

## **VI. EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LAS PÉRDIDAS DE SUELO**

La tolerancia a la pérdida de suelo es la cantidad de tierra que, expresada en toneladas por unidad de superficie y año, puede perder un perfil edáfico manteniendo su nivel de productividad actual durante un largo periodo de años (F.A.O., 1967). Refleja, pues, la máxima pérdida de suelo admisible con un grado de conservación tal que mantenga una producción económica similar, con los medios técnicos disponibles en la actualidad.

El establecimiento de la tolerancia a la pérdida de suelo ha sido generalmente una cuestión de juicios multidisciplinarios en tanto que factores físicos, como económicos se han manejado (F.A.O., 1967). Así, al establecer los límites de pérdidas que se pueden tolerar se suelen tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1.- Es preciso mantener un espesor adecuado del suelo favorable para la producción agrícola y forestal durante largo tiempo. Deberá pues, tenerse presente el efecto de la erosión sobre los rendimientos de los cultivos en los suelos de que se trate.

2.- Las pérdidas habrán de ser menores que aquellas que provocasen formación de surcos y cárcavas.

3.- Habrán de ser también inferiores a las que causarían un considerable aterramiento en los cauces de desagüe, cunetas de carretera, etc.

4.- Las pérdidas no deben llegar al punto de que por erosión o aterramiento las semillas de cultivos corran el riesgo de perderse.

Conocer la tolerancia de un suelo a las pérdidas resulta, así, algo primordial para definir los efectos que, la erosión que está sufriendo, pueden llegar a producir en un futuro más o menos inmediato. En general estos límites de tolerancia se han definido, una vez analizados los suelos, de un modo consensuado y bajo el epíteto de recomendaciones. No obstante, es evidente que la tolerancia a las pérdidas de suelos con las premisas sentadas anteriormente, depende de las propiedades del suelo en sí mismo, de la profundidad, topografía y erosión precedente sufrida.

Se han efectuado progresos diversos en la determinación de la intensidad de la erosión en numerosos suelos y en muy diferentes medios climáticos, como vimos al explicar la USLE, mostrando estos estudios que las medidas de conservación reducen la erosión, si bien raramente la hacen desaparecer por completo. Sin embargo, surge un problema cuando se trata de analizar la cantidad de degradación permisible o tolerable por un suelo manteniendo, como hemos dicho, un nivel de productividad similar al iniciar el análisis. Para Estados Unidos, se han dado cifras que oscilan entre 2 y 12,5 Tm/Ha./año, según los tipos de suelo, su profundidad y propiedades físicas.

Generalmente se ha venido admitiendo que una pérdida de 12,5 Tm/Ha/año, es el máximo aceptable para suelos bastante profundos, permeables y bien drenados. Pérdidas de 2 a 4 Tm/Ha/año han sido también consideradas como admisibles para suelos con un subsuelo desfavorable y que presenten escasa profundidad.

A pesar de estas cifras orientativas no parece aconsejable establecer unos límites fijos de tolerancia para los suelos, por muy semejantes que estos sean, ya que la intensidad de erosión en

ellos puede variar grandemente en función del medio en que se encuentran. Esto será aún más notorio si los suelos son diferentes. Resulta, pues, necesario establecer la tolerancia de un suelo a la erosión en función de sus parámetros morfológicos y físico-químicos, para poder obtener datos objetivos y comparables referidos a la tolerancia frente a la erosión.

Un procedimiento práctico y empírico para determinar la tolerancia a las pérdidas de cualquier suelo, fué establecido por SMITH y STAMEY (1964). Este procedimiento ha sido utilizado por diversos autores y en distintos lugares.

La necesidad de conocer este parámetro de tolerancia para poder evaluar, con conocimiento de causa, si la erosión que presentan los suelos de la zona estudiada es más o menos grave, nos ha llevado a hacer aplicación de este procedimiento adaptado de LOMBARDI y BERTONI (1975). Esta adaptación pretende establecer una primera aproximación a los patrones de tolerancia teórica de erosión de los suelos del valle central del Guadalquivir, considerando, como variables fundamentales, la profundidad y algunas propiedades físicas de los suelos.

Esta primera aproximación ha sido complementada con el planteamiento, de un método de evaluación de la tolerancia en función de la evaluación de los rendimientos de tres cultivos-tipo al considerar pérdidas, con el tiempo, en la profundidad del suelo, y por consiguiente, producirse cambios en las características físicas y químicas que condicionan la capacidad productiva de estos suelos. Haremos seguidamente una exposición de los principios de ambos procedimientos.

### **Tolerancia en función de parámetros físicos.**

Este procedimiento, que fue desarrollado en Estados Unidos, parte de criterios subjetivos para escoger las propiedades del suelo consideradas esenciales en el establecimiento de patrones de límites de tolerancia, estando basados en la experiencia de los autores del método, (SMITH y STAMEY, 1.964). En él resulta esencial la definición de la profundidad útil (sección del perfil favorable para el desenvolvimiento del sistema radicular) y de la relación textural de los horizontes de superficie y subyacentes.

La profundidad útil es, sin lugar a dudas, la característica, considerada en todos los trabajos sobre erosión, más importante para el establecimiento de los límites de tolerancia a la erosión para un suelo. Para suelos bien desarrollados, la profundidad máxima considerada para el crecimiento radicular de cultivos fue de 100 cm. en el trabajo original, no obstante en nuestro caso será considerada una profundidad útil de 120 cm., cifra en mayor concordancia con los datos empleados en estudios de suelos del valle del Guadalquivir (DE LA ROSA et al. 1977).

El segundo parámetro considerado por los autores en la definición de este procedimiento fue la relación textural entre los horizontes de subsuperficie y los horizontes superficiales (H2/H1). La relación textural de arcilla entre los horizontes de subsuperficie y los horizontes superficiales afecta principalmente a la infiltración y a la permeabilidad del suelo. Una relación textural de arcilla alta indica una capacidad de infiltración menor en los horizontes de subsuperficie, lo cual provoca una aceleración de la intensidad de erosión en los horizontes superficiales. Algo similar ocurre cuando la roca madre es impermeable, existen costras, etc. Este parámetro de relación textural es considerado en el método para llegar a determinar el peso definitivo de la tierra, para cada horizonte del perfil computado. Por unidad de superficie se establece el siguiente criterio, el cual se une a la evaluación del peso total del suelo a analizar:

a) Cuando el valor de la relación textural es inferior a 1,5 se considera para cada horizonte estudiado el 100 % del peso total evaluado, y el 100% de su espesor.

b) Cuando el valor de la relación textural se sitúa entre 1,5 y 2,5 se considera en el peso sólo un 75% del peso evaluado para el horizonte superficial y tan solo un 75% del espesor del horizonte subsuperficial por debajo del horizonte A.

c) Cuando el valor de la relación textural es mayor que 2,5, se considera para los horizontes superficiales un 50 % de su peso y un 50 % de espesor en el caso del horizonte subyacente al horizonte A.

Considerando los criterios establecidos se escogen los horizontes de cada perfil de suelo para el cálculo de los límites de tolerancia. En el método original son medidos todos los horizontes verificándose las siguientes excepciones:

a) No se incluyen para los cálculos los horizontes superiores a un C, D, G, y R, salvo en el caso de litosoles o regosoles.

b) Los horizontes de tipo B3 tampoco son incluidos en el cálculo.

En la adaptación de este método se ha partido de establecer los cálculos siempre dentro de la profundidad útil determinada para cada suelo. Haciendo que aquellos suelos en los que su horizonte de tipo C entre en dicha profundidad, hagan contabilizar a un 50% el peso y el espesor del horizonte superior a él. De este modo para cada horizonte considerado del perfil de suelo se toma su espesor y su densidad aparente, calculándose el peso de tierra por unidad de superficie y teniendo en cuenta los criterios adoptados para la relación textural entre los horizontes superficiales.

El cálculo se efectúa con arreglo a la siguiente ecuación  $P = 100 \cdot h \cdot d$  donde:

**P** = peso del suelo expresado en Tm/Ha.

**h** = espesor del horizonte en cms.

**d** = densidad aparente del suelo en  $g/cm^3$

El total de tierra del perfil de la unidad de suelo se obtiene sumando la cantidad de tierra de cada horizonte considerado.

El método aquí descrito establece igualmente el periodo de tiempo para erosionar la cantidad de tierra de la unidad de superficie. Se considera el plazo de un milenio para erosionar la cantidad de tierra por unidad de superficie no teniendo en cuenta en los cálculos la formación de suelos por fenómenos de intemperismo. Así, dividiendo por mil el peso de tierra por unidad de superficie se obtiene la tolerancia de pérdidas de suelo por año para cada unidad de suelo, o sea, la cantidad máxima de tierra que un suelo puede perder por año manteniéndose su productividad en el periodo de 1.000 años, en un cierto nivel.

Como podemos observar, este método supone que para mantener un "cierto nivel de productividad" es necesario que se conserven, al menos, en un 50% los horizontes superficiales a los horizontes que pueden determinar un límite a la profundidad útil para el desarrollo de las raíces. No obstante, sería difícil saber qué consecuencias acarrearían para cada suelo estos tipos de pérdidas en relación con su productividad.

La aplicación de este método a la zona estudiada se ha realizado considerando como horizontes limitantes todos aquellos que en los 256 perfiles analizados presentan peculiaridades restrictivas para el desarrollo de las raíces. Por otra parte, la carencia del dato densidad aparente en la mayoría de los suelos utilizados, ha hecho preciso el cálculo de éste mediante procedimientos indirectos. La densidad aparente ha sido asignada en función de los valores medios que, según el tipo de textura, presentan los horizontes que en la base de datos disponían de este parámetro. Sólo en el caso de que no existan horizontes texturales determinados se asigna un valor medio teórico obtenido del Manual de Conservación de Suelos de Estados Unidos (**Tabla 82**).

Para ejecutar este método sobre el conjunto de la base de datos de suelos generada, se ha desarrollado un programa de ordenador el cual da como resultado los pesos parciales de cada horizonte, el peso total acumulado o tolerancia y realiza un ajuste de la nube de puntos resultantes al relacionar la tolerancia con la profundidad de los suelos.

Con este ajuste se obtiene la recta teórica, para el Valle del Guadalquivir, de tolerancia a la erosión en función de la distinta profundidad que presenta cada suelo.

**Tabla 82.-** Valores de densidad aparente según textura (g/cm<sup>3</sup>).

Tipo textura	Textura	Valor medio real	Equivalencia* de 1 Tm. en mm.	Valor medio** teórico	Equivalencia de 1 Tm. en mm
Pesada	Arcillosa	1.41	0.070	1.1	0.090
	Arcillo-arenosa	1.64	0.060		
	Arcillo-limosa	1.06	0.090		
	Limo-arcillosa	1.06	0.090		
Media-equilibrada	Franca	1.75	0.057	1.5	0.060
	Franco-limosa	1.54	0.060		
	Limosa	-	0.060		
Media-pesada	Franco-arcillo-arenosa	1.47	0.070	1.4	0.070
	Franco-arcillosa	1.34	0.070		
	Franco-arcillo-limoso	1.60	0.060		
	Limo-arenosa	-	0,070		
Media-ligera	Franco-arenosa	1.25	0.080	1.2	0.080
	Areno-limosa	-	0.080		
Ligera	Arenosa-franca	1.25	0.080	1.6	0.060
	Arenosa	-	0.060		
Humus	-	-	0.200	0.5	0.200

\* El paso de peso TM/Ha/año a milímetros de suelo que se pierden se obtiene operando con los datos de densidad aparente, cuyo valor se expresa en gr/cm<sup>3</sup>. Para saber que supone en (mm) de espesor 1 Tm/Ha de cada suelo se opera:

$$\text{mm/año} = \frac{\text{Pérdida de suelo (gr/ha)}}{\text{Densidad aparente (gr/ha)}}$$

\*\* Manual de conservación de suelos USDA.

### **Tolerancia en función de las pérdidas de rendimientos de cultivos-tipo.**

Partiendo de las premisas generales de que es necesario el mantenimiento de una profundidad útil adecuada al sostenimiento de la productividad vegetal, al mismo o semejante nivel que en la actualidad, se ha desarrollado una aplicación metodológica combinando modelos de estimación de rendimientos para cultivos-tipo muy comunes en la zona estudiada, con modelos que pronostican las pérdidas de suelo en función de características intrínsecas y extrínsecas a este (U.S.L.E.).

Esta aplicación se ha llevado a cabo suponiendo dos hipótesis de trabajo. Una, en la que el suelo se considera como un recurso estable y finito en su ciclo evolutivo, de manera que las pérdidas le afectan de modo absoluto y sin posibilidad de regeneración. Otra en la que el suelo se contempla como un recurso vivo y activo, que va generándose (al igual que degradándose) con el paso del tiempo. La primera hipótesis se aleja más del problema real del funcionamiento del suelo. No obstante, los escasos estudios existentes acerca de la velocidad de edafización de la roca madre y su paso a verdadero suelo, así como la enorme variabilidad de estos procesos, según los medios climáticos en que nos situemos, hace que la hipótesis que contempla el suelo en evolución parta de datos no constatables, por lo que el planteamiento realizado se ha establecido sólo a modo de ensayo comparativo entre los distintos tipos de suelos para obtener algunas directrices u orientaciones generales.

Como condiciones fijas para la evaluación se suponen:

**i.-** El periodo de tiempo en el que los rendimientos deben de ser similares a los actuales será de mil años, criterio adaptado por otros autores (SMITH y STAMEY, 1964; LOMBARDI E BERTONI, 1975).

**ii.-** Se considera como pérdida de rendimientos significativos en el tiempo un descenso superior al 10% de los rendimientos teóricos iniciales. Pérdidas inferiores pueden ser contempladas como normales en los ciclos de cultivos de las tierras.

**iii.-** La evaluación de rendimientos para cultivos tipo se establece a partir del modelo ya citado (DE LA ROSA et al. 1981) y considerando para trigo, maíz y algodón unos niveles de manejo elevados que, aún no siendo generalizables a todos los suelos, permiten homogeneizar las condiciones para todos los perfiles. Los resultados de esta evaluación son considerados como valores relativos y comparativos, nunca como valores absolutos. Los rendimientos varían en función de los cambios que los parámetros de la sección de control sufren a consecuencia de las pérdidas de suelos en profundidad.

**iv.-** La evaluación de pérdida de suelos en profundidad se efectúa a partir de la aplicación de la USLE. Se comienza para ello suponiendo para cada perfil una erosividad de la lluvia constante y similar a la actual, un factor topográfico constante e igual al actual y un factor de protección por cubierta vegetal, igualmente similar al que presenta el suelo en el momento de iniciarse el cálculo. La erodibilidad propia de cada suelo parte del cálculo del factor K tal como se explicó en páginas anteriores, pero este factor es recalculado nuevamente en función de las pérdidas de profundidad que se vayan produciendo con el paso del tiempo, las cuales, evidentemente, ocasionan cambios en la sección a partir de la que se toman los datos para calcular K.

**v.-** Para el análisis temporal de la evaluación de la erosión y de los rendimientos se ha considerado: el momento presente o año 1, el futuro inmediato o año 10, el futuro próximo o año 100, el futuro lejano o geológico o año 10.000. Así, aunque el cálculo se efectúa año a año sólo en estos hitos se muestran los resultados.

**vi.-** Los cálculos se detienen cuando un suelo presenta una profundidad útil inferior a 20 cm. dentro del periodo considerado de 10.000 años.

vii.- La fórmula para el cálculo de la tolerancia o pérdidas de suelo en función de los rendimientos de cada cultivo es la siguiente:

$$T = (E \times N) / 1000$$

Donde T = Tolerancia anual a pérdidas de suelo, para un cultivo determinado, expresada en Tm/ha.

E = Erosión acumulada durante el número de años en los que los rendimientos son similares a los actuales.

N = Número de años en que los rendimientos son similares a los actuales (iguales o inferiores en menos de un 10%)

1000 = Número de años en que los rendimientos deben mantenerse similares a los actuales.

Las hipótesis de evaluación establecidas han supuesto las siguientes consideraciones:

a) Establecimiento de la tolerancia sin considerar regeneración de los suelos.

En esta hipótesis se evalúan los rendimientos de trigo, maíz y algodón haciendo que las pérdidas de suelo establecidas en Tm/Ha/año, vayan restándose de la profundidad útil del perfil, lo cual implica cambios en la sección de control y por ende en los resultados a obtener. En esta hipótesis, considerándose al suelo como fijo en su profundidad los cálculos se realizan hasta que el suelo queda con 20 ó menos centímetros de profundidad útil o hasta el final del período de los 10.000 años, resultando la tolerancia de la aplicación de la fórmula recogida anteriormente.

b) Establecimiento de la tolerancia considerando generación de nuevo suelo por fenómenos de intemperismo.

Los presupuestos utilizados para delimitar cuál podría ser la cantidad de suelo que se va generando con el tiempo en cada uno de los perfiles analizados, han partido de una revisión bibliográfica acerca de las cantidades dadas por diferentes autores en torno a la formación de suelos por fenómenos de intemperismo y disgregación de rocas. En este sentido los procesos edafogénicos son muy variados en función de las características climáticas y de vegetación que imperan en cada lugar, lo cual hace que se den cifras de formación de suelos en equilibrio en períodos de 1000 años, junto a otros que necesitan un millón de años (BIRKELAND, 1974). Sin embargo es necesario matizar que una cuestión es la edafogénesis, es decir la formación de suelo a partir de roca original intemperizada, cuyos ciclos son más o menos conocidos en distintas zonas climáticas y que puede ser evaluada mediante análisis de tipo palinológico, arqueológico y otros como la datación de la materia orgánica con carbono 14 (LAATSCH, 1963); y otra bien diferente es la preedafogénesis, proceso de alteración mucho más lento y cuyo funcionamiento forma parte de unos ciclos muy largos, cuyas etapas no se conocen bien (DUCHAFOUR, 1984), siendo estudiado por algunos autores a través de la integración en el tiempo de un proceso fisio-químico medido durante un periodo corto (LENEUF y AUBERT, 1960), o bien, comparando la naturaleza y grado de evolución de materiales de composición comparables pero de edades diferentes y que están datados por métodos geomorfológicos. Los ejemplos más clásicos suelen estar basados en los estudios de terrazas aluviales (DIAZ DEL

OLMO, 1986). Para algunos especialistas estos estudios son aún muy imprecisos, sirviendo la mayoría de las veces como dataciones relativas, con menor precisión a medida que se remontan en el tiempo (BIRKELAND, 1974).

Partiendo de los anteriores planteamientos se han tomado como cifras orientativas sobre la preedafogénesis, en zonas mediterráneas, aquellas recogidas por DUCHAUFOR (1984) quien habla de que 1 m. de "tierra rossa" y de suelos de terraza pueden formarse en un periodo que oscila entre los 10.000 y 100.000 años. Considerando tales cifras se ha realizado una gradación del tipo de rocas en función de su susceptibilidad a la disgregación con una jerarquización ya establecida anteriormente (MOREIRA, 1982) y conjugando parámetros tales como la presencia a distintas profundidades de yacimientos arqueológicos romanos (3m. en llanuras de inundación y medios urbanos, 1 m. en zonas de rocas no consolidadas y no afectadas por inundaciones, 40 cm. en zonas de rocas consolidadas). Hay que decir, no obstante, que estos supuestos son absolutamente hipotéticos y sin más pretensiones que analizar y comparar resultados para amplias zonas. Del estudio comparativo de la susceptibilidad a la disgregación de los materiales y de la generación de suelo se ha obtenido la **Tabla 83**, que permite obtener una orientación sobre los órdenes de magnitudes de intemperización de las distintas unidades cartográficas generadas en el mapa de unidades tierra.

La cifra teórica de intemperización anual en milímetros es sumada a la profundidad del suelo posible de ser erosionada, de modo que los rendimientos de los cultivos variarán en un sentido algo diferente al establecido considerando al suelo como de profundidad fija.

Por otra parte, y puesto que la tolerancia a la erosión está condicionada siempre por la profundidad útil de los suelos, parece lógico pensar que a partir de ésta pueda conocerse la tolerancia para los diferentes cultivos, tras el necesario análisis de correlación entre las máximas pérdidas tolerables y la profundidad de todos los suelos estudiados. Tal procedimiento ha sido igualmente utilizado en este trabajo, con los resultados que se verán más adelante.

**Tabla 83.-** Estimación de órdenes de magnitud de intemperización de suelos en distintos tipos de roca.

Roca original	Años para intemperizar 1 metro de material	suelo generado mm/año
Caliza dura	100.000	0,010
Caliza media	75.000	0,013
Caliza blanda	50.000	0,020
Granito	10.000	0,100
Arenisca compacta	7.500	0,133
Pizarras metamórficas	50.000	0,020
Margas compactas	10.000	0,100
Margas no compactas	5.000	0,200
Sedimentos fluviales	2.500	0,400
Limos y arcillas marisma	1.000	1,000

### **La tolerancia a la pérdida de suelo en el valle central del Guadalquivir.**

Ha sido tradicional en la práctica convencional de conservación de suelos planificar éstos de modo que resulten tasas consideradas como aceptables, oscilando éstas entre las 2 y 12,5 Tm/ha/año, equivalentes a pérdidas superficiales de 0,2 - 1 mm/año. Son numerosos los textos que aluden a estas cifras como valores que están a la par con la tasa de intemperismo

químico, que forma el nuevo suelo (KIRKBY and MORGAN, 1984). Sin embargo, ya se ha hecho referencia en otro lugar a los escasos datos conocidos acerca de los procesos de edafización, de modo que en una perspectiva a largo plazo, como la que se debe de utilizar para la conservación de una agricultura permanente, el equilibrio entre los fenómenos de erosión mecánica del suelo y los de su formación química deberían de ser examinados con mayor profundidad.

**Tabla 84.**- Guía para valores de tolerancia de pérdidas de suelo para distintas profundidades de raíces.

Profundidad de raíces (cm)	Valores de tolerancia de pérdidas de suelo (Tm/ha/año)	
	Suelo con substrato favorable	Suelo con substrato desfavorable
0 - 25	2,2	2,2
25 - 50	4,5	2,2
50 -100	6,7	4,5
100 -150	9,0	6,7
> -150	11,2	11,2

Fte: ICONA, 1983.

Valores como los que parecen en la **Tabla 84**, para pérdidas aceptables por erosión parecen ser últimamente muy cuestionados desde una perspectiva a largo plazo de las tierras cultivables (KIRKBY and MORGAN, 1984).

En este sentido, siendo la tolerancia de pérdida de suelos la máxima tasa de erosión de suelo que permite que se sostenga un alto nivel de productividad, y entendiendo por éste el que existe en el momento actual, es evidente que, tras los análisis realizados en capítulos anteriores, se puede llegar a establecer dicha tolerancia para cada suelo, no sólo en función de sus características físicas, sino en relación con el mantenimiento de su capacidad productiva.

Los planteamientos llevados a cabo en este trabajo han hecho, no obstante, que se utilicen los métodos de predicción de tolerancia a la erosión en función de las características físicas de los perfiles analizados, ya que hasta el momento presente las cifras utilizadas lo han sido siempre por extrapolación de los datos expresados en "Manuales de Conservación de Suelos de Estados Unidos" sin considerar que los suelos de zonas diferentes pueden dar lugar a cifras distintas.

Un conocimiento de las tasas máximas asimilables por un suelo para conservar su actual capacidad productiva es esencial para poder actuar, mediante una adecuada política de ordenación de cultivos o con medidas correctivas mecánicas, sobre un suelo en el que, a través de la aplicación de la USLE, se conocen sus pérdidas actuales.

En la **Tabla 85** se han concentrado los resultados medios obtenidos por la aplicación de los diversos métodos de evaluación de la tolerancia a la erosión que se han utilizado en este estudio.

A modo de elemento complementario y comparativo se dan igualmente los valores medios de profundidad útil de los perfiles analizados y los niveles medios, máximo y mínimo de erosión que las distintas unidades geomorfoedáficas presentan.

**TABLA 85.- VALORES DE EROSION Y TOLERANCIA A PERDIDAS DE SUELO (TA/HA/AÑO)**

TOLERANCIA													
En función de rendimientos pronosticados para cultivos													
tipo		Profundidad útil (cm)	Erosión actual pronosticada	En función de caract. físicas	Sin regeneración de suelo				* Con regeneración de suelo				
Unid.	Cart.				Trigo	Maíz	Algodón	Media	Trigo	Maiz	Algodón	Media	
02	SE-16	30	15,7	2,2	0,3	0,3	1,4	0,7	0,3	0,3	1,4	0,7	
03	CO-27	70	1,3	8,7	1,1	1,1	1,2	1,1	12,4	13,2	13,7	13,1	
05	CO-48	10	1,4	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
06	J-13	55	31,6	6,8	1,3	1,1	2,3	1,6	1,3	1,1	2,3	1,6	
07	J-31	80	4,8	9,9	4,7	2,5	6,6	4,6	---	---	---	---	
08	SE-127	60	133,5	5,3	0,6	0,9	3,5	1,7	0,6	0,9	3,5	1,7	
09	SE-105	80	73,3	7,0	1,9	1,1	5,5	2,8	1,9	1,1	5,4	2,8	
10	SE-129	40	100,0	3,6	0,8	1,1	3,1	1,6	0,8	1,1	3,1	1,6	
12	J-6	70	0,5	7,7	0,7	3,5	5,9	3,4	---	---	---	---	
13	J-40	135	23,2	13,4	8,4	3,5	5,8	5,9	9,0	3,7	6,3	6,4	
14	CO-30	50	9,0	8,4	0,7	0,7	3,7	1,7	0,9	0,9	4,5	2,1	
15	J-48	120	52,8	12,6	9,4	2,1	3,5	5,0	9,9	2,2	3,8	5,3	
16	CO-38	120	2,6	12,6	8,7	1,7	3,5	4,6	---	---	---	---	
17	J-20	60	3,1	8,6	0,8	0,9	2,2	1,3	---	---	---	---	
18	SE-4	35	33,6	3,0	0,9	0,5	2,6	1,4	1,0	0,5	2,6	1,4	
19	CO-51	150	5,5	11,6	3,8	4,0	2,8	3,5	7,4	7,8	5,9	7,0	
20	CO-53	120	28,2	11,7	8,6	1,8	3,5	4,6	9,4	1,9	3,7	5,0	
21	CO-9	100	111,9	7,5	4,3	1,7	2,9	3,0	4,4	1,9	3,0	3,1	
22	SE-17	40	331,5	2,6	0,6	0,6	3,1	1,5	0,6	0,6	3,1	1,5	
23	SE-73	150	10,4	11,9	2,9	1,8	5,5	3,4	5,5	3,6	10,2	6,4	
24	J-19	65	6,6	8,4	1,2	1,4	3,5	2,0	1,2	1,4	3,6	2,1	
25	CO-1	40	47,7	2,5	0,4	0,5	2,5	1,1	0,4	0,5	2,5	1,1	
26	J-7	35	67,0	3,1	0,6	0,0	1,8	0,8	0,6	0,0	1,9	0,8	
27	J-46	65	3,3	4,5	1,2	0,7	4,2	2,0	---	---	---	---	
28	J-47	39	2,8	3,3	1,4	0,6	2,1	1,3	6,0	2,9	9,1	6,0	
29	J-5	70	18,1	4,8	1,7	1,3	3,0	2,0	1,7	1,3	3,1	2,0	
30	SE-122	70	6,8	6,6	1,1	1,3	0,6	1,0	4,2	5,0	2,3	3,8	
31	SE-66	60	32,8	3,7	1,6	0,8	4,1	2,2	1,7	0,8	4,3	2,3	
32	SE-124	120	4,8	12,9	7,2	2,5	10,0	6,6	17,6	6,8	23,8	16,1	
33	SE-53	100	31,9	6,7	4,5	1,9	4,8	3,7	5,1	2,2	5,5	4,2	
34	SE-6	150	128,2	10,5	13,6	7,2	11,9	10,9	13,9	7,4	12,1	11,1	
35	SE-101	200	3,6	11,7	6,0	12,1	6,0	8,1	11,2	21,5	11,2	14,6	
36	SE-58	60	25,9	5,2	1,8	0,9	4,1	2,3	2,4	1,3	5,6	3,1	
37	SE-1	20	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	---	---	---	---	
38	SE-118	65	0,4	7,4	1,0	1,3	3,4	1,9	---	---	---	---	
39	SE-12	30	0,5	2,1	0,3	1,4	1,4	1,0	---	---	---	---	
40	SE-10	80	0,8	6,4	2,5	1,3	4,9	2,9	---	---	---	---	
41	SE-50	40	19,9	3,3	0,4	0,3	0,6	0,4	0,5	0,4	0,8	0,6	
42	SE-138	60	16,1	5,3	1,5	1,4	1,3	1,4	1,8	1,8	1,6	1,7	
43	CO-63	95	2,2	7,9	3,0	1,8	3,5	2,8	8,6	4,8	10,7	8,0	
44	SE-5	70	225,7	4,9	1,8	1,2	3,9	2,3	1,8	1,4	3,9	2,4	
48	SE-15	40	78,3	2,5	0,4	0,3	2,5	1,0	0,5	0,3	2,5	1,1	
50	SE-114	20	0,6	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	---	---	---	---	
51	CO-13	70	16,5	8,0	2,2	1,2	4,1	2,5	2,2	1,2	4,1	2,5	

\* Se considera sólo los suelos en los que no hay ganancias netas.  
 - Suelo con ganancias netas

La evaluación llevada a cabo según el método de LOMBARDI E BERTONI (1975) ofrece, para los perfiles estudiados, la tasa máxima de pérdidas asimilables en un período de 1000 años manteniéndose una estructura del perfil edáfico similar a la que en el momento presente sostiene su capacidad productiva. En este método, como ya se indicó, sólo se consideran las características físicas internas del perfil, siendo asimilable a los utilizados en Estados Unidos que han dado lugar, a las cifras expresadas en la tabla 83, pero con la salvedad de que se obtienen para suelos propios de condiciones ambientales diferentes a los americanos.

Los resultados obtenidos con este primer método de evaluación de la tolerancia se muestran (Tabla 85) muy similares a los que se han establecido en otros lugares y ello debido, naturalmente a que los parámetros utilizados son tales que no pueden variar grandemente de un lugar a otro (textura, densidad aparente, profundidad útil, etc). En la Tabla 86 aparecen resumidos y relacionados con la profundidad útil del perfil los valores medios de tolerancia según los distintos métodos empleados. Si comparamos estos valores medios con los de la Tabla 83, observaremos las grandes similitudes que se presentan. Así, los valores utilizados en Estados Unidos como tasas asimilables por suelos con profundidad < 25 cm, resultan ser los mismos para el Valle del Guadalquivir (2,2 Tm/ha/año). No ocurre igual con los suelos de profundidad entre 25-50 cm, ya que los valores convencionales hablan de tolerancias de 4,5

Tm/ha/año y en los suelos aquí analizados resulta un valor de 3,3 Tm/ha/año. No obstante, y dado que con substrato desfavorable los datos en Estados Unidos hablan de cifras de 2,2 Tm/ha/año, el dato promedio aquí obtenido entra en la lógica de este sistema de evaluación.

Para suelos con profundidad moderada (50-100 cms) los resultados medios son exactamente iguales a los que se establecen con estos criterios en otros lugares sobre suelos con substrato favorable (6,7 Tm/ha/año).

Los suelos con profundidad elevada (100-150 cms) muestran, sin embargo, en el valle del Guadalquivir, una mayor tolerancia (10,6 Tm/ha/año), en función de sus características físicas, que los suelos de otros lugares (9,0 Tm/ha/año), al igual que ocurre, aunque en menor grado, con los suelos muy profundos (11,9 Tm/ha/año para > de 150 cm de profundidad). Parece, pues, existir, en principio, una tendencia a una tolerancia mayor que la establecida en Estados Unidos, para los suelos de profundidad moderada, elevada y muy elevada en el Valle central del Guadalquivir, atendiendo sólo a parámetros físicos.

**Tabla 86.-** Resumen de valores medios de tolerancia de pérdidas de suelo para distintas profundidades de raíces en el Valle central del Guadalquivir.

Profundidad (cm)	Valores de tolerancia de pérdidas de suelo (Tm/ha/año)		
	En función de características físicas	En función de rendimientos pronosticados	
		Sin regener. de suelo.	Con regener. de suelo.
0 - 25	2,2	0,2	0,2
25 - 50	3,3	1,1	1,8
50 -100	6,7	1,7	2,5
100 -150	10,8	5,0	7,0
> 150	11,9	5,3	7,1

Por otra parte, la evidente relación entre la profundidad útil del suelo y su mayor o menor capacidad para soportar pérdidas por erosión permite establecer una correlación entre estos parámetros. Mediante un ajuste polinomial puede establecerse para un suelo, y para el valle del Guadalquivir en concreto, cual es la fórmula a emplear para obtener la tolerancia a la erosión sólo a partir del dato de la profundidad útil del perfil. Este tipo de análisis es el que aparece recogido en la **Figura 29**, donde una función polinomial de grado variable, permite el mejor ajuste posible, con una curva, de las variables correlacionadas. La forma de la curva obtenida evidencia que para suelos poco profundos cualquier pérdida resulta perjudicial, existiendo un aumento paulatino de la capacidad a admitir pérdidas con el aumento de la profundidad útil, hasta un momento en que ésta llega a los 120 cms. Se produce entonces una estabilización de la tolerancia, de modo que una mayor profundidad no implicaría mayor tolerancia. y si bien a partir de los 200 cms de profundidad aumentaría de nuevo la tolerancia, este hecho ha de ser contemplado con precaución dado el escaso número de casos situados en tales condiciones.

A pesar de todo, los resultados hasta aquí comentados no permiten conocer, a ciencia cierta, cuál puede ser la incidencia de la pérdida de suelos, calificada como asimilable, sobre la capacidad productiva actual de un suelo. Y sin embargo es éste el matiz que define esencialmente el concepto tolerancia, el mantenimiento por un largo período de tiempo de la capacidad productiva actual.

Los trabajos realizados para analizar la influencia que la erosión de los suelos tiene sobre los rendimientos de tres cultivos-tipo pueden ser utilizados con esta finalidad y llegar a establecer, así, la tolerancia de un suelo con respecto a uno o múltiples usos agrícolas con criterios de mantenimiento sostenido de la capacidad productiva.

Ya se han comentado suficientemente los criterios seguidos para establecer esta evaluación que, en esencia, consiste en determinar el volumen de pérdidas de suelos que hace que un perfil baje en su capacidad productiva, para uno o varios cultivos, y en repartir esas pérdidas en un período de 1000 años. Una síntesis de los resultados obtenidos, tanto por este procedimiento, como por el procedimiento de evaluación según las características físicas del perfil, aparecía reflejada en la Tabla 85, la cual nos permite realizar una serie de puntualizaciones.

Si considerando las características físicas, los suelos de tipo esquelético ofrecían tasas máximas asimilables de 2,2 Tm/ha/año, bajo este nuevo procedimiento las pérdidas máximas asimilables son de sólo 0,2 Tm/ha/año, y ello aunque se contemplen tasas de edafización. Esta cifra parece más acorde con la realidad de unos perfiles en los que cualquier degradación implicaría pérdidas irreparables. Comparativamente estos suelos muestran unas tolerancias diez veces inferiores a las que otros procedimientos parecen atribuirles.

Por otra parte, los suelos de escaso desarrollo (25-50 cms), aparecen con tolerancias entre dos y tres veces inferiores a las asignadas en función de sus características físicas (1,1 y 1,8 Tm/ha/año, respectivamente para las hipótesis de no regeneración y de regeneración por intemperismo).

En el caso de suelos de desarrollo moderado (50-100 cms) las tolerancias definidas toman valores entre dos y cuatro veces inferiores (1,7-2,5 Tm/ha/año), mientras en los suelos de mayor desarrollo las diferencias, con respecto al método de LOMBARDI E BERTONI, se reducen a la mitad (5,0 y 5,3 Tm/ha/año para suelos con profundidad superior a 100 cms).

En conjunto, pues, la tolerancia, establecida como un parámetro que mide estrictamente la tasa máxima asimilable de pérdidas de suelos para conservar la productividad actual de las tierras, parece tomar unos valores entre dos y cuatro veces inferiores a los que cabría esperar si sólo se contemplan las características físicas intrínsecas a los perfiles edáficos. Este hecho es de una importancia crucial, ya que permite conocer la relación existente entre las pérdidas que se están produciendo en los suelos y la máxima que se podría producir para mantener una situación de productividad como la actual.

Las **Figuras 30 y 31** muestran igualmente estos hechos siendo evidente que sólo en el caso de suelos muy profundos (>200 cms. se puede hablar de tolerancias superiores a 10 Tm/Ha/año y que la mayoría de los suelos presentan tolerancias muy por debajo de las que teóricamente se les asignaron. En la Tabla 85 han sido resumidos todos estos aspectos que, con respecto a la tolerancia, hemos venido comentando, agrupados como valores medios de erosión y tolerancia para las diferentes unidades cartográficas descritas. A través de ellos podemos comentar la distribución espacial de esta problemática en la región estudiada.

En las Vegas y llanuras de inundación (unidad 23) la erosión promedio actual pronosticada es de 9 Tm/ha/año, mientras que la tolerancia en función de sus características físicas es superior (11,1 Tm/ha/año). Ello significaría un balance anual positivo para esta

unidad. Sin embargo, un análisis de la tolerancia en función de los rendimientos de algunos cultivos-tipo, pone en evidencia que la tasa máxima de pérdida asimilable sería de sólo 5,1 Tm/ha/año si no se contempla la regeneración del suelo, aunque pasa a 10,1 Tm/ha/año caso de contemplar los fenómenos de edafización.

Las unidades fisiográficas de terrazas (16,17,30), se caracterizan por comportamientos diversos. Los suelos rojos de terrazas, frente a una erosión promedio de 12 Tm/ha/año, con un mínimo de 3 y un máximo de 38, ofrecen una tolerancia, por parámetros físicos, elevada (11,9 Tm/ha/año) y acorde con las pérdidas. No obstante, la tolerancia en función de los rendimientos es sólo de 4,3 Tm/ha/año en la hipótesis más positiva. Los Inceptisoles y Alfisoles de terrazas medias (unidad 30), aparecen también como suelos con una relativa estabilidad, ya que a pérdidas promedio de 11 Tm/ha/año, oponen una tolerancia física de 10 Tm/ha/año, si bien esta descende a sólo 6,7 Tm/ha/año en la mejor de las hipótesis de conservación de rendimientos. Las terrazas altas (unidad 17) constituyen un conjunto de tierras definidas por una erosión moderada (20 Tm/ha/año) pero que es muy superior a la tasa máxima admisible por estos suelos bajo cualquier hipótesis planteada (máxima tolerancia 6,2 Tm/ha/año). Esto las convierte en una unidad con una clara disfuncionalidad.

Este problema se plantea también entre las unidades incluidas como coberteras detríticas, pero con matices variados.

Los suelos rojos de los Glacis y conos de Sevilla y Córdoba (unidad 16-31) ofrecen una erosión promedio de 11,0 Tm/ha/año, frente a niveles de 7,7 Tm/ha/año para la tolerancia en función de características físicas, siendo la tolerancia en función de los rendimientos de 4,6 Tm/ha/año. Del mismo orden de magnitud son las relaciones entre erosión (11 Tm/ha/año) y tolerancia (5,9 Tm/ha/año) que se establecen para los Entisoles y Alfisoles sobre coluviones y rañas (unidad 7), aunque un mantenimiento de los rendimientos exigiría una tolerancia de sólo 1,8 Tm/ha/año. En situación más crítica aparece la unidad de Entisoles y Alfisoles sobre conglomerados al sur del El Aljarafe (unidad 48), ya que frente a una erosión de 78 Tm/ha/año las tasas de pérdidas admisibles son muy bajas (2,5 Tm/ha/año en el mejor de los casos).

Muy distinto es el panorama planteado por todas las unidades morfoedáficas de Marismas (unidades 37, 38, 30, 40 y 50) en las que, a pesar de la baja tolerancia admisible bajo cualquier hipótesis, nunca puede considerarse que las pérdidas superen a la tolerancia, siendo siempre unidades en progresión.

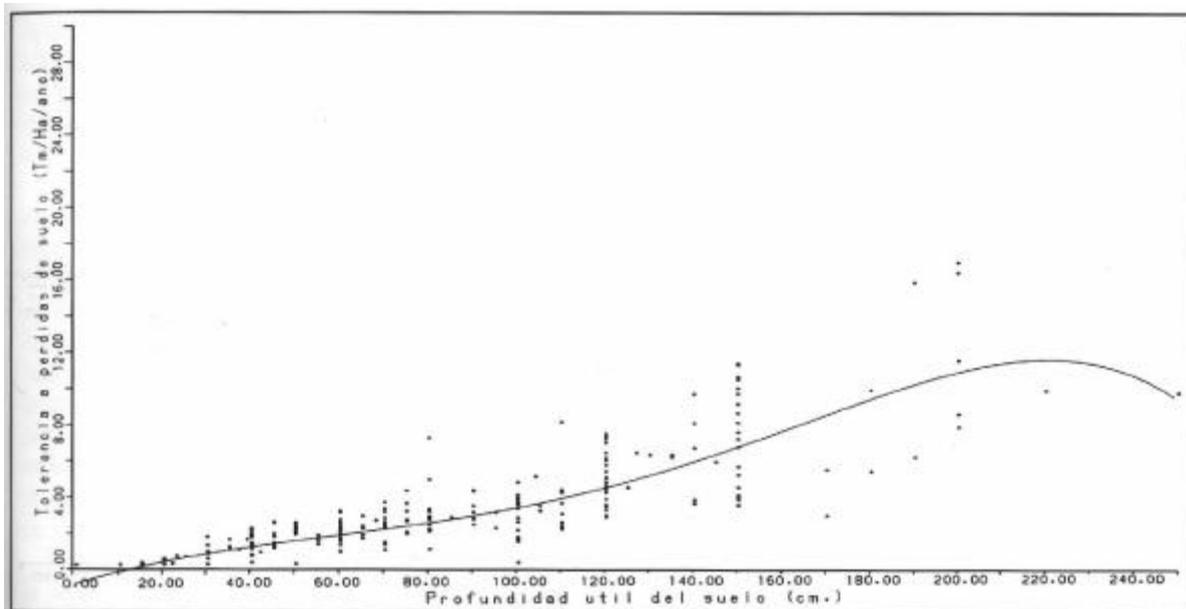
Por el contrario las unidades fisiográficas de Cerros con fuerte influencia estructural y tectónica (unidades 22 y 51) las pérdidas pronosticadas (110 y 68 Tm/ha/año respectivamente), son muy superiores a las tolerancias, de cualquier tipo, establecidas, siendo, pues, unidades en clara regresión de su capacidad productiva debido a una erosión excesiva.

Las unidades Colinares con moderada influencia estructural (15, 21, 28, 42, 14, 10 y 58) se muestran, en conjunto, con unas pérdidas muy superiores a las tolerancias admisibles, tanto para conservar su estructura física, como para mantener su productividad. Sólo las unidades morfoedáficas de Entisoles sobre conglomerados, arenas y margas (unidad 28), a la que sólo ha sido posible asignar un perfil, y la unidad de Vertisoles y Alfisoles sobre margas arenosas (unidad 21), en la que algunos perfiles presentan una erosión inferior a la tolerancia, parecen ofrecer una relativa estabilidad. El resto de unidades se muestra claramente regresiva.

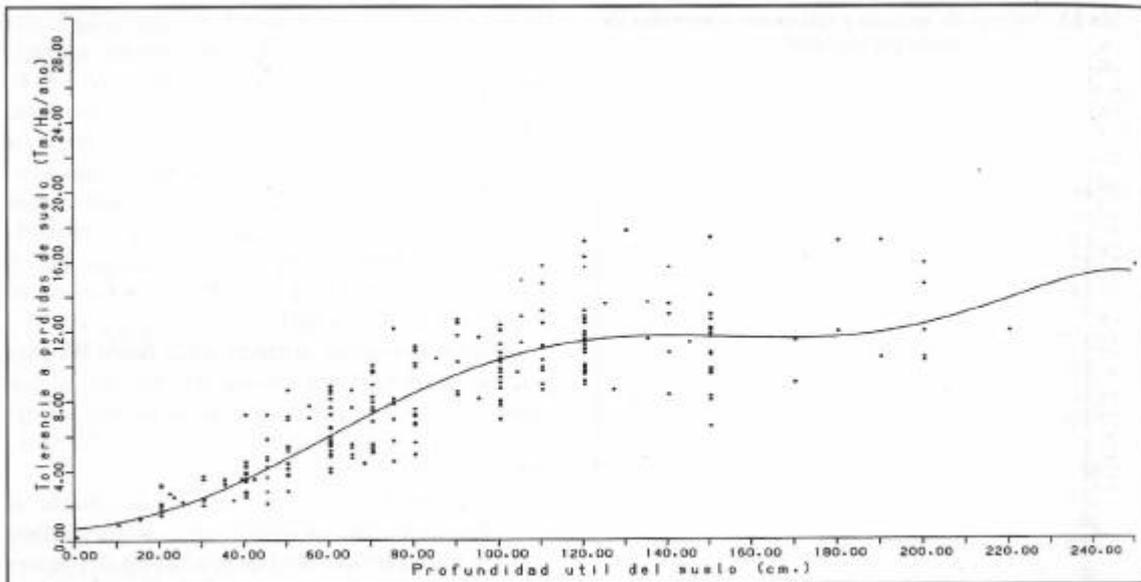
Las unidades fisiográficas de Lomas y llanuras evidencian dos comportamientos contrastados. De una parte suelos con clara tendencia regresiva, ya que las pérdidas son siempre muy superiores a las tolerancias definidas. De este tipo son los Entisoles y Alfisoles sobre arenas y margas arenosas del piédmonte de Sierra Morena (unidad 18), los Entisoles sobre margas arenosas del mismo sistema de tierras (unidad 34) y los Entisoles y Alfisoles sobre areniscas y costras calizas (unidad 41). De otra parte, hay suelos que pueden ser calificados de situación relativamente estable, ya que, si bien en un balance global suelen presentar mayor erosión que la permitida por los valores de tolerancia encontrados, siempre hay perfiles donde la tolerancia es mayor o igual a la erosión pronosticada. De este tipo son los Alfisoles, Entisoles e Inceptisoles de las margas arenosas de El Aljarafe y sureste de Jaén (unidades 33, 34, 35 36 y 27) y los Vertisoles de campiñas (unidades 19, 20 y 32), si bien en estos últimos son frecuentes situaciones de clara regresión (sobre todo en las unidades 19 y 20).

Para las unidades fisiográficas de Karst y Alineaciones montañosas (unidades 9, 24, 25, 26, 2 y 5) las situaciones son claramente problemáticas, ya que los procesos de erosión superan, con mucho, a las tasas de pérdidas máximas asimilables. Este hecho parece más acentuado en las unidades vinculadas a los relieves situados en las cadenas Subbéticas que en el caso de las ubicadas en los relieves de Sierra Morena, donde existen suelos con escasas pérdidas.

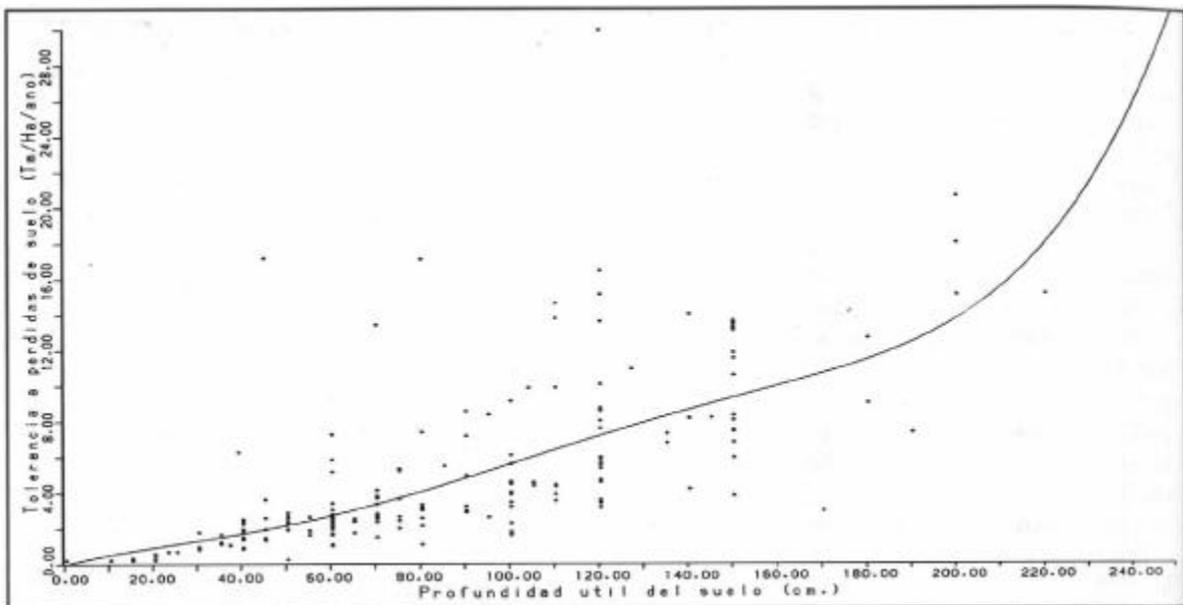
Las unidades desarrolladas sobre Colinas y superficies de aplanamiento (unidades 3, 6 y 8) se presentan con un balance negativo, pero con situaciones de estabilidad en algunos casos. Finalmente, las unidades vinculadas a los relieves Tabulares, se muestran relativamente estables y sin fuertes disfuncionalidades.



**Figura 30- Relación entre la profundidad útil del suelo y la tolerancia a la erosión. Curva de ajuste en función de pérdidas de rendimientos, sin regeneración de suelo. Situación con respecto a la misma de perfiles analizados.**



**Figura 29-** Relación entre la profundidad útil del suelo y la tolerancia a la erosión. Curva de ajuste en función de parámetros físicos. Situación con respecto a la misma de perfiles analizados.



**Figura 31-** Relación entre la profundidad útil del suelo y la tolerancia a la erosión. Curva de ajuste en función de pérdidas de rendimientos, con regeneración de suelo. Situación con respecto a la misma de perfiles analizados.