

## DEGRADACION DE SUELOS Y DESASTRES NATURALES: ENFOQUE HIDROLOGICO

Idefonso Pla Sentís<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Lleida, España. Correo electrónico: [ipla@macs.udl.es](mailto:ipla@macs.udl.es)

### RESUMEN

La degradación de suelos afecta negativamente sus funciones como base de la producción de alimentos, de la regulación del ciclo hidrológico y de la calidad ambiental. Está creciendo en todo el mundo, en parte debido a faltas o deficiencias en las evaluaciones de los procesos y causas de dicha degradación en cada situación específica. Los procesos de degradación física de suelos se manifiestan a través de problemas de compactación, sellado, encostrado y erosión hídrica y eólica, con efectos colaterales “in situ” y a distancia, a menudo con consecuencias desastrosas. Estos procesos están frecuentemente asociados a cambios desfavorables en los procesos hidrológicos responsables del balance de agua y régimen hídrico de los suelos, derivados principalmente de cambios en el uso y manejo de las tierras y de cambios climáticos. La evaluación de dichos procesos bajo diferentes escenarios de cambios de clima, propiedades de los suelos y uso y manejo de las tierras con el uso de modelos de simulación sencillos y flexibles, basados en procesos hidrológicos, permitiría predecir su desarrollo, y con ello la selección y aplicación de prácticas apropiadas de conservación de suelos para eliminar o moderar sus efectos. Estos modelos requieren como base información adecuada sobre clima y propiedades hidrológicas de los suelos. A pesar de que existen metodologías y equipos comerciales cada vez más sofisticados y “precisos” para medir las diferentes propiedades físicas e hidrológicas de los suelos relacionados con los procesos de degradación, la mayoría de ellos solo son aplicables bajo condiciones de laboratorio y en suelos y condiciones muy particulares. Deberían preferirse métodos de campo simples y directos, adaptables a diferentes tipos de suelos y climas, y a los tamaños de muestras y variabilidad espacial de las propiedades hidráulicas a evaluar a nivel de campo. Se propone un sistema de modelización basado en procesos hidrológicos, debidamente evaluados con metodologías adecuadas para cada combinación de suelos, topografía, clima y sistema de manejo, la cual ha probado ya su utilidad en la evaluación de las causas y efectos de degradación de suelos y aguas bajo muy diferentes condiciones.

### INTRODUCCION

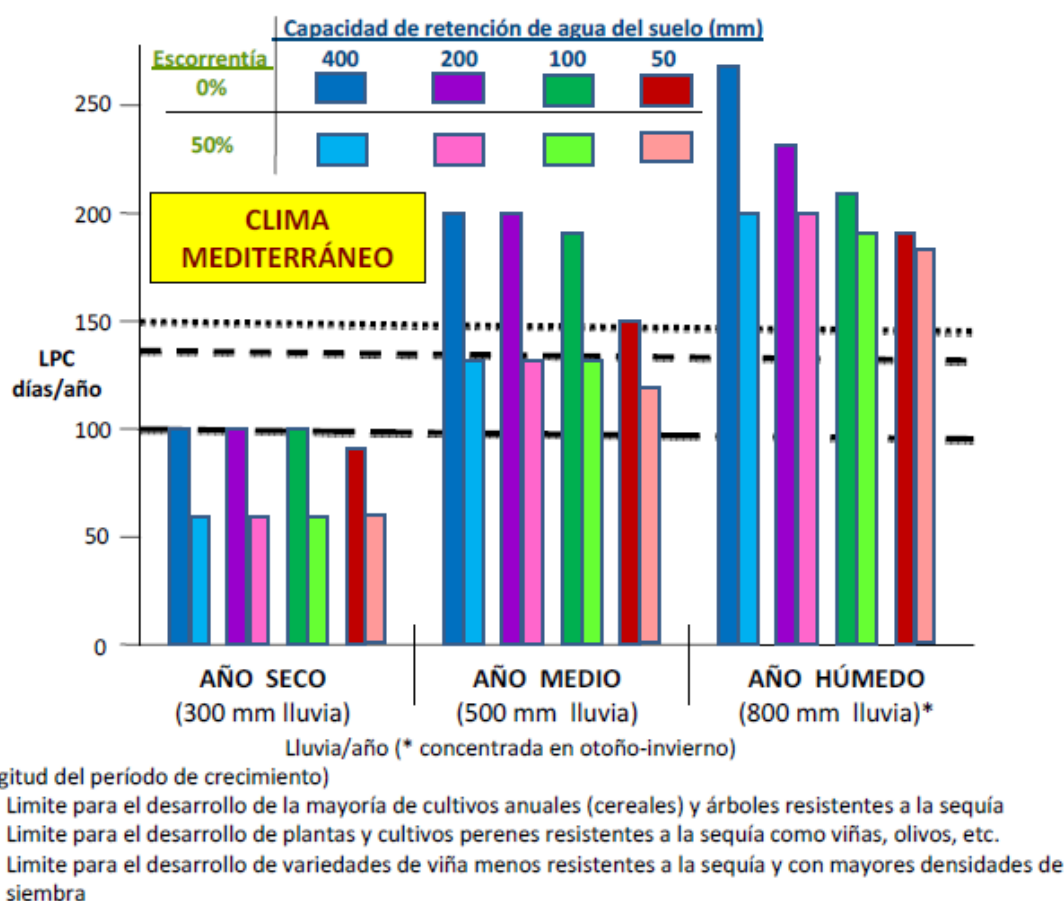
El mal manejo de los recursos suelo y agua puede conducir a una fuerte degradación de suelos y tierras. La degradación de suelos ha sido definida como un descenso en la habilidad del suelo para cumplir sus funciones como medio para el crecimiento de las plantas, como regulador del *régimen hídrico*, y como filtro ambiental, debido a causas naturales o antropogénicas.

La degradación de suelos y recursos hídricos es el principal factor que atenta contra la sostenibilidad de la utilización agrícola de las tierras en todo el mundo, lo que conduce a crecientes dificultades para producir los requerimientos de alimentos y fibras para su creciente población. Como efectos indirectos de la degradación de suelos y agua, se presentan riesgos crecientes de desastres naturales (inundaciones, sedimentaciones, deslizamientos de tierra, etc.), con características a veces catastróficas, así como disminución de la biodiversidad, deterioro de la suplencia de agua en cantidad y calidad, y efectos en cambios climáticos globales y sus consecuencias.

Los procesos de degradación de suelos y recursos hídricos están fuertemente ligados a través de las alteraciones desfavorables en los *procesos hidrológicos* determinantes del balance de agua en el suelo y del régimen de humedad del suelo. Ellos están también determinados por las condiciones climáticas y por el uso y manejo de los recursos suelo y agua. Sin embargo, a pesar de que ya generalmente es aceptado que hay una estrecha relación entre la conservación de los recursos suelo y agua, aún en la mayoría de los casos son evaluados en forma separada, y consecuentemente la predicción y

prevención de los efectos derivados de su degradación resultan inadecuados en muchos casos. Esto aún reviste más importancia, considerando que se prevé que los cambios climáticos globales afectarían principalmente los *procesos hidrológicos* en la superficie de la tierra que están en su mayoría relacionados con el balance de agua en el campo (Easterling et al, 2000; FAO, 2008; Fischer et al, 2002).

El periodo máximo de crecimiento efectivo, tanto de vegetación natural como de cultivos de secano, depende en primer lugar de la duración del periodo efectivo de lluvias, y de la disponibilidad de agua en el suelo. En tierras en pendiente, cuando no hay limitaciones de temperatura o de drenaje interno, la longitud del periodo potencial de crecimiento dependerá de las condiciones climáticas (lluvia y evapotranspiración potencial), de la distribución de la lluvia entre escorrentía e infiltración (afectada por los efectos de sellado superficial), y de la capacidad de almacenaje de agua en el suelo (determinado por la profundidad efectiva de raíces y las propiedades de retención de agua del suelo). Por lo tanto, la escorrentía y la capacidad efectiva de retención de agua del suelo, ambos componentes del balance de agua y afectados por procesos de degradación del suelo, deben tomarse en cuenta, e incluso pueden ser determinantes, en la evaluación y predicción de los efectos de dichos procesos de degradación en la conservación de agua y en el crecimiento potencial de las plantas y producción de cultivos (**Figura 1**).



**Figura 1.** Longitud potencial del período de crecimiento (LPC) en días/año, bajo cambiantes condiciones climáticas en zonas semiáridas de la región Mediterránea, y efectos de los principales factores críticos que se derivan de cambios climáticos, uso y manejo de la tierra y degradación de suelos (Pla, 2010).

La erosión hídrica del suelo es el proceso de degradación del suelo con mayor influencia en la conservación de los recursos suelo y agua. Los procesos de erosión hídrica son causados por las

interacciones del suelo, lluvia, pendiente, cubierta vegetal y manejo, y generalmente provocan o son causados por cambios desfavorables en el balance de agua del suelo y en el régimen de humedad del suelo, y en las posibilidades de desarrollo y actividad radicular. La erosión del suelo tiene efectos negativos directos sobre el crecimiento de las plantas y producción de los cultivos, y efectos indirectos fuera del sitio en el aumento de riesgos de inundaciones, sedimentaciones, deslizamientos de tierra, etc., a veces con carácter catastrófico. Es provocada por deforestaciones, por introducción de cultivos estacionales que dejen el suelo desprotegido, por intensificación o abandono de actividades agrícolas, por sobre-pastoreo, o por mal mantenimiento de las plantaciones y de las estructuras de conservación. El riego de tierras agrícolas ha sido considerado desde hace ya varios milenios como la manera más efectiva de incrementar y regular la producción de alimentos, especialmente en zonas áridas y semiáridas. Frecuentemente estos beneficios no han sido sostenibles debido a la salinización de los suelos, la cual puede conducir a una pérdida parcial o total de su capacidad productiva, causada por una degradación interna de sus propiedades químicas o físicas. El desarrollo creciente de agricultura de riego es indispensable para la regularización e incremento de la producción de alimentos requeridos actualmente y en el futuro en muchas regiones del mundo. Dicho desarrollo se ve limitado por la creciente salinización de los suelos y por la escasez y mayor salinidad de los recursos hídricos aún disponibles, y por el uso competitivo de dichos recursos para otros fines. Aunque a nivel mundial el área afectada por procesos de salinización inducida por el hombre es mucho menor que el área afectada por procesos de erosión, este proceso de degradación es también muy importante desde puntos de vista social, económico y ambiental, por los elevados costos de los desarrollos de agricultura de riego, por el uso y degradación de altas cantidades de recursos de agua cada vez más escasos, y por la decisiva contribución de las tierras bajo riego a la producción de alimentos en algunos países.

La introducción del riego en una zona provoca cambios drásticos en el régimen y balance de agua y solutos en el perfil del suelo. Los problemas de salinidad son una consecuencia de la acumulación de sales en zonas y profundidades donde el régimen de humedad del suelo se caracteriza por fuertes pérdidas de agua por evaporación y transpiración, y por reducido lavado de las sales que permanecen. Esto ocurre cuando el manejo del agua de riego y drenaje no es adecuado para las condiciones particulares de clima, suelos, cultivos, fertilización, profundidad de nivel freático, calidad de agua de riego, y sistema de riego.

El exceso de agua de riego requerido para lavar las sales acumuladas en el suelo, ya sea para recuperar o prevenir la salinización, pueden causar otros problemas ambientales derivados de la disposición y uso posterior de dichas aguas de drenaje. El problema se agrava porque esas aguas de drenaje pueden contener además de las sales naturales, residuos de fertilizantes y pesticidas - generalmente usados en grandes cantidades en la intensiva agricultura de riego - , además de otros contaminantes contenidos en enmiendas orgánicas (residuos de animales, compost) que suelen aplicarse, y en aguas servidas de origen urbano e industrial, no tratadas o sólo parcialmente tratadas, de creciente uso para riego en muchas zonas con escasez de agua. Esta agua de drenaje puede contaminar aguas superficiales y subterráneas que vayan a usarse para consumo humano, industrial o agrícola. En dichos casos, las prácticas y sistemas de riego y drenaje deben perseguir una máxima eficiencia en el uso del agua de riego, reduciendo la posibilidad de pérdidas y contaminación de otras aguas, manteniendo al mismo tiempo las sales a profundidades del suelo fuera del alcance de las raíces de los cultivos.

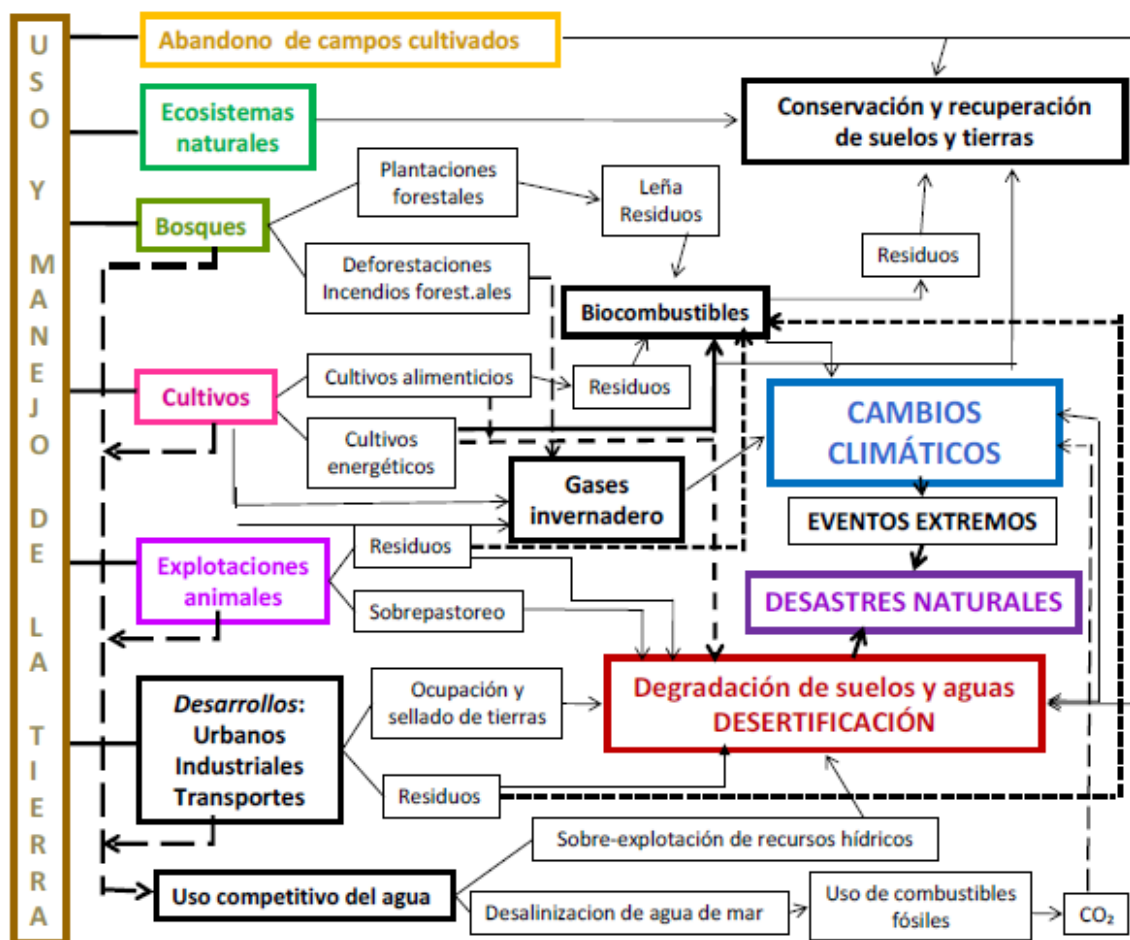
### **Procesos de degradación de tierras**

La degradación de tierras depende en parte de las características de suelos y clima, pero se debe fundamentalmente a un uso y manejo no apropiados de los recursos suelo y agua (Figura 2). El agua es el principal factor causante de la degradación de suelos, pero a su vez es el recurso más afectado por dicha degradación. Uno de los principales efectos de la degradación de suelos es la pérdida de capacidad de los suelos para regular el *régimen hídrico* tanto a nivel local como de cuencas hidrográficas, lo cual afecta negativamente la suplencia regular de agua, en cantidades adecuadas, para usos agrícolas, urbanos e industriales. Por otro lado, para lograr incrementar y regularizar la producción agrícola de las tierras, y para contrarrestar uno de los principales efectos negativos de la degradación de suelos, crece la necesidad de utilizar agua para riego, lo cual puede llevar al agotamiento de las reservas de agua superficial y subterránea, y a incrementar la competencia de uso

para otros fines. Por lo tanto este desarrollo agrícola no será sostenible, y de no encontrarse soluciones alternativas pudiera resultar en consecuencias catastróficas dentro de unas décadas. Los objetivos supuestamente conflictivos de productividad de agro-ecosistemas y su vulnerabilidad a la degradación ambiental son controlados por los mismos factores (suelo, clima, topografía, manejo) y *procesos hidrológicos* fundamentales. Por ello, el control de la degradación de tierras y sus efectos depende de una adecuada planificación del uso y manejo de los recursos suelo y agua. Para ello es necesario realizar previamente una adecuada identificación y evaluación de los procesos de degradación, y de las relaciones causa-efectos de los diferentes problemas generados, y predecir el efecto de cambios en el uso y manejo de las tierras, y de eventos climáticos extraordinarios asociados a cambios climáticos globales, sobre impactos ambientales relacionados con la conservación de suelos y agua y con desastres naturales. El monitoreo o seguimiento a nivel de campo, con observaciones y mediciones directas adecuadas, puede ayudar mucho a entender mejor cómo ocurren los procesos de degradación de suelos y recursos hídricos, y los cambios que provocan las intervenciones humanas. Esto es indispensable para la solución y desarrollo de prácticas efectivas de conservación adaptadas a cada condición particular de suelo y clima.

En muchos países, las políticas de desarrollo y de expansión agrícola en las últimas décadas han llevado frecuentemente a procesos de degradación de suelos y agua, afectando negativamente cuencas hidrográficas importantes, con descensos en la productividad, aumentos en los costos de producción, e incremento en los problemas relacionados con la suplencia de agua, inundaciones, deslizamientos de tierra, sedimentación en embalses, etc., todos ellos con importantes consecuencias sociales y económicas. A pesar de que hay evidencias claras de que grandes y crecientes áreas de tierras están siendo afectadas por diferentes procesos de degradación de suelos, la mayoría de las evaluaciones existentes de los tipos, extensión e intensidad de degradación de suelos no son muy precisas ni objetivas, debido a inadecuada identificación y evaluación de dichos procesos, y de las relaciones causa-efectos de los diferentes problemas.

La degradación de tierras agrícolas y suelos se debe generalmente a un uso y manejo no adecuado de la tierra, frecuentemente generado por crecientes presiones sociales, económicas y políticas, derivadas de crecimiento de la población, políticas de mercados internacionales, falta de recursos y deuda externa. Sin embargo, en muchos casos la adopción de sistemas integrales adecuados y sostenibles de uso y manejo de los recursos suelo y agua, se ve limitado por deficiencias en el conocimiento de los *procesos hidrológicos* asociados, y por la utilización de metodologías inadecuadas para la evaluación y monitoreo de dichos procesos.



**Figura 2.** Interacciones entre los factores de uso y manejo de las tierras y agua con el cambio climático y los procesos de degradación de suelos y agua y con los desastres naturales.

### Hidrología y degradación de tierras

Los procesos de degradación de suelos y agua conducentes a la degradación de tierras, están fuertemente asociados a cambios desfavorables en los *procesos hidrológicos* responsables del balance de agua en el suelo y del régimen de humedad del suelo. Estos están afectados por las condiciones climáticas y sus variaciones, y por los cambios en el uso y manejo de los recursos suelo y agua. Por lo tanto, para unos adecuados desarrollos, selección y aplicación de prácticas sostenibles y efectivas de uso y manejo de las tierras será indispensable la utilización de una *base hidrológica* para la evaluación y predicción de sistemas de conservación de suelos y agua que impidan o controlen los procesos de degradación y desastres naturales asociados. Sin esa base, las consideraciones sobre grados de degradación de tierras son en gran parte subjetivas, basadas en criterios indirectos, y no en mediciones directas de *parámetros hidrológicos*.

La evaluación de los *procesos hidrológicos*, bajo escenarios diferentes y cambiantes de clima, propiedades del suelo y uso y manejo de la tierra, con modelos de simulación flexibles basados en esos procesos, puede ayudar a predecir y a identificar las causas biofísicas de la desertificación a niveles local, nacional y regional. Este es un paso previo requerido para una planificación de uso racional de la tierra, y para la selección y desarrollo de estrategias a corto y largo plazo, y de tecnologías para

reducir o controlar los procesos de degradación de tierras, y los problemas asociados de naturaleza social, económica y de seguridad (Pla, 2002b).

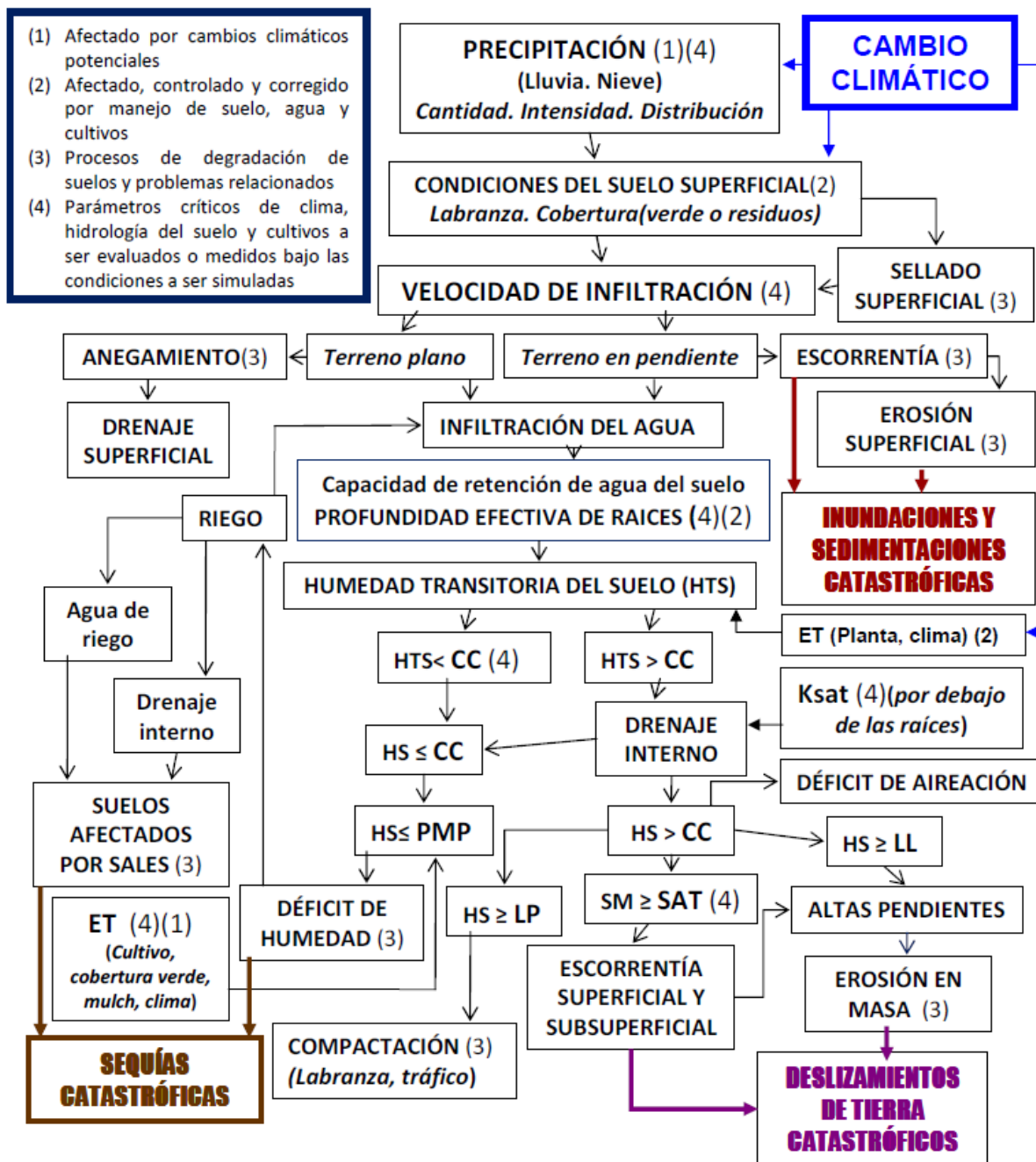
### **Predicción de procesos de degradación de suelos y agua, y de desastres naturales a través de un enfoque hidrológico**

Para poder lograr desarrollar, seleccionar y aplicar prácticas de uso y manejo de las tierras, que sean efectivas y sostenibles, se requerirá un *enfoque hidrológico* en la evaluación de los procesos de degradación de suelos y agua (Pla, 2002a). El principal objetivo debe ser evaluar los *procesos hidrológicos* pertinentes, y desarrollar metodologías y técnicas para corregirlos o controlarlos bajo diferentes escenarios de suelos, clima, topografía y sistemas de uso u manejo. Con esto podremos suprimir o aliviar los efectos negativos, directos o indirectos, de la degradación de suelos y agua sobre el crecimiento de las plantas, sobre la sostenibilidad de la producción agrícola, sobre la suplencia de agua en cantidades y calidad adecuadas, y sobre eventos catastróficos como inundaciones, sedimentaciones, y deslizamientos de tierra.

La utilización del gran número de variables importantes relacionadas con los procesos de degradación y sus interacciones, para determinar probabilidades y riesgos de degradación de suelos y agua, y su influencia en la producción de cultivos y daños ambientales, puede facilitarse con su integración en modelos (Richter y Streck. 1994). Aunque los modelos no den una simulación exacta de las situaciones reales, permiten obtener resultados aproximados de acuerdo a las simplificaciones asumidas. Ayudan a entender situaciones complejas, mediante una descripción cuantitativa de los procesos más significativos, y por ello pueden usarse como herramientas para la toma de decisiones para reducir o eliminar riesgos de degradación de suelos y recursos hídricos. Modelos de simulación basados en *procesos hidrológicos* pueden ser muy útiles para integrar y convertir los parámetros medidos o estimados de suelo, clima, plantas y manejo, en predicciones de balances de agua y regímenes de humedad en el suelo, para cada combinación particular de ellos, ya sea actual o prevista, para una determinada medición de campo. Estudios experimentales y observaciones basadas en procesos, y que provean datos más detallados bajo condiciones controladas pueden ayudar a simplificar los modelos, determinando qué procesos son más importantes a diferentes escalas temporales y espaciales, proveyendo además datos para calibrar y validar los modelos.

Los resultados de los modelos de simulación basados en *procesos hidrológicos*, conjuntamente con información obtenida en monitoreo directo en el campo, permiten hacer predicciones de los procesos potenciales de degradación de suelos y recursos hídricos bajo condiciones cambiantes de clima, cultivos, manejo y situaciones sociales y económicas. Cuando se integran con sistemas de información geográfica (GIS), el modelaje y el monitoreo pueden proveer la base para la planificación del uso y manejo sostenible de suelos y aguas. Las consideraciones finales a nivel estratégico sobre uso de los suelos, recursos hídricos y cambios estructurales deben tomar en cuenta no solamente la información física y predicción de los procesos particulares, sino también una evaluación de cómo dicho uso y manejo pueden estar afectados tanto por los procesos en agro-ecosistemas específicos como por los efectos de políticas, manejo y condiciones socioeconómicas (Pla, 2002b).

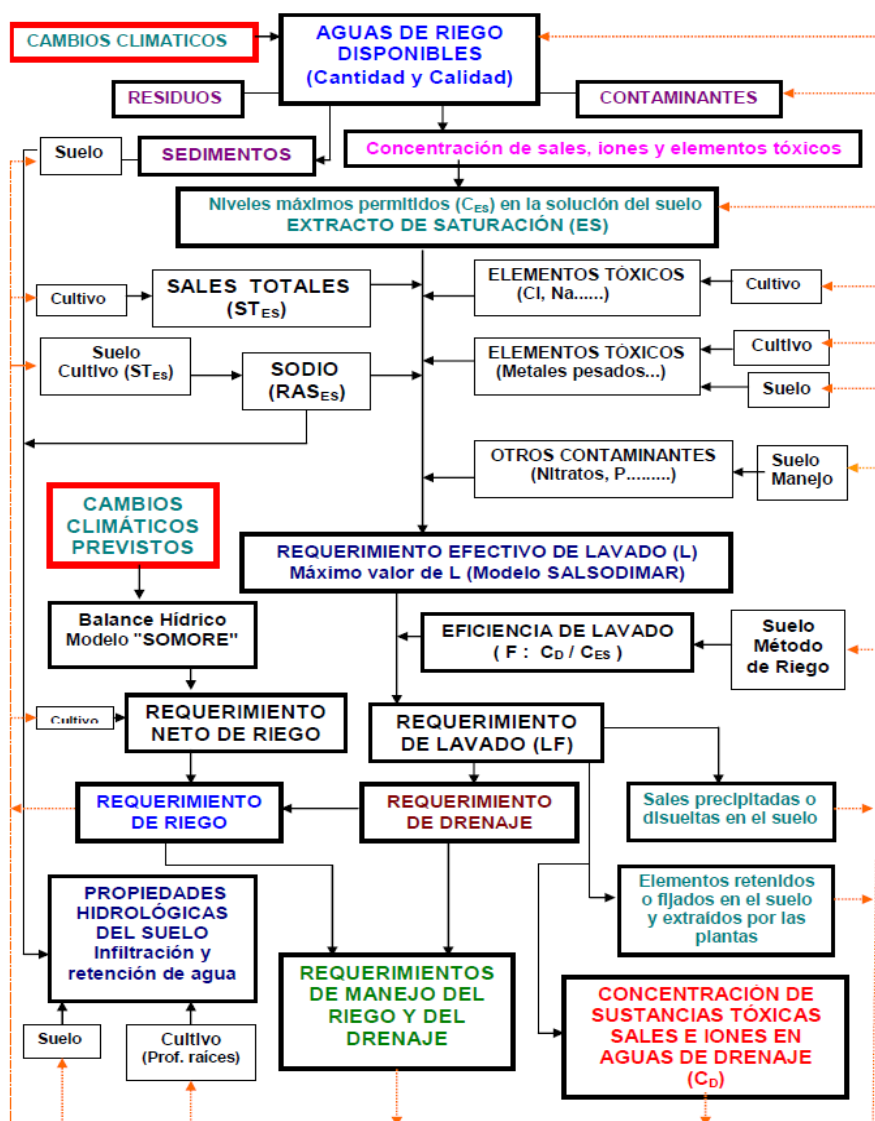
La precisión de los diagnósticos de problemas de degradación de suelos y tierras con el uso de modelos de simulación basados en procesos hidrológicos, dependerá de una adecuada evaluación de los parámetros hidrológicos que se utilicen como entrada. Para ello deben utilizarse metodologías apropiadas para cada condición de tierras, suelos y clima. En general deben preferirse mediciones de campo y metodologías que permitan realizar dichas mediciones con una precisión y en un número y tamaño de muestras adecuados a los fines propuestos en dichos diagnósticos (Pla, 1981; 1983; 1986;1990)



**Figura 3.** Diagrama de flujo simplificado de un modelo de simulación (SOMORE), basado en procesos hidrológicos, para predecir el balance de agua en el suelo, el régimen de humedad del suelo, los procesos de degradación de suelos, y los posibles desastres naturales derivados de ellos, bajo diferentes escenarios de clima, cambios de clima, suelo y manejo de suelos y agua (Adaptado de Pla, 1997a, 2006) (HS: Humedad del suelo; CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente; SAT: Saturación; LP: Límite plástico; LL: Límite líquido; ET: Evapo-transpiración).

El diagrama de flujo de la figura 3, el cual sirvió de base para el desarrollo del modelo de simulación SOMORE (Pla, 1994; 1997a), ya validado bajo muy diferentes condiciones (Pla, 1994; 1998; Pla et al, 2005), el cual simula la evolución del balance diario de agua en el perfil del suelo, requiriendo cómo

entrada información de suelos y de clima fácilmente obtenible. Puede usarse para predecir el régimen de humedad del suelo, incluyendo anegamiento, pérdidas de agua de lluvia por escorrentía superficial, y drenaje superficial e interno, bajo diferentes condiciones de suelo, topografía, clima, vegetación, cultivos y manejo. Las predicciones pueden utilizarse para identificar los procesos de degradación más probables, y para la selección de las mejores alternativas, con mayores probabilidades de éxito, de prácticas de conservación de suelos y agua para cada combinación de suelos, clima y topografía. Los datos de lluvia, variables cada año, con un periodo particular de retorno, pueden ser utilizados para simular el comportamiento de una condición particular o sistema de manejo en años diferentes, y basado en los efectos previstos, seleccionar o diseñar, con una base probabilística, los mejores sistemas de manejo de suelos y agua para controlar los procesos de degradación y mitigar o hacer menos probables los desastres naturales. La preselección de ciertos períodos de retorno es importante, porque ellos determinarán en gran parte los requerimientos de prácticas de manejo y estructuras de conservación en relación a costos y beneficios, para diferentes niveles de riesgo y probabilidades de error.



**Figura 4.** Diagrama de flujo de un modelo conceptual de balance de sales y elementos contaminantes en suelos bajo riego (RAS: Relación de Adsorción de Sodio) (Modelo SOMORE: Ver figura 3; Modelo SALSODIMAR: Pla, 1996; 1997b).



El régimen hídrico del suelo es también fundamental para modelar la dinámica y translocación de contaminantes como nitratos, metales pesados, pesticidas, etc. La figura 4 muestra una extensión del diagrama de flujo de la figura 1, cuando la adición de agua de riego al suelo, conjuntamente con otros residuos o contaminantes, puede provocar cambios drásticos en el régimen y balance de agua y solutos en el perfil del suelo. Integra la influencia del clima, cultivos, suelos, fertilización, uso de pesticidas y residuos, profundidad y composición del agua freática, calidad del agua de riego, y manejo del riego y drenaje, sobre la salinización y contaminación de suelos y agua freática. Este diagrama de flujo es la base del modelo SALSODIMAR (Pla, 1996; 1997b), ya validado y utilizado para predecir los procesos de salinización y sodificación de suelos bajo riego y de aguas de drenaje, como una base para orientar las prácticas de manejo del riego y drenaje bajo variables condiciones de clima, suelos, agua de riego, cultivos, etc.

Los resultados de los modelos de simulación basados en procesos hidrológicos, conjuntamente con información obtenida en monitoreo directo en el campo, permiten hacer predicciones de los procesos potenciales de degradación de suelos y recursos hídricos bajo condiciones cambiantes de clima, cultivos, manejo y situaciones sociales y económicas. Cuando se integran con sistemas de información geográfica (GIS), el modelaje y el monitoreo pueden proveer la base para la planificación del uso y manejo sostenible de suelos y aguas. Las consideraciones finales a nivel estratégico sobre uso de los suelos, recursos hídricos y cambios estructurales deben tomar en cuenta no solamente la información física y predicción de los procesos particulares, sino también una evaluación de cómo dicho uso y manejo pueden estar afectados tanto por los procesos en agro ecosistemas específicos como por los efectos de políticas, manejo y condiciones socioeconómicas.

### BIBLIOGRAFIA

- Easterling, D.R., G.A. Meehl, C. Parmesan, S.A.Changnon, T.R. Karl, and L.O. Mearns. 2000. Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science* 289(5487): 2068-2074.
- FAO. 2008. Climate Change, Water and Food Security. Technical background document from the expert consultation. FAO. Rome
- Fischer, G. M. Shah and H. van Velthuisen. 2002. Climate Change and Agricultural Vulnerability. IIASA. Vienna
- Pla, I. 1981. Simuladores de lluvia para el estudio de relaciones suelo-agua bajo agricultura de secano en los trópicos. *Rev. Fac. Agron.* XII (1-2):81-93. Maracay (Venezuela)
- 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. 1986. A routine laboratory index to predict the effects of soil sealing on soil and water conservation. En "Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting". (F.Callebout et al, ed).154-162. State Univ. of Ghent. Gante (Bélgica) (ISBN 90-9001289-3 .
- Pla, I. 1990. Methodological problems to evaluate soil physical degradation. *Trans. 14th Int. Congress of Soil Sci. Soc.* I:95-100. Kyoto (Japón)
- Pla, I. 1994. Soil degradation and climate-induced risks of crop production in the tropics. *Trans. 15th ISSS Congress.* 1:163-188. ISSS. Acapulco (México)
- Pla, I. 1996. Soil salinization and land desertification. En "Soil Degradation and Desertification in Mediterranean Environments (J.L. Rubio y A. Calvo, ed.) 105-129. Geofoma Ediciones. Logroño (España)

- Pla, I. 1997a. A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. En (I. Pla, ed) "Soil Erosion Processes on Steep Lands". Special Issue of Soil Technology. 11 (1):17-30. Elsevier. Amsterdam (Holanda)
- Pla, I. 1997b. Evaluación de los procesos de salinización de suelos bajo riego. En : 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: (A. Rodríguez y col., ed.) The Soil as a Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation Measures. 395-412. Geoforma Ed. Logroño (España)
- Pla, I., 2002a. Hydrological approach to soil and water conservation. In J.L.Rubio et al. Ed., Man and Soil at the Third Millenium. Geoforma Ed. Logroño (Spain). I:65-87.
- Pla, I. 2002b. Modelling for planning soil and water conservation. A critical review. Trans. 17 WCSS. "Soil Science: Confronting New Realities in the 21st Century". 2123-1 - 2123-11. Bangkok (Tailandia)
- Pla, I. 2006. Hydrological approach for assessing desertification processes in the Mediterranean Region. En: Desertification in the Mediterranean Region: A security Issue. 579-600. (Kepner et al, ed). Springer. Holanda
- Pla, I., M.C. Ramos, S. Nacci, F. Fonseca and X. Abreu. 2005. Soil moisture regime in dryland vineyards of Catalunya (Spain) as influenced by climate, soil and land management. En: Integrated Soil and Water Management for Orchard Development. FAO Land and Water Bulletin 10. 41-49. Roma (Italia).
- Pla, I. 2010. Sustainable water management under climate change in vineyards of Catalonia (Spain). In: Advances in GeoEcology 41, Global Change-Challenges for Soil Management . M. Zlatic (Ed.). Catena Verlag GMBH. (en prensa)
- Richter, J., and T. Streck. 1994. Modelling processes in the soil as a tool for understanding and management in soil and water conservation. En (L.S. Bhushan y col. ed.) Soil and Water Conservation. Challenges and Opportunities. Proc. 8<sup>th</sup> ISCO Conf. Vol 1: 535-551. New Delhi (India)