuela.
- Comisión del Plan de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH). 1973. *Geomorfología Llanos Orientales de Venezuela*. Caracas. Venezuela. 163 pp.
- De La Rosa, D., Mayol, F., Díaz-Pereira, E., Fernández, M. y De La Rosa, D. Jr. 2004. A land evaluation decision support system (*MicroLEIS DSS*) for agricultural soil protection. *Environmental Modelling & Software*. 19: 929-942. Disponible En: www.microleis.com
- Fadalski, J. y Tormena, C.A. 2005. Dinâmica da calagem superficial em um latossolo vermelho distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*. 29: 235-247.
- Fernández, L., Florentino Y. y Rey, J.C. 1998. *Aplicación de un sistema informático integrado para la evaluación de la degradación medio ambiental en el Trópico*. Memorias. Maracay. Venezuela. 117 pp.
- Gilley, J.E y Doran, J.W. 1997. Tillage effect on soil erosion potential and soil quality of a former conservation reserve program site. *Journal of Soil and Water Conservation*. 52: 184-188.
- Goulding, K. y Blake, L. 1998. Land use, liming and the mobilization of potentially toxic metals. *Agric. Ecosyst. and Environ*. 67: 135-144.
- Guerrero, A. 1999. Cultivos Herbáceos Extensivos. *El Algodonero*. 6ta. Edición. Ed. Mundi-Presa. Madrid. España. 831 pp.
- Guzmán, J. 1991. *Patilla y Melón*. Serie Agrícola vegetal Nro. 15. 1ª. Ed. Espasande Editores. Caracas. Venezuela. 223 pp.
- Heinrichs, R., Vitti, G.C., Moreira, A., Monteiro De Figueiredo, P.A., Fancelli, A.L. y Corazza, E.J. 2005. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adobos verdes e de grãos de milho, de corrente do cultivo consorciado. *R. Bras. Ci. Solo*. 29: 71-79.
- Instituto Agrario Nacional (IAN). 1970a. *Estudio Agrológico preliminar detallado de la zona mesa de Guanipa*. Tranarg. Vol II. Caracas. Venezuela. 324 p.
- Instituto Agrario Nacional (IAN). 1970b. *Estudio Agrológico preliminar detallado de la zona mesa de Guanipa*. Tranarg. Vol. IV. Caracas. Venezuela. 145 pp.
- Larose, M., Oropeza-Mota, J. L., Norton, D., Turrent-Fernández, A., Marinez-Menes, M., Pedraza-Oropeza, J. A. y Francisco-Nicolás, N. 2004. Application of the wepp model to hillside lands in the Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Agrociencia* 38: 155-163.
- López, L. 1991. Cultivos Herbáceos. Cereales. Madrid. Ed. Mundi-Presa. Vol. 1. 539 pp.
- Lozano, Z., Deyanira Lobo, L. e Ildefonso Pla, L. 2002. *Susceptibilidad a la degradación física de Anfisoles de los llanos centrales y occidentales de Venezuela*. Documento de Trabajo. Maracay. Venezuela.
- Mazzani, B.1999. Los suelos y su manejo en los llanos centro-occidentales. En: *Investigación y tecnología del cultivo del ajonjolí en Venezuela*. Ed. CONICIT. Maracay. Venezuela. Disponible En: <http://ajonjoli.sian.info.ve/cap03.html>.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). 2005. Estadísticas Climatológicas del Estado Anzoátegui. Período 1971-2004. Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica. Estación EL TIGRE-CIA-GUANIPA. Caracas. Venezuela.
- Mogollón, L. y Comerma, J. 1994. *Suelos de Venezuela*. Editorial Exlibris. Maracay. Venezuela 265 pp.
- Perret, S., R. Michellon., Boyer, J. y Tassin, J. 1996. Soil rehabilitation and erosion control through agro-ecological practices on Reunion Island (French Overseas Territory, Indian Ocean). *Agric. Ecosyst. Environ*. 59: 149-157.
- Pla, I. 1988. *Desarrollo de índices y modelos para el diagnóstico y prevención de la degradación de suelos agrícolas en Venezuela*. Ediciones Banco Consolidado. Caracas. Venezuela. 40 pp.

Pla, I. 1990. La Degradación y el Desarrollo Agrícola de Venezuela. *Agronomía Tropical* 40: 7-27.

Rodríguez, D y Carnero, J. 1991. *El Algodón*. Ed. Mundi-Presa. Madrid. España. 242 pp.

Rodríguez, T., Sanabria, D. y Navarro, L. 2003. Nuevos enfoques en el manejo de sabanas en los llanos orientales venezolanos. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Anzoátegui. *Rev. Divulga* N° 52. Disponible En: <http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/fdivul/fd52/sabanas.htm>.

Towers, W y E. Paterson. 1997. Sewage sludge application to land a preliminary assessment of the sensitivity of Scottish soils to heavy metal inputs. *Soil Use and Manage.* 13: 149-155.

Wu, J., Nellis, M., Ransom, M., Price, K. y Egbert, S. 1997. Evaluation soil properties of CRP land using remote sensing and GIS in Finney County, Kansas. *Journal of Soil and Water Conservation.* 52: 352-358.