



ARTÍCULO DE REFLEXIÓN

NUEVOS ENFOQUES PARA EL MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA EN SISTEMAS AGRÍCOLAS Y MEDIO AMBIENTALES

New approaches for the handling and conservation of soils and water in agricultural and environmental systems

Ildefonso Pla Sentis¹

RESUMEN

En las últimas décadas, y por razones e intereses diversos, se han promovido, prácticas de manejo como aterrazamientos, "labranza cero" o "siembra directa", y relacionadas. Su aplicación aislada, sin tomar en cuenta otros factores complementarios, en millones de hectáreas de tierras con suelos de alta "calidad" original, ha resultado muchas veces en consecuencias catastróficas sobre la degradación directa de dichos suelos. No existen sistemas y prácticas de uso y manejo de suelos y agua, y de tierras en general, que puedan o deban aplicarse universalmente, dada la variedad de factores involucrados, los cuales además pueden y suelen cambiar con el tiempo. Los desarrollos en la investigación de la ciencia del suelo deben ser dirigidos a un mejor entendimiento de los procesos y reacciones en suelos relacionados con el uso y manejo de los recursos suelo y agua en un rango de escalas espaciales y temporales. Para garantizar una aproximación interdisciplinaria sería necesario un incremento en la cooperación entre científicos del suelo, hidrólogos y científicos de disciplinas relacionadas, y entre instituciones involucradas en la investigación y aplicación de sistemas y prácticas de uso y manejo de tierras, en particular de los recursos suelos y agua.

ABSTRACT

In recent decades, and for different reasons and interests, management practices have been promoted, such as terracing, "no-tillage" or "direct sowing", and related. Its isolated application, without taking into account other complementary factors, in millions of hectares of land with original high "quality" soils, has often resulted in catastrophic consequences on the direct degradation of said soils. There are no systems and practices for the use and management of soil and water, and land in general, that can or should be applied universally, given the variety of factors involved, which can also and often change over time. The developments in the investigation of soil science should be directed to a better understanding of the processes and reactions in soils related to the use and management of soil and water resources in a range of spatial and temporal scales. To guarantee an interdisciplinary approach, it would be necessary to increase cooperation between soil scientists, hydrologists and scientists from related disciplines, and between institutions involved in the research and application of systems and practices of land use and management, in particular soil and water resources.

¹ Universitat de Lleida. Lleida, España. ipla@macs.udl.es

Palabras clave:

Manejo de suelos,
conservación de suelos,
Sistemas ambientales.

Key words:

Soils management, soils
conservation, environmental
systems.

Rec.: 23.09.2016

Acep.: 14.10.2016

INTRODUCCIÓN

Los suelos y el agua son los dos recursos naturales sobre los que se basa la vida sobre la tierra. Por lo tanto, del uso y manejo que hagamos de ellos dependerá el desarrollo de la humanidad, tanto presente como futuro. Ambos recursos están íntimamente relacionados, por lo que el estudio de sus interacciones bajo diferentes condiciones de uso y manejo con diferentes fines, es indispensable para una adecuada evaluación de los procesos derivados que puedan afectar su capacidad para proveer en forma sostenible los bienes y servicios que el hombre requiere, sin efectos negativos sobre el medio ambiente. Estas evaluaciones requieren a su vez de enfoques y metodologías adecuadas, que tomen en cuenta la combinación de los factores involucrados en cada caso. Sólo así se puede llegar al desarrollo, selección y adaptación de sistemas y prácticas de uso y manejo de los recursos suelos y agua, que garanticen al mismo tiempo su conservación y la manutención e incremento de su capacidad productiva que el futuro de la humanidad requiere.

Manejo de suelos y aguas se refiere a cualquier manipulación humana de los recursos suelos y agua, tradicionalmente asociada a desarrollos agrícolas y ganaderos, pero también, y cada vez en mayor proporción a desarrollos urbanos, industriales, deportivos, vías de comunicación y similares. Con el incremento de la población mundial y desarrollo tecnológico, la intensidad y consecuencias de dicho manejo se han incrementado aceleradamente en los últimos 50-100 años. Considerando que los recursos suelo y agua, independientemente, y a través de sus interacciones, son fundamentales para la manutención y desarrollo de la vida sobre la tierra, incluyendo plantas, animales y la misma especie humana, su uso y manejo es determinante para ello. Los efectos prioritarios a considerar son los que tienen que ver con la producción de alimentos, suplencia de agua y preservación de condiciones y calidad ambiental adecuada para la vida humana.

Cuando el uso y prácticas de manejo de los recursos suelo y agua llevan a alteraciones de dichos recursos que suponen una pérdida parcial o total de su capacidad para soportar el desarrollo y manutención de la vida sobre la tierra, hablamos de

procesos de degradación de suelos y agua, o de degradación de tierras en general. Por el contrario, cuando dicho uso y manejo conducen a una preservación o mejora en forma sostenible de la capacidad de los recursos suelo y agua para satisfacer los requerimientos de la especie humana, hablamos de conservación de suelos y agua, y de conservación de tierras en general.

El término sostenibilidad incluye aspectos biofísicos, sociales y económicos. Es por ello que prácticas de manejo y conservación de suelos y agua, que pueden ser sostenibles bajo ciertas condiciones sociales y económicas, no lo son bajo condiciones diferentes. La consideración de estos aspectos resulta aún más determinante, bajo las condiciones aceleradas, actuales y previstas para el futuro, de incremento de la población y de su desarrollo, a nivel mundial y de cada una de sus regiones, de las últimas décadas. Por otro lado, prácticas de manejo y conservación para incrementar y hacer más sostenible la producción agrícola, pueden afectar negativamente la calidad ambiental. Más aún, la calidad ambiental es un término relativo en comparación a una determinada situación estándar, la cual puede variar mucho de acuerdo a las particulares condiciones sociales y económicas de la población.

Entre los aspectos biofísicos a considerar, están las diferentes características y propiedades intrínsecas de suelos y aguas, y de grado y tipo de pendiente, que algunos incluyen bajo el término general de "calidad", cómo único factor determinante de su capacidad para un uso y manejo sostenible. Sin embargo, dentro de ciertos límites, y bajo determinadas condiciones de presiones sociales y económicas, resultan más determinantes las prácticas de uso y manejo. Otro factor físico a considerar es el clima, en especial la temperatura y las lluvias, y su régimen a lo largo del año, el cual varía mucho de un lugar a otro, y podría estar afectado por los aún en parte hipotéticos cambios climáticos previstos para el futuro asociados a la emisión y acumulación en la atmósfera de los llamados gases con efecto invernadero (GEI). A pesar de ello, hoy en día, aún muchos de los problemas ambientales atribuidos indiscriminadamente a dichos cambios climáticos, se derivan fundamentalmente de un uso y manejo no adecuados de los recursos suelo y agua.

Más aún, algunos de esos efectos podrían prevenirse o atenuarse con sistemas y prácticas de uso y manejo apropiados de suelos y agua.

De las consideraciones anteriores puede deducirse que no existen sistemas y prácticas de uso y manejo de suelos y agua, y de tierras en general, que puedan o deban aplicarse universalmente, dada la variedad de factores involucrados, los cuales además pueden y suelen cambiar con el tiempo. Sin embargo, la gran mayoría de publicaciones dedicadas hasta ahora al tema de manejo y conservación de tierras, presentan y promueven el uso de un grupo de prácticas de aplicación supuestamente “universal”, o basadas en deducciones de naturaleza esencialmente empírica. Han aparecido incluso algunas promoviendo evaluaciones eminentemente

subjetivas, basadas en simples observaciones directas u opiniones de “expertos”, acerca de los efectos de diferentes sistemas y prácticas de manejo. Adicionalmente, en las últimas décadas, y por razones e intereses diversos, no necesariamente con bases científicas, se han promovido, a veces dogmáticamente, prácticas de manejo como aterrazamientos, “labranza cero” o “siembra directa”, y relacionadas. Su aplicación aislada, sin tomar en cuenta otros factores complementarios, en millones de hectáreas de tierras con suelos de alta “calidad” original, ha resultado muchas veces en consecuencias catastróficas sobre la degradación directa de dichos suelos, y en consecuencias muy negativas sobre los balances y regímenes de humedad, sobre los balances de nutrientes y C, y problemas derivados, en las regiones afectadas. También

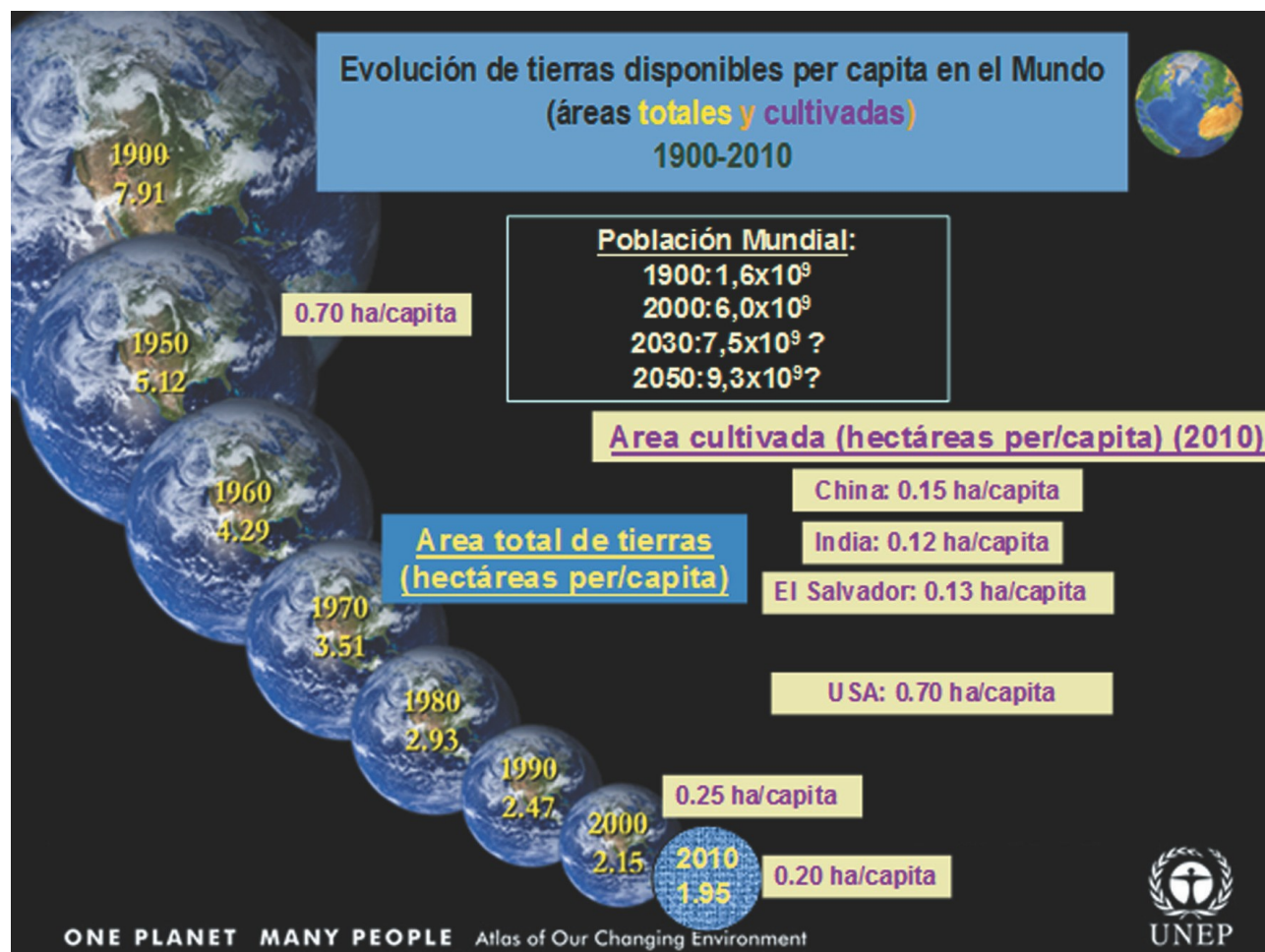


Figura 1. Limitaciones de tierras disponibles para uso agrícola en el Mundo y algunos países, en relación al crecimiento de la población (adaptado de: UNEP, 2005).

se han ido multiplicando publicaciones basadas muchas veces en deducciones empíricas y aisladas, sin una base experimental ni un rigor científico adecuado, sobre la influencia de potenciales cambios climáticos futuros sobre el manejo y conservación de suelos y agua, y sobre el potencial de los suelos para mitigar dichos cambios con el llamado “secuestro de carbono”.

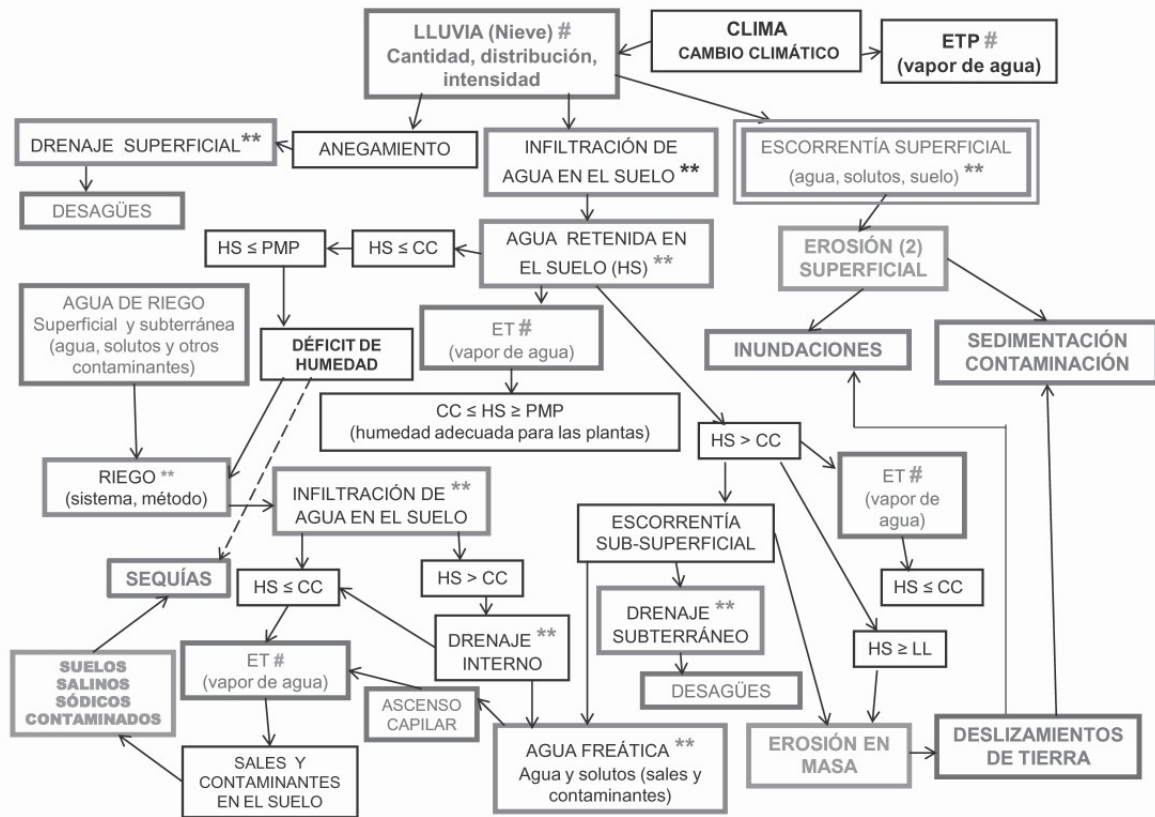
Algunos problemas relacionados directa o indirectamente con el uso y manejo de tierras, muchas veces atribuidos exclusivamente a cambios climáticos inducidos por el hombre, se han acentuado en las últimas décadas derivado fundamentalmente de las crecientes presiones sobre los recursos suelo y agua por parte de una creciente población, especialmente en países en desarrollo. Entre ellos están los desastres “naturales” como sequía, deslizamientos de tierra, inundaciones, etc, con efectos negativos sociales, económicos y sobre el medio ambiente. También requiere atención especial el efecto directo o indirecto sobre el manejo y conservación de suelos y agua de las recientes presiones sobre el uso de nuevas tierras para cultivo de especies energéticas dedicadas a la producción de biocombustibles.

Desde hace unas cinco décadas hemos estado realizando estudios e investigaciones relacionadas con los procesos hidrológicos en los suelos asociados a los diferentes sistemas y prácticas de manejo de suelos y agua. Se han incluido tanto situaciones relacionadas con agricultura de secano como de regadío, y sus combinaciones, bajo diferentes condiciones climáticas. Como producto de los resultados de dichas investigaciones hemos llegado a la conclusión de que dicha aproximación es la más adecuada para la evaluación de los factores y procesos críticos involucrados, directa o indirectamente, en las diferentes prácticas y cambios de uso y manejo de suelos y aguas. Igualmente ocurre con los procesos hidrológicos asociados a las prácticas de conservación y principales procesos de degradación de suelos y agua como degradación de la estructura, erosión superficial y en masa, y problemas de contaminación y salinización de suelos y agua (Pla, 1998; 2002; 2010).

Para los fines señalados anteriormente, hemos ido desarrollando aproximaciones y modelos para

evaluar y predecir balances hídricos y regímenes de humedad en el suelo, como base para deducir los procesos hidrológicos causantes de diferentes procesos y problemas de degradación de suelos y agua (Figura 2). Esto se complementa con balances de elementos en solución, incluyendo los efectos de reacciones químicas y fisico-químicas en el suelo, para la evaluación y predicción de procesos de contaminación, salinización y sodificación de suelos y agua (Figura 3). Todo ello en relación a diferentes propiedades hidrológicas de los suelos y a condiciones climáticas actuales o previstas para el futuro, y bajo diferentes condiciones de uso y manejo de suelos y agua. A través de diferentes aproximaciones, basadas en numerosos estudios e investigaciones a nivel de campo, se han ido precisando y simplificando los requerimientos y procesamiento de la información, así como la metodología para obtenerla. Con ello se ha buscado facilitar la aplicabilidad de aproximaciones hidrológicas a la solución de casos específicos de conservación de suelos y agua, y a la selección y desarrollo de los sistemas y prácticas de uso y manejo de tierras más adecuadas y sostenibles (Figura 4). En ningún caso se ha sacrificado en lo esencial la consideración de las bases físicas de los procesos hidrológicos involucrados.

Aunque en las últimas dos décadas se ha ido incorporando, al menos parcialmente, un enfoque hidrológico en la evaluación y recomendación de prácticas de manejo de suelos y agua, ello se ha hecho frecuentemente con enfoques empíricos, tanto en los modelos propuestos como en la evaluación de la información hidrológica requerida, utilizando en la mayoría de los casos las llamadas “funciones de pedotransferencia” (FPT). Con estas funciones se pretenden deducir, utilizando correlaciones múltiples, parámetros hidrológicos a partir de características estáticas de los suelos, en especial textura, disponibles de estudios de reconocimiento de suelos con fines de clasificación realizados en épocas anteriores. En los últimos años se ha llegado incluso a proponer la “hidro-pedología” como una nueva rama de la Ciencia del Suelo, dedicada al estudio de las interacciones entre suelos y agua a diferentes niveles. Pretende facilitar el uso de información pedológica para deducir las propiedades hidrológicas y mecanismos que controlan los procesos inter-



HS: humedad del suelo; ET: evapo-transpiración; ETP: evapo-transpiración potencial; CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente; LL: límite líquido; Entradas y salidas de agua; Procesos de degradación de suelos; Desastres naturales; # Afectados por cambios climáticos; ** Afectados por manejo de tierras y agua

Figura 2. Diagrama de flujo de la última versión del modelo de balance de agua del suelo SOMORE (adaptado de Pla, 1997a; 2006).

activos de suelo y agua relacionados con el uso y manejo de dichos recursos. Hasta ahora se ha basado generalmente en el desarrollo y uso de FPT para deducir propiedades hidrológicas a partir de información ya disponible de suelos, más que todo textura y descripciones de la morfología del suelo incluyendo estructura.

El uso de FPT, generalmente basadas en relaciones empíricas, se trata de justificar como sustituto válido de evaluaciones directas en cada caso y sitio particular, por considerarlas demasiado difíciles y costosas. Con los mismos argumentos se han llegado a proponer y utilizar evaluaciones esencialmente cualitativas y subjetivas, basadas muchas veces en apreciaciones visuales (VSA), para deducir indicadores de las condiciones del suelo a ser utilizadas como base para la toma de decisiones en

relación a manejo de suelos y agua. En otros casos, se utiliza información hidrológica obtenida en mediciones realizadas en condiciones muy diferentes a las condiciones originales de campo, con metodologías o equipos sin la requerida calibración previa a nivel de campo.

Por todo ello, resultan de particular importancia los aspectos metodológicos para la evaluación de los parámetros requeridos por los modelos y aproximaciones hidrológicas, utilizadas para el diagnóstico de prácticas de conservación y procesos de degradación de suelos y agua. En relación a ello, hemos propuesto metodologías sencillas, con grados de precisión y exactitud adecuados para los fines propuestos, las cuales permiten hacer evaluaciones fundamentalmente en condiciones de campo y hemos señalado las posibles dificultades y fuentes de

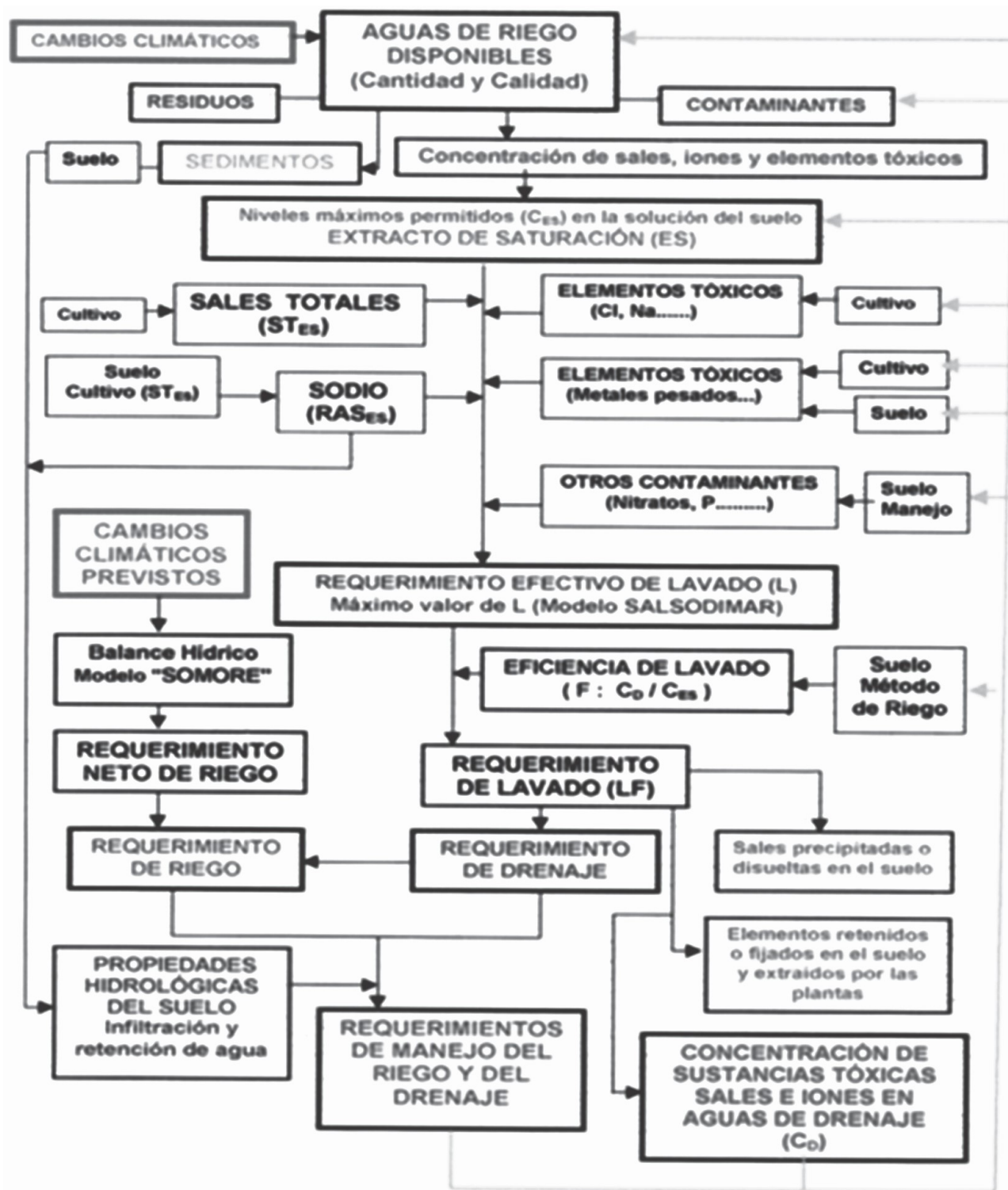


Figura 3. Diagrama de flujo de un modelo conceptual de balance de sales y sustancias tóxicas en suelos bajo riego (SALSODIMAR). (RAS: Relación de Adsorción de Sodio) (adaptado de: Pla, 1989; 1997b; 2015).

error en muchas de las metodologías de evaluación más frecuentemente utilizadas en la actualidad (Pla 1983; 2011a; 2011b).

Manejo y Conservación de Suelos y Agua en la Agricultura del Futuro

Aunque en los actuales momentos, derivado de intereses particulares o locales a corto plazo, la agricultura y su futuro inmediato se analicen y enfoquen con perspectivas diferentes, cuando dicho análisis se hace con visión más general a mediano y largo plazo, debe considerar el futuro de la agricultura para toda la humanidad en su conjunto. Ello, porque el futuro del mundo y de su creciente población, está íntimamente ligado a las posibilidades de suplencias adecuadas de alimentos de origen agrícola.

Con visiones más o menos pesimistas u optimistas, se especula sobre la contribución de futuros avances tecnológicos en los requeridos incrementos de producción agrícola, y sobre la capacidad de los limitados recursos naturales suelo y agua para dicha producción en forma sostenible. Para lograr lo anterior se plantean dos aproximaciones, una basada en la intensificación de la agricultura, con incrementos en rendimientos basados en el uso creciente de insumos como agua, fertilizantes químicos, pesticidas, mecanización, etc, y en el uso de cultivos con mayor capacidad productiva desarrollados a través de manipulaciones genéticas. Esto se ha llamado “agricultura industrial”, y ha estado generalmente asociada a desarrollos agrícolas en grandes extensiones con un alto grado de mecanización y poca participación de agricultores. Frente a esta alternativa se plantean desarrollos agrícolas donde se minimice el uso de insumos, en especial de los dependientes del uso de energía fósil, con sistemas llamados “agroecológicos” o de “agricultura orgánica”. Este tipo de agricultura se considera más aplicable en pequeñas unidades de producción manejadas directamente por agricultores.

La alternativa de “agricultura industrial”, a pesar de haber contribuido a resolver problemas urgentes de deficiencias en la producción de alimentos en diferentes regiones del mundo con grandes concentraciones de población, ha sido cuestionada por los defensores de la alternativa “agroecológica”, por considerarla no sostenible. Esto se basa en sus altos requerimientos directos o indirectos de energía fósil no renovable, y en su contribución a la pérdida

de biodiversidad y a la creciente degradación de los recursos suelo y agua, lo cual ha sido corroborado por casos en algunas zonas, especialmente en Latinoamérica, donde dicho sistema de producción ha sido utilizado en forma irracional en las últimas décadas. Frente a esto, se argumenta que los sistemas agroecológicos de producción de alimentos son más sostenibles, presentan menos riesgos, son más adaptables a posibles cambios climáticos y permiten una mayor conservación de los recursos suelo y agua y una menor emisión de gases con efecto invernadero. Los defensores de la “agricultura industrial”, calculan que con estos sistemas “agroecológicos” sería imposible que en las tierras agrícolas disponibles se pudieran producir los alimentos requeridos por la prevista creciente población mundial.

Frente a esas posiciones extremas, aparecen como más racionales alternativas que utilicen al máximo las ventajas de ambas, para asegurar al mismo tiempo niveles adecuados de producción agrícola de alimentos, con un mínimo de insumos, utilizados cada vez con mayor eficiencia, y sin degradar los recursos suelo y agua. Para ello no se debe ni se puede descartar la introducción y mejora de nuevos cultivos, diferentes a los que han sido tradicionalmente la base de la alimentación humana, o de mejoras genéticas de estos últimos, en los dos casos con los objetivos de alcanzar mejores producciones con menos agua, menos fertilizantes químicos y menos pesticidas, y de lograr el desarrollo y producción de cultivos en tierras y climas más marginales, o con el uso de agua de peor calidad. Los avances alcanzados en esos aspectos, y los prometedores resultados obtenidos o previstos con el uso de ciertos sistemas de manejo como agricultura de precisión, riego localizado, cultivos hidropónicos en invernadero, agricultura urbana, agro-forestería, tratamiento y reutilización de aguas residuales, etc. permiten ser optimistas al respecto. En cualquier caso es fundamental un uso y manejo de suelos y agua adecuada a cada sistema de producción, para que ellos sean sostenibles.

Aunque el suelo es fundamental para las necesidades de la vida del hombre, porque satisface la mayoría de nuestras necesidades básicas y juega un papel central en la determinación de la calidad de nuestro ambiente, esto no es suficientemente

apreciado por la mayoría de la población. En el futuro, el papel del suelo y cobertura del suelo se incrementará en algunos aspectos cruciales para la vida del hombre como la producción de alimentos, el ciclo hidrológico, y la composición del aire. Por lo tanto, se requerirá más información de buena calidad del suelo para decisiones adecuadas acerca del uso y manejo de la tierra. El objetivo principal y final continuará siendo la evaluación y predicción del comportamiento de los recursos suelo y agua en tiempo y espacio, bajo una amplia gama usos de la tierra agrícola y no agrícola, en relación a la producción de cultivos, suministro de agua y calidad del ambiente. En el presente, la mayoría de las decisiones acerca de la agricultura y el ambiente, y en general sobre el desarrollo mundial, son normalmente tomadas sin tener en cuenta el papel prominente de las relaciones del suelo con el agua, y la importancia de su manejo sostenible (Pla, 2010).

En la actualidad el rápido aumento en la población, con demandas cada vez más altas de alimentos y agua, está causando más influencia humana sobre los recursos suelo y agua, a través de la expansión e intensificación de actividades agrícolas y del crecimiento del número y tamaño de áreas pobladas. Frecuentemente esto lleva a la degradación de suelos y agua, y al incremento en la producción de desechos domésticos e industriales. Las consecuencias principales son una disminución en las reservas de tierras arables, y un incremento de desarrollos agrícolas en nuevas tierras con condiciones de clima y relieve más desfavorables. Concurrentemente hay una disminución en la disponibilidad de agua de buena calidad para la agricultura y para las necesidades urbanas e industriales y una disminución en la diversidad biológica (Pla, 2009).

Estos problemas pueden conducir a consecuencias ambientales, sociales y económicas dramáticas, que en las regiones en vías de desarrollo más pobres se manifiestan a través de una disminución en la productividad de cultivos, y en un incremento de la pobreza y migración. Hay también incremento en los riesgos y problemas de degradación de suelos, inundaciones, deslizamientos de tierra, sedimentaciones, etc. La disminución del recurso agua de buena calidad está limitando el desarrollo de la agricultura de riego, y está aumentando los

riesgos de salinización y contaminación de suelos. También vale la pena mencionar la contribución de los cambios en la cobertura del suelo y de la degradación del suelo a los cambios del clima global. El incremento de la degradación de los suelos y sus consecuencias puede atribuirse a la falta de conocimiento de la mayoría de la sociedad humana y de las instituciones dónde se toman decisiones sobre el uso de la tierra y la planeación de su manejo, acerca del importante papel y las funciones de los suelos para la vida del hombre.

Aunque las contribuciones de la ciencia del suelo han beneficiado a la humanidad por la incrementada producción de alimentos agrícolas y mejoramiento de la calidad ambiental, en la actualidad hay un retraso general peligroso en esas tendencias. Concurrentemente, ha habido una disminución en los recursos dedicados al estudio de suelos en el campo, y mucha de la investigación presente en la ciencia del suelo se dedica a aspectos aislados, que no cubren problemas integrales, debido a las limitaciones de tiempo y fondos, a las dificultades de cooperación interdisciplinaria, y a la compulsión de publicar artículos rápidamente. Al mismo tiempo, ha habido una incrementada tendencia a confiar en datos cualitativos y conceptos, basados en juicios de especialistas, como índices de calidad del suelo, con una exactitud muy limitada, insuficiente para desarrollar las políticas adecuadas para el uso y manejo de suelos y agua. Más aún, frecuentemente la planeación del uso de la tierra está basándose en aproximaciones empíricas que vienen de profesionales con escasa formación en las interacciones suelo-agua.

La planificación del uso y manejo de la tierra requiere disponer de datos sobre recursos suelo y agua que sean específicos del sitio, pero en muchos casos ese tipo de información requerida no está disponible. Una de las dificultades encontradas en la evaluación de las condiciones del suelos y agua relacionadas con la reacción del suelo a diferentes usos y manejo de la tierra, y a los cambios climáticos previstos, y que se basen en datos ya existentes, es que muchos de los levantamientos de suelo realizados en el pasado proporcionan una información estática, mientras que para evaluar las interacciones del suelo con el agua son necesarios parámetros más dinámicos del suelo (Figura 4).

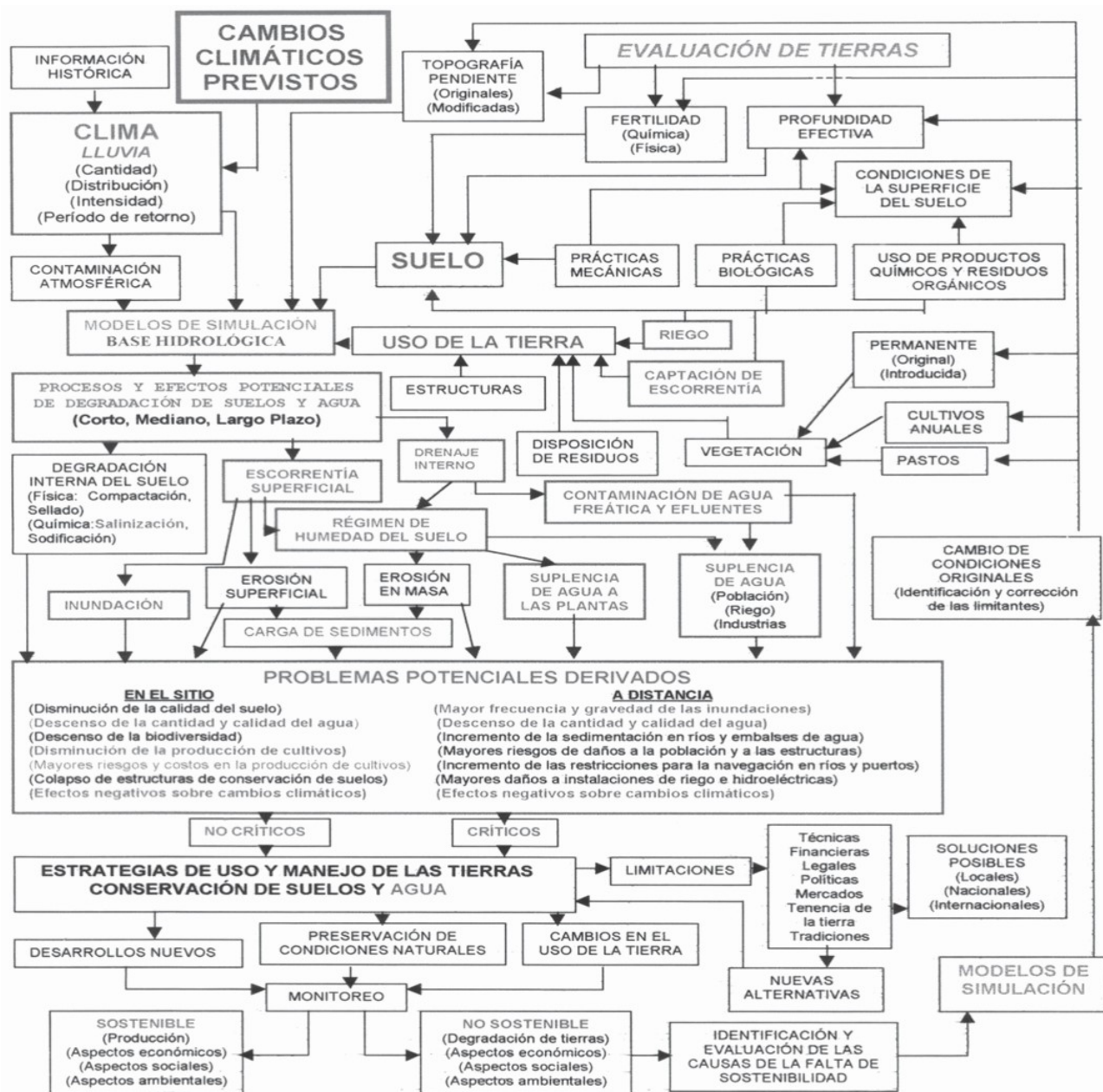


Figura 4. Diagrama de flujo que muestra las interacciones del suelo y los cambios climáticos con la planificación estratégica del uso, manejo y conservación de suelos y agua y su relación con los procesos de degradación de tierras y recursos hídricos y sus consecuencias.

La modelación es extensamente utilizada como una herramienta para integrar información, y para evitar mediciones y experimentos de campo para cada suelo y condición. La modelación no es un sustituto de la experimentación, ya que los modelos necesitan el ingreso de parámetros de buena calidad, no solamente obtenidos en pruebas del labora-

torio, sino también bajo condiciones de campo controladas. Estos estudios no son comunes porque consumen tiempo, son costosos y difíciles, y muchas veces no sirven para terminar en un artículo científico que satisfaga los requisitos generalmente exigidos para su publicación en una revista de "calidad". Por lo tanto, ellos se sustituyen frecuentemente

mente por aproximaciones empíricas, o el uso de datos que estén ya disponibles o que sean más fáciles de obtener, muchas veces deduciendo empíricamente, con el uso de funciones de pedo-transferencia (FPT), propiedades y procesos requeridos para la modelación. En otros casos, la metodología e instrumentos aceptados y utilizados para evaluar parámetros del suelo relacionados con el agua en el laboratorio no dan información que se corresponda con la realidad, o incluso se aproxime a condiciones de campo. En general, el progreso en el desarrollo de modelos y procesamiento de sistemas de información ha sido mucho más rápido que el desarrollo y uso de metodologías y equipo para conseguir información adecuada de campo para alimentarlos.

Basado en las premisas anteriores, se podría concluir que los desarrollos en la investigación de la ciencia del suelo deben ser dirigidos a un mejor entendimiento de los procesos y reacciones en suelos relacionados con el uso y manejo de los recursos suelo y agua en un rango de escalas espaciales y temporales. De importancia particular será la identificación y descripción mejorada de los procesos dinámicos críticos para el suministro de agua y nutrientes para el crecimiento de la planta y para la degradación del suelo, y que son afectados por factores temporales externos como el clima. Esto tiene que ser seguido por el desarrollo de modelos de simulación simplificada, que integrando parámetros críticos seleccionados de los suelos, cultivos y clima, nos permitan encontrar la mejor combinación de prácticas de manejo de suelos y agua. El objetivo final debe ser alcanzar un uso más eficaz y económico del suelo, agua y energía, dirigido a incrementar la producción de cultivos, minimizando los riesgos de degradación de suelos, agua y medio ambiente, incluso los riesgos de desastres naturales como sequías, inundaciones y deslizamientos de tierra.

Para asegurar el logro de los objetivos anteriores, será necesario mejorar la educación y conocimiento de la población en todos los niveles, acerca de las funciones relevantes de los recursos suelos y agua, y de su manejo y conservación para la vida de la humanidad. Se requiere también una mejora y una reorientación en la enseñanza y entrenamiento en ciencia del suelo e hidrología, dirigida a los profesionales involucrados en el diseño

y planeación del uso y manejo de la tierra, con una orientación más integral, reforzando los aspectos hidrológicos y una buena complementación de teoría y trabajo de campo. Para garantizar una aproximación interdisciplinaria sería necesario un incremento en la cooperación entre científicos del suelo, hidrólogos y científicos de disciplinas relacionadas, y entre instituciones involucradas en la investigación y aplicación de sistemas y prácticas de uso y manejo de tierras, en particular de los recursos suelos y agua.

REFERENCIAS

- PLA, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Publ. Rev. Fac. Agron. Alcance #32. Maracay (Venezuela). 90p.
- PLA, I. 1989. Riego y desarrollo de suelos afectados por sales en condiciones tropicales. Soil Technology. 1(1):13-35. Catena-Verlag. Gremlingen. (Alemania)
- PLA, I. 1997a. A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. En: "Soil Erosion Processes on Steep Lands". Special Issue of Soil Technology. (I. Pla, ed). 11(1):17-30. Elsevier. Amsterdam (Holanda)
- PLA, I. 1997b. Evaluación de los procesos de salinización de suelos bajo riego. Edafología. Revista de la SECS: Edición especial 50 Aniversario. 241-267. SECS. Granada (España)
- PLA, I. 1998. Modeling hydrological processes for guiding soil and water conservation practices. En The Soil as a Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation measures. (A. Rodríguez y col., ed). 395-412. Geoderma Ed. Logroño (España). (ISBN 84-87779-32-8)
- PLA, I. 2002. Hydrological approach to soil and water conservation. En: "Man and Soil at the Third Millennium". (J.L. Rubio et al., ed). I: 65-87. Geoforma Ed. Logroño (España). (ISBN 84-87779-45-x)
- PLA, I. 2006. Hydrological approach for assessing desertification processes in the Mediterranean Region. En: Desertification in the Mediterranean Region: A security Issue. (W.G. Kepner et al., ed). 579-600. Springer. The Netherlands
- PLA, I. 2009. Retos para el futuro de la Ciencia del Suelo frente al Cambio Global. Suelos Ecuatoriales 39 (2): 111-118. ISSN 0562-5351

- PLA, I. 2010. Sustainable water management under climate change. In: *Advances in GeoEcology* 41, Global Change-Challenges for Soil Management. M. Zlatic (Ed.). 22-36. Catena Verlag GMBH.
- PLA, I. 2011a. Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. I-Propiedades mecánicas. *Suelos Ecuatoriales* 40 (2):75-93
- PLA, I. 2011b. Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. II-Propiedades hidrológicas. *Suelos Ecuatoriales* 40 (2): 94-127
- PLA, I. 2015. Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated conditions. *International Soil and Water Conservation Research*. 2(4):50-63. WASWAC. (China)
- UNEP, 2005. *One Planet Many People. Atlas of Our Changing Environment*. UNEP, Nairobi (Kenia). 327p.