

## APLICACIÓN DE LA RUSLE v.1.06 EN LA EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CEGA. COMPARACIÓN DE FACTORES RUSLE-USLE.

M. ROLDAN SORIANO<sup>1</sup>, V. GÓMEZ SANZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Forestal. E.U.I.T. Forestal. Ciudad Universitaria s/n, 28040 –Madrid. E-mail: roldan@forestales.upm.es

<sup>2</sup>Departamento de Silvopascicultura. E.U.I.T. Forestal. Ciudad Universitaria s/n, 28040 –Madrid.

**Abstract.** This work applies RUSLE methodology to determinate soil losses through erosion, on the river Cega high basin (Segovia). Very different information sources and specific country trips allowed to determinate different intervening factors, that cartographically expressed made possible to assign potential values of soil losses to different sites in the study area. As a whole, average soil losses obtained are 4 t/ha-year, a value that reflects a physical degradation by erosion perfectly acceptable. Nevertheless, losses are higher in sites with high slopes, over marly limestones and inefficient vegetal covers (>50 t/ha-year). Comparison of results between RUSLE and USLE methods shows, in general, lower participating factors values in the first of them.

**Key words:** Water erosion, RUSLE, USLE.

**Resumen.** El trabajo que a continuación se presenta supone el resultado de la aplicación de la metodología RUSLE, en su versión 1.06, para la determinación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en la cuenca alta del río Cega (Segovia). Información de fuentes diversas, junto con recorridos específicos de campo, permitieron la evaluación de los distintos factores que intervienen en el proceso. Su posterior representación cartográfica posibilitó la asignación de valores de degradación del suelo por erosión hídrica a las distintas localizaciones del área de estudio. Globalmente, las pérdidas de suelo medias obtenidas para la cuenca son de 4 t/ha y año, valor que resulta tolerable. No obstante, las pérdidas son muy superiores en localizaciones con pendiente elevada, sobre materiales margosos y cubierta vegetal inefectiva en el control del proceso erosivo (mayores de 50 t/ha-año). En la comparación de resultados entre los métodos RUSLE y USLE, el primero de ellos presenta, por lo general, valores menores, más ajustados, de los factores participantes.

**Palabras Clave:** Erosión hídrica, RUSLE, USLE.

## INTRODUCCIÓN

En las más de tres décadas de uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), ésta se ha mostrado como una herramienta versátil y útil para la determinación de pérdidas edáficas por erosión hídrica (Roldán y Fernández, 1993; Lozano *et al.*, 1998; Gómez *et al.*, 2003) y la planificación hidrológica de los distintos usos del suelo en territorios relativamente extensos (Edwards y Charman, 1980; Rosewell, 1986) —con esta idea base, el antiguo ICONA llevó a cabo, al final de la década de los 80 y principios de los 90, la elaboración de distintos “mapas de estados erosivos” (escala 1/400.000) que han servido y sirven de referencia a distintos planificadores del uso del territorio—. No obstante, y a pesar de lo aceptado de su uso, los trabajos de contraste y validación de los resultados obtenidos con esta metodología no son lo suficientemente numerosos para garantizar un grado de aproximación satisfactorio (Gómez *et al.*, 2003).

La revisión de la original USLE ha dado lugar a la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE), basándose en la puesta al día de los distintos factores que integraban la ecuación original (Wischmeier y Smith, 1978) y la aplicación de teorías más actuales sobre procesos de disgregación, transporte y sedimentación de las partículas arrancadas del suelo, bien por el impacto de las gotas de lluvia, bien por la escorrentía superficial, tanto laminar como en rugeros (Renard *et al.*, 1996).

La actualización que supone la RUSLE, que además viene implementada con un software que facilita su aplicación (USDA-ARS, 2001), hace de ella un instrumento aún más útil, que supera ciertas limitaciones del modelo anterior, y que tiene una mayor eficacia en la estimación de la potencialidad de las superficies continentales para sufrir pérdidas de suelo por erosión hídrica.

Aplicaciones recientes en España pueden consultarse en Renschler *et al.* (1999), Martínez-Casasnovas y Sánchez-Bosch (2000) y DGCONA (2003).

El trabajo desarrollado supone la aplicación concreta de la nueva RUSLE a un ámbito territorial específico (la cuenca alta del río Cega, en la provincia de Segovia), habiéndose fijado como objetivos principales: (1) la determinación de la pérdida de suelo que en la actualidad presenta el territorio de estudio siguiendo la metodología RUSLE; (2) la comparación de los resultados obtenidos respecto a los de su antecesora la USLE.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ámbito físico del presente estudio queda definido por la cuenca de recepción del río Cega en su curso alto y medio, habiéndose situado la sección de cierre en las proximidades al municipio de Lastras de Cuellar (Segovia), lo cual supone una extensión total de unas 64.000 ha (Figura 1). Fisiográficamente el territorio estudiado se organiza en cuatro unidades bien diferenciadas, que muestran también una patente disparidad en la respuesta vegetal y en los usos del suelo en ellas dominantes: (1) la sierra, con materiales graníticos y gneísicos en pendientes pronunciadas y formaciones vegetales aciculiperennifolias (pinares de *Pinus sylvestris*), en densidades adecuadas y sometidas a un uso principal forestal; (2) el piedemonte, también sobre materiales ácidos y coherentes pero ya de pendientes más suaves, con cubierta forestal más heterogénea que soporta un uso preponderante ganadero-forestal; (3) la campiña ondulada, con depósitos terciarios de diferente grado de consolidación, al que viene asociado un rango de pendientes amplio, y donde el uso dominante es el agrícola; y (4) la tierra de pinares, donde lo especial del substrato (arenas cuaternarias incoherentes) lleva a una



FIGURA 1: Situación general de la cuenca alta del río Cega (Segovia).

formación vegetal de pinar de *Pinus pinaster* dominante, entre la que aparecen salpicadas pequeñas superficies de cultivos.

A lo largo de este variado territorio, la evaluación de su potencialidad respecto a la degradación física por erosión hídrica se ha determinado mediante la metodología RUSLE, en su versión v.1.06 (USDA-ARS, 2001). Si bien la expresión base de cálculo de la RUSLE presenta idénticos factores a los de la USLE (Wischmeier y Smith, 1978), la información que requiere para su cálculo es sustancialmente distinta en algunos de los factores, por lo que obliga a seguir un proceso operativo sensiblemente diferente. Los aspectos más reseñables de este proceso seguido son los que a continuación se exponen.

Factor erosividad de la lluvia (R). La ausencia de pluviógrafos en el área de estudio llevó a estimar este factor a partir de datos pluviométricos de las estaciones dis-

ponibles de la cuenca, que ofrecían un número suficiente de observaciones, siguiendo la metodología propuesta por ICONA-INTECSA (1987) –ecuación de regresión correspondiente a la tercera zonación y distribución mensual del factor R según la tercera zonificación–. Las estaciones manejadas fueron un total de 16, que, de acuerdo con su distribución espacial, llevaron a la elaboración del correspondiente mapa de isolíneas de R.

Factor erodibilidad del suelo (K). La información necesaria para la obtención de este factor se tomó de la base de datos FOREDAF, propiedad de la Unidad Docente de Edafología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (UPM), junto con observaciones sobre pedregosidad y estructura realizadas directamente en campo.

Factor topográfico (LS). Este factor se evaluó a partir del mapa de pendientes pre-

viamente elaborado sobre cartografía topográfica disponible a escala 1:100.000 –factor pendiente– y la consideración del tipo de cubierta vegetal, aspecto que la RUSLE incorpora en el cálculo de LS dado que condiciona la posibilidad de aparición de regueros (Renard *et al.*, 1996; Angina *et al.*, 2003). Posteriores trabajos de campo posibilitaron aproximar, para cada uso y pendiente, la longitud de ladera correspondiente.

Factor vegetación (C). En la obtención de este factor se han considerado las dos alternativas diferentes que ofrece la RUSLE, para vegetación variable e invariable en el tiempo. Los datos necesarios se consiguieron a partir de la información base de los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos (escala 1:50.000) y de la ortoimagen espacial (1:100.000), más la información de observaciones en campo y la obtenida directamente de los agricultores.

Factor de prácticas de conservación (P). Este factor presentó poca variabilidad dado que los terrenos forestales no incluyen ninguna práctica de conservación, y las áreas de cultivo se asientan en terrenos prácticamente llanos, por lo que las posibles prácticas de conservación son poco efectivas. La información de partida se obtuvo pareja a la necesaria para el factor C.

Determinados los correspondientes valores de cada uno de los factores que intervienen en la RUSLE, y expresada su variabilidad espacial en los diferentes mapas temáticos (escala 1/100.000), se obtuvo, por superposición de estos últimos con herramienta SIG, las superficies que presentaban un comportamiento homogéneo respecto de sus pérdidas potenciales de suelo. El cálculo de las pérdidas en cada una de estas superficies, y la interpretación de los resultados obtenidos, permitió la zonación y valoración del área de estudio en cuanto a erosión hídrica.

Paralelamente, y buscando la comparación entre resultados finales, fueron obtenidos

a su vez los distintos valores de los factores de acuerdo con la metodología USLE. Con el objeto de poder hacer comparaciones del Factor LS según RUSLE y USLE se ha considerado la misma longitud de ladera, medida en campo y correspondiente a una pendiente y cubierta determinadas, para todos los intervalos de pendientes del estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variabilidad obtenida respecto de los factores integrantes de la RUSLE no ha sido especialmente elevada, más teniendo en cuenta la importante extensión del área de estudio (en torno a 64.000 ha).

En relación con el Factor R, los valores más altos del mismo se sitúan próximos a 200  $\text{h}\cdot\text{cm}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{año}$ , coincidiendo con las localizaciones más elevadas de la vertiente norte del Sistema Central incluidas en el área evaluada. Por otro lado, los valores más bajos, que superaron ligeramente la cifra 50  $\text{h}\cdot\text{cm}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{año}$ , se distribuyen en torno a las localizaciones más continentales, menos influenciadas por las elevaciones serranas y las condiciones de humedad ribereñas. En su variación anual, este factor presenta el 60 % de su valor en torno al período mayo-septiembre, mientras que lo restante se distribuye gradualmente durante el resto del año.

El Factor K presenta sus valores más altos para los materiales coherentes en origen (granitos, gneis y rocas sedimentarias organógenas carbonatadas –calizas y margas–); su meteorización da lugar a texturas con porcentajes de limo y arena muy fina superiores al 30 %, lo que deriva en valores de erodibilidad próximos a 0,23  $\text{t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}/\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{cm}$ . En el otro extremo, los valores mínimos (en torno a 0,05  $\text{t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}/\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{cm}$ ) vienen asociados a materiales de origen diluvial, arenas silíceas eólicas especialmente incoherentes, que ocupan gran parte del territorio noroccidental del área de estudio. Los resultados obtenidos se ajustan a lo esperado, situándose dentro del rango de

los conseguidos por ICONA en 1990 o los aportados por Renard *et al.* (1996).

Respecto del Factor LS, los valores más elevados se obtienen lógicamente para condiciones de pendiente superior al 35 %, especialmente para las localizaciones con pastizal-matorral donde se supera la cifra de 10,0. Por otro lado, los menores valores aparecen en los pinares de silvestre y en la vegetación de ribera, circunstancia que obedece a los reducidos valores que se establecen para estos tipos de uso tanto de longitud de ladera (10 m), como de las relaciones entre la erosión en regueros y entregueros, en las que influyen las características de la cubierta.

El Factor C varía de forma importante entre los terrenos de cultivo y el resto de formaciones forestales. Los cultivos son los que presentan los valores más altos, y dentro de ellos, el cereal-barbecho blanco, que toma valores próximos a 0,500. Para la vegetación sobre terreno forestal, el valor más alto se obtiene en el matorral y en pastizal-matorral donde alcanza un valor de

0,047. La variabilidad temporal de este factor fue considerada sólo para los terrenos de uso agrícola, donde se atendió a su vez al comportamiento estacional de los factores R y K (Gómez *et al.*, 2003).

El conjunto de resultados obtenidos para los distintos factores llevó, como producto de su integración, a la identificación de un total de 123 superficies con comportamiento erosivo similar dentro del área de estudio. Las pérdidas de suelo superiores a 10 t/ha y año, sólo afectan al 5,5 % de la superficie de la cuenca alta del río Cega, estando muy vinculadas a las peculiaridades de dos factores: litología y fisiografía. Estas áreas se corresponden con terrenos carentes de cubierta vegetal efectiva, con suelos edificados sobre margas y calizas yesosas y que presentan pendientes superiores al 35 %.

El resto de la cuenca presenta valores de pérdida de suelo tolerables (Figura 2), de tal forma que en conjunto, para el total del área estudiada, el valor medio se sitúa en torno a 4 t/ha y año, cifra que puede calificarse como baja.

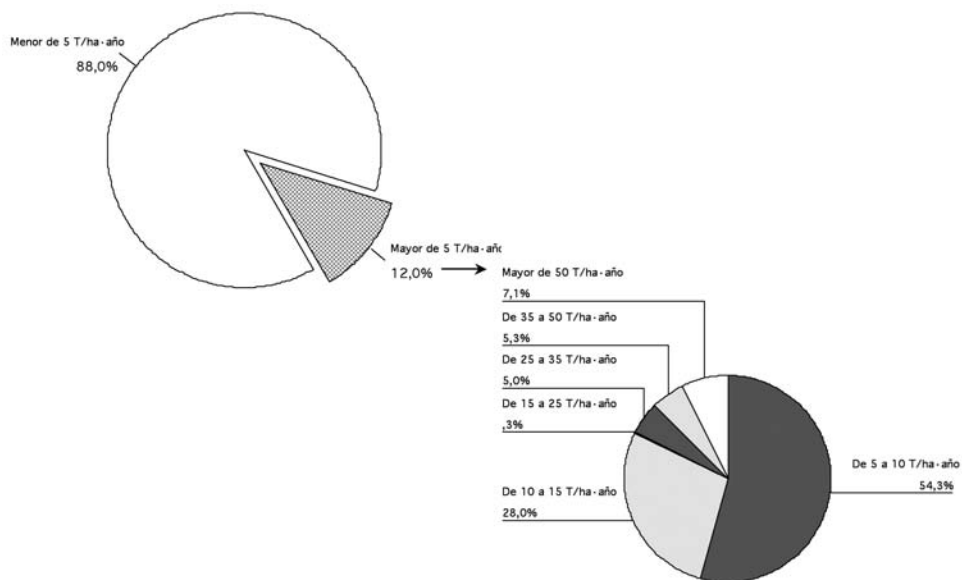


FIGURA 2: Porcentajes de distribución de superficies por pérdidas estimadas de suelo.

TABLA 1: Valores del factor LS en función del uso del suelo y de la pendiente.

Usos del suelo	Longitud de ladera media	Ecuación	Pendiente					
			< 3 %	3 – 9 %	9 – 15 %	15 – 20 %	20 – 35 %	> 35 %
Barbechos sembrado y blanco	100 m	RUSLE	0,50	1,11	2,88	5,14	8,96	11,50
		USLE	0,42	1,25	3,30	6,50	13,00	19,00
Pastizal y labor abandonada	50 m	RUSLE	0,38	0,77	1,79	3,04	5,09	6,43
		USLE	0,35	0,85	2,40	4,50	8,50	12,50
Matorral y encinar	30 m	RUSLE	0,37	0,71	1,62	2,70	4,42	5,53
		USLE	0,29	0,69	1,75	3,50	7,00	10,00
Pastizal - matorral	50 m	RUSLE	0,38	0,77	1,81	3,08	5,15	6,51
		USLE	0,35	0,85	2,40	4,50	8,50	12,50
Sabinar	60 m	RUSLE	0,54	1,17	2,90	4,99	8,34	10,47
		USLE	0,36	0,95	2,50	5,00	9,50	14,00
Fresnedas	20 m	RUSLE	0,35	0,66	1,46	2,39	3,84	4,76
		USLE	0,26	0,55	1,45	2,80	6,00	8,00
Pinar de <i>Pinus pinaster</i>	15 m	RUSLE	0,34	0,63	1,35	2,18	3,44	4,24
		USLE	0,24	0,49	1,60	2,50	5,00	7,50
Pinar de <i>Pinus sylvestris</i>	10 m	RUSLE	0,30	0,52	1,04	1,63	2,50	3,04
		USLE	0,21	0,39	1,05	2,00	4,00	6,00

En la comparativa efectuada entre las metodologías RUSLE y USLE, se aprecia una disminución en las pérdidas de suelo estimadas de la primera respecto de la original USLE, resultados que coinciden con los obtenidos en trabajos similares para la Región de Murcia (DGCONA, 2003). Las principales diferencias observadas entre los resultados obtenidos para los distintos factores se centran en el Factor LS (Tabla 1). Para pendientes del terreno muy suaves las variaciones son muy pequeñas, siendo en estos casos ligeramente superiores en su cálculo con RUSLE. En el otro extremo, para pendientes fuertes, las variaciones son notablemente superiores, alcanzando la USLE valores muy por encima de los obtenidos con RUSLE, siendo en algunos casos próximos al doble. Estos resultados son concordantes con los expresados por trabajos como el de Renschler *et al.* (1999).

Respecto de los otros factores también aparecen contrastes reseñables. Para el Factor K, los resultados obtenidos muestran, como era de esperar, valores inferiores

en la aplicación del modelo RUSLE, dada la información requerida para su cálculo. Así mismo, se han observado diferencias respecto del Factor C (Tabla 2), si bien es cierto que éstas son mínimas (en el caso de los terrenos agrícolas los valores obtenidos son prácticamente los mismos) y sin un patrón definido (para el terreno de uso forestal, las diferencias muestran valores tanto positivos como negativos, aunque pueden considerarse como poco significativas).

### CONCLUSIONES

El trabajo desarrollado ha permitido, en base a la metodología RUSLE, disponer de una útil aproximación a la evaluación de las pérdidas de suelo por erosión hídrica, lo cual constituye información imprescindible para la adecuada gestión hidrológica de la cuenca estudiada.

El estado medio de degradación física de la cuenca alta del río Cega es a día de hoy tolerable, claramente inferior a las 10 t/ha y año. Dentro de los factores que inter-

**TABLA 2:** Valores del factor C para diferentes tipos de cubierta vegetal.

Tipo de cubierta	Ecuación	
	RUSLE	USLE
Labor barbecho semillado (Ls)	0,259	0,270
Labor barbecho blanco (Lb)	0,573	0,556
Pastizal <sub>90</sub> + Labor barbecho blanco (P <sub>90</sub> +Lb)	0,035	0,011
Pastizal (P)	0,035	0,011
Pastizal/Matorral (P/M)	0,047	0,062
Matorral (M)	0,047	0,062
Prados/Fresnedas (Pr/Fr)	0,005	0,003
Encinar (Q)	0,018	0,002
Sabinar (J)	0,007	0,021
Pinar de <i>Pinus pinaster</i> (Ppr)	0,009	0,003
Pinar de <i>Pinus sylvestris</i> (Ps)	0,008	0,003

vienen, aquellos que presentan una mayor trascendencia son los relacionados con las condiciones de cubierta general y la fisiografía local. Afortunadamente, las mayores pendientes se encuentran estabilizadas con cubiertas arbóreas de densidades adecuadas (pinar de pino silvestre, mayoritariamente), por lo que los procesos erosivos son poco intensos. En el otro extremo, los terrenos de cultivo se asientan en las zonas de menor pendiente, circunstancia que hace que las pérdidas por erosión hídrica sean también asumibles, a pesar de la escasa vegetación, de las rotaciones que sobre ella se llevan a cabo, y del carácter incoherente, fácilmente erosionable, de los materiales sobre los que se asientan.

Únicamente, las pérdidas de suelo evaluadas son no tolerables en aquellas localizaciones de pendiente elevada, con materiales de base margosos y carentes de cubierta vegetal en densidad adecuada. En ellas, se hace necesaria una reducción de estas pérdidas, tarea que necesariamente ha de pasar por la instalación de una cubierta vegetal efectiva.

Por último, y en relación al método, la comparativa efectuada ha llevado a la conclusión de que la RUSLE tiende a dar, en general, valores más reducidos de pérdidas de suelo, con las mayores diferencias en las cifras obtenidas para el factor topográfico. El nivel de aproximación de esta metodología a la cuantificación de la degradación física del territorio por erosión hídrica se considera más ajustado y satisfactorio, por lo que es recomendable su utilización en lugar de su antecesora la USLE.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al interés y financiación de la Confederación Hidrográfica del Duero, a la que queremos expresar desde estas líneas nuestro sincero agradecimiento.

## REFERENCIAS

- Angina, S.D., Stott, D.E., O'Neill, M.K., Ong, C.K., Weesies, G.A. (2003). Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97(1-3) 295-308.
- Dirección General de Conservación de la Naturaleza –DGCONA– (2003). Inventario Nacional Erosión Suelos 2002-2012. Región de Murcia 2002. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 195 pp.
- Edwards, K. y Charman, P.E.V. (1980). The future of soil loss prediction in Australia. *J. Soil Conservation*, 211-218.
- Gómez, J.A., Battany, M., Renschler, C.S., Federes, E. (2003). Evaluating the impact of soil management on soil loss in olive orchards. *Soil use and management*, 19(2) 127-134.
- ICONA (1990). Mapa de estados erosivos de la Cuenca del Duero. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid. 96 pp.
- ICONA-INTECSA, (1988). Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Ed. MAPA, Madrid, 39 pp.
- Lozano, F.J., Sánchez Gómez, S.T., Sánchez Garrido, J.A., Pugnaire, F.I. (1998). Water erosion risk in the natural park of Cabo de Gata – Níjar (Almería, Spain). En: *The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures*. Rodríguez Rodríguez, A., Jiménez Mendoza, C.C., Tejedor Salguero, M.L. (Eds.). Geoforma Ediciones (Logroño, España), 77-89.
- Martínez-Casasnovas, J.A. y Sánchez-Bosch, I. (2000). Impact assessment of changes in land use/conservation practices on soil erosion in the Penedès-Anoia vineyard region (NE Spain). *Soil & Tillage Research*, 57(1-2) 101-106.



- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Mc Cool, D.K., Yoder, D.C. (1996). Predicting Soil Erosion by Water: a guide with the Revised Universal Soil loss Equation (RUSLE). Ed. USDA, Agriculture Handbook 703, Tucson (USA), 385 pp.
- Renschler, C.S., Mannaerts, C., Diekkrüger, B. (1999). Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk-rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia, Spain. *Catena* 34, 209-225.
- Roldán, M. y Fernández, J.A. (1993). Application of GIS in the management of watershed with erosive problems. En: Proceedings of the Symposium on Geographics Information Systems and Water Resources. Harlin, J.M. y Lanfear, K.J. (1993). AWRE (Alabama, USA).
- Rosewell, C.J. (1986). Soil prediction in the United States. *J. Soil Conservation*, 42 (2), 133-136.  
 URL: [www.sedlab.olemiss.edu/rusle/](http://www.sedlab.olemiss.edu/rusle/).
- URL: [www.iwr.msu.edu/rusle/](http://www.iwr.msu.edu/rusle/).
- USDA-ARS, (2001). Revised universal soil loss equation. United States Department of agriculture, Agricultural Research service (USDA-ARS). Handbook n° 703, versión 1.06 b. Disponible en: <http://msa.ars.usda.gov/ms/oxford/nsl/rusle/index.html>.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Ed. USDA, Agriculture Handbook 537, Washington, 58 pp.