

AGRICULTURA COMERCIAL FRENTE A AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA. IMPLICACIONES SOBRE LA CALIDAD DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO EN EL VALLE DEL RÍO CAMACHO (SUR DE BOLIVIA)*

Artemi CERDÀ

Departament de Geografia. Universitat de València

1. INTRODUCCIÓN.

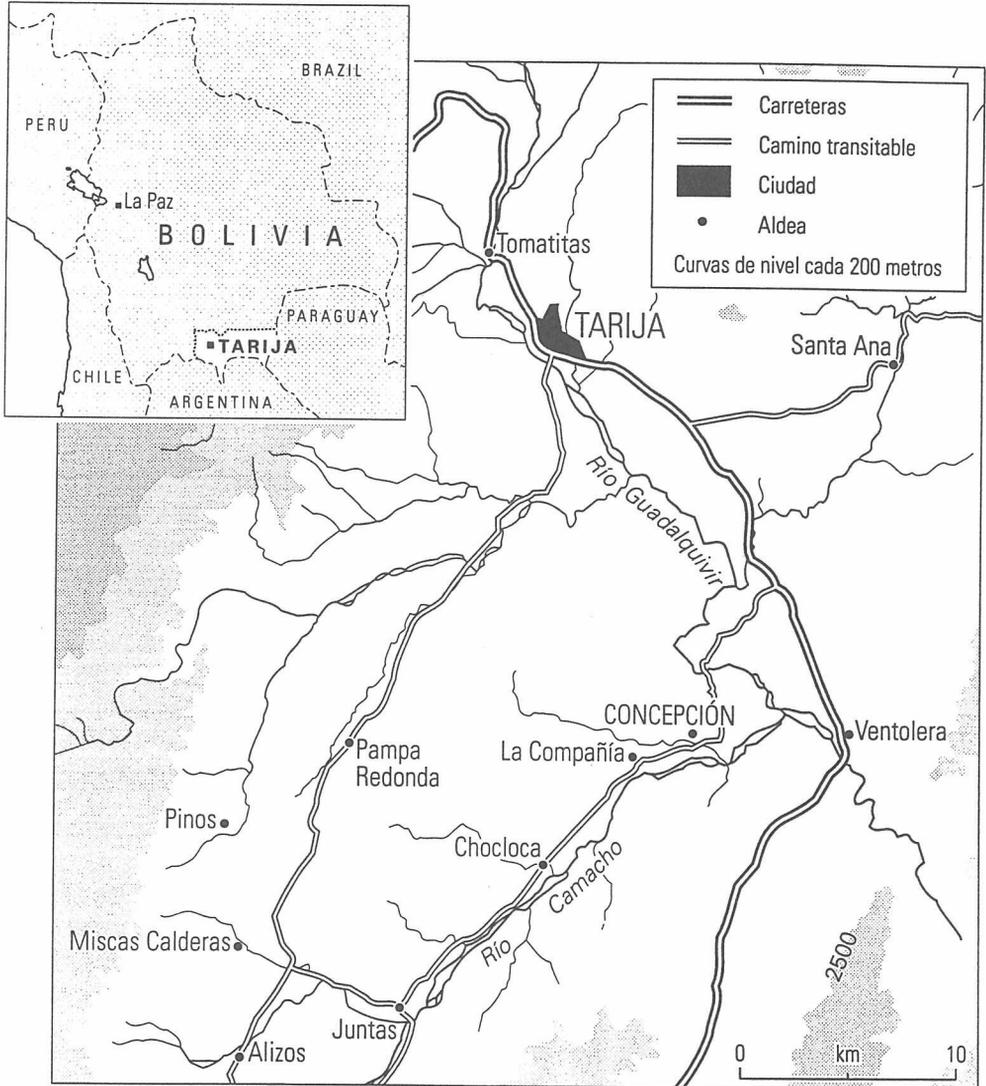
El deterioro ambiental, entendido como la degradación de las condiciones y características del estado clímax o situación potencial de un ecosistema, se inicia en la mayoría de los casos con la alteración del medio edáfico. El uso antrópico del suelo genera cambios en los procesos edáficos que dan lugar a la modificación del balance hídrico y de nutrientes, y con ello a la desestabilización del ecosistema. Uno de los usos que han favorecido la alteración de los medios naturales ha sido la agricultura, ya que además de modificar mecánicamente los suelos, altera su régimen hídrico y produce la incorporación de nutrientes y sales artificialmente.

A pesar de la alteración de los procesos naturales, la compartimentación del paisaje de forma artificial y la pérdida de diversidad biológica, la agricultura puede convertirse en un uso estable, como lo demuestran las culturas milenarias de América y Asia (HILLEL, 1991). Esto es debido a que la agricultura tradicional, al contrario que la moderna, incorpora técnicas de regeneración del suelo.

En este trabajo se compara la sostenibilidad de los usos del suelo en una zona del sur de Bolivia, en la cual hay una clara dicotomía entre la agricultura comercial imperante en las zonas cercanas a la ciudad (Tarija) y las alejadas de ésta, donde es preponderante la agricultura de subsistencia (parte

Agradecimientos: El presente trabajo se ha realizado en el seno del proyecto de investigación de la Unión Europea "Estrategias de los agricultores y sistemas de producción agropecuaria en ambientes frágiles de áreas de montaña en Latinoamérica" (EC contract TS-CT91-0017). Se agradece a David Preston la ayuda prestada antes, durante y después de la estancia en Tarija, y al F.G.B.L. de la Universiteit van Amsterdam -en especial al profesor A. C. Imeson- la colaboración técnica. A. Cerdà agradece al Ministerio de Educación y Ciencia la concesión de una beca postdoctoral en el extranjero (*Doctores y Técnicos*) que le ha permitido participar en este proyecto de investigación. Se agradece a la Profesora Michèle Dupré la traducción al francés del resumen del trabajo.

Figura 1. Localización de la zona de estudio en el sur de Bolivia, Departamento de Tarija.



alta de la cuenca del Río Camacho). Saber que tipo de economía favorece suelos más estables y por lo tanto usos más sostenibles es el objetivo de este estudio.

La calidad de la agregación del suelo y con ello la estabilidad de los agregados es un parámetro identificador y cuantificador de la degradación del suelo. En los agregados del suelo se resumen aspectos como la actividad de la micro o mesofauna, la cubierta vegetal y el grado de antropización del suelo (CERDÀ ET AL., 1994; 1995). Además, la estabilidad de los agregados está directamente relacionada con la capacidad del suelo para absorber y almacenar agua, así como con su grado de erodibilidad (IMESON, 1984, CERDÀ, 1995b). La estructura del suelo es por lo tanto una característica ambiental en la que se reflejan las distintas fases de degradación del medio, ya que es una interfase entre la componente biótica y abiótica del medio edáfico.

Los agregados del suelo se pueden formar a partir de procesos físicos y químicos (ciclos de hielo-deshielo, humectación-deseccación, efecto de las sales, etc.), aunque parece demostrado que es la componente biótica la que desarrolla los agregados más estables. Además de la unión mecánica generada por las raíces y las hifas de los hongos, la mayoría de los microorganismos existentes en el suelo generan sustancias a partir de restos orgánicos que actúan como cementantes, favoreciendo la formación de los agregados. Especialmente en suelos sin protección vegetal, la calidad de la agregación es de gran importancia, ya que exceptuando la pedregosidad, no hay ningún que reduzca la erosionabilidad de la lluvia cómo ocurre con la vegetación. Este es el caso de los suelos cultivados. Si la agregación es pobre, la formación de costras, la reducción de la conductividad hidráulica y el aumento de las pérdidas de agua y suelo se hacen patentes. Con ello la fertilidad del suelo decrece, y los procesos de degradación -en algunos casos desertificación-, junto a la erosión del suelo aparecen en las zonas más frágiles e inestables.

2. ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio está situada al Sur de Bolivia, en la Provincia Avilez del Departamento de Tarija (FIG. 1). Comprende el valle de río Camacho donde están situadas las comunidades de Alisos, Juntas, Colón Norte y Concepción (FIG. 2). Las dos últimas están perfectamente comunicadas con Tarija (100.000 hab.), capital de uno de los nueve Departamentos de Bolivia, mientras que las dos primeras, localizadas en la parte alta de la cuenca del río Camacho, están muy mal comunicadas, incluso durante la estación de lluvias quedan incomunicadas por el propio río.

La cuenca ocupa parte de la faja subandina de la Cordillera Oriental Andina, la cual es fruto de movimientos tectónicos ocurridos durante el Plioceno, y que afectan a bloques individuales del Paleozoico Andino (AHLFELD y BRANISA, 1960). En la parte alta de la cuenca aparecen materiales procedentes del ordovícico, básicamente limonitas, areniscas y cuarcitas. En la parte

baja destacan los depósitos recientes, siendo los sedimentos lacustres los más importantes junto las terrazas fluviales (LIBERMANN, 1993).

El clima se caracteriza por una elevada variabilidad debido a la accidentada topografía: en menos de 40 Km se pasa de alturas superiores a 4000 m.s.n.m. a zonas situadas por debajo de los 1600 m.s.n.m. Esto da lugar a que las precipitaciones varíen entre 1400 mm año⁻¹ en la cabecera y 320 mm año⁻¹ en la desembocadura del Río Camacho. A pesar de la latitud, 21°S, la elevación hace que las temperaturas sean bajas en invierno. La altura y la llegada de los vientos del sur (surazo) favorecen heladas importantes a lo largo del invierno, especialmente en las partes más altas. Las precipitaciones presentan una curva monomodal, siendo el período entre diciembre y marzo el lluvioso. El resto del año las precipitaciones son escasas e insignificantes respecto a los totales anuales.

Tres son las zonas de interés geomorfológico. La zona montañosa, en la que los procesos de erosión son muy dinámicos por la elevada pendiente, el clima y la reciente eliminación de los bosques autóctonos. Los cursos fluviales y abanicos aluviales, de gran actividad por las razones antes expuestas, aportan una gran información de su actividad pleistocena y holocena. Y finalmente la parte baja, donde la acumulación de sedimentos lacustres durante el pleistoceno (MACFADDEN ET AL., 1983), ha generado en la actualidad un paisaje muy erosionado, con la típica morfología de cárcavas o Badlands, destacando la gran actividad de los procesos de tubificación.

Los suelos presentan una elevada variabilidad, aunque en general podemos clasificarlos en función de la zona geomorfológica que ocupen. En los sedimentos lacustres se han formado básicamente regosoles, en las terrazas suelos aluviales y en las zonas montañosas litosoles. En general, el desarrollo edáfico es poco importante debido a las condiciones climáticas y topográficas, y a las elevadas tasas de erosión, sin duda acelerada por la acción antrópica.

La vegetación de la zona corresponde a los Dominios Fitogeográficos Amazónicos y Chaqueño Montano. El primero está representado por las provincias Tucumano-Boliviana (Sur de Bolivia y Norte de Argentina) con dos distritos: bosques de aliso (*Alnus acuminata ssp. acuminata*) y pino de cerro (*Podocarpus parlatorei*), y las selvas de transición con la tipa (*Tipuana tipu*). En la actualidad, esta Vegetación Potencial se encuentra restringida a las zonas más inaccesibles. El dominio Chaqueño-Montano que estuvo representado por bosques de gran envergadura ahora está representado por especies arbustivas pertenecientes a la provincia Chaqueña: Churqui (*Acacia caven*), Chañar (*Geffroea decorticans*) y el Tako o Algarrobo (*Prosopis laevisgata var. andicola*) (LIBERMANN, 1993). Los datos disponibles muestran una aceleración de la deforestación de los bosques climáticos y su sustitución por etapas más pobres después de la llegada de los españoles aunque seguramente la población indígena había alterado ostensiblemente el medio (LIBERMANN y BECK, 1991) como en otras zonas de Latinoamérica (O'HARA ET AL., 1993).

El Valle Central de Tarija fue una zona tradicional de suministro agropecuario y forestal para las zonas mineras de Potosí (GUTIÉRREZ, 1989). El tradicional latifundismo fue roto en 1953 con la ley de Reforma Agraria, siendo redistribuida la tierra entre los campesinos. A partir de ese momento la producción se estructuró en base a la familia campesina, llegándose en este momento a un minifundismo muy desarrollado. En general, el autoabastecimiento, junto al intercambio de productos y un reducido excedente para el mercado domina la economía del medio rural. El nivel de ahorro y de reinversión productiva son muy reducidos.

En las zonas bajas cercanas al núcleo urbano de Tarija, la producción agrícola es más diversa debido al clima más cálido y a la demanda del mercado: Duraznos (Melocotones), Vino y Uva, Maní (Cacahuetes), Ajos y Hortalizas son los productos más importantes, aunque Maíz, Papa (Patata) y Trigo también son frecuentes. En la partes más altas de la cuenca del Río Camacho, alejadas y mal comunicadas con Tarija u otros centros urbanos, Maíz, Papa y algunas plantas forrajeras son las producciones básicas. El matorral de Churquí (*Acacia caven*) es utilizado como forraje, cercas para el ganado, combustible y como regenerador de los campos de cultivo debido a su capacidad de fijación de nitrógeno como todas las leguminosas. La ganadería juega un papel muy importante como complemento alimenticio y seguridad económica. Esencialmente, el ganado es vacuno y caprino, aunque el ovino y el porcino también están presentes.

La agricultura se concentra en las terrazas fluviales, mientras que la ganadería debido a su extensividad afecta a toda la zona, incluso los mismos cultivos después de la recolección. Durante la estación fría y seca se produce una migración de parte de la cabaña vacuna a las tierras más altas en busca de pasto, ya que el agostamiento de las herbáceas es muy acusado en las partes bajas.

3. CUANTIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE LA AGREGACIÓN.

Dentro del valle del Río Camacho se eligieron cuatro comunidades representativas de la zona. Dos pertenecen a las zonas más remotas y aisladas (Alisos y Juntas) y dos a la zona con mejores conexiones con la capital del Departamento (Colón Norte y Concepción). La agricultura presenta estrategias muy distintas en cada caso. Para el estudio, se seleccionaron distintas familias representativas de la realidad socioeconómica de la comunidad (PRESTON, 1993), y dos campos de cultivo por explotación. Además, se han tomado mues tras de unidades de suelo correspondiente a los bosques naturales de Tipa (*Tipuana tipu*), representativos de la vegetación potencial, y de matorral de Churquí (*Acacia caven*), primera etapa de degradación. Siempre se tomaron dos muestras de cada uno de los cultivos más abundantes en cada comunidad (ver TABLA 1 y CERDÀ, 1995a). La muestra del bosque natural se tomó en Tarija, en una cuenca de drenaje lejana a la ciudad, protegida y conservada con el fin de asegurar el abastecimiento de agua de calidad. La

TABLA 1. Muestreo y características de las parcelas.

Comunidad	Aprovech.	Regadío	Laboreo	Pastoreo
Alisos	Maíz	N	N	3
Alisos	Churqui	N	N	3
Juntas	Hierbas	N	N	0
Juntas	Papa	Y	Y	0
Colon Norte	Badland	N	N	3
Concepción	Viña	Y	Y	0
Concepción	Durazno	Y	N	2
Tarija	Veg. pot.	N	N	0

COMUNIDAD a la que pertenece el campo de cultivo; último APROVECHAMIENTO: regadío (Y) o seco (N); LABRADO (Y) o no labrado (N) en el momento del muestreo; a nivel de PASTOREO: sin pastoreo (0), baja intensidad o con rastrojo (1), media intensidad o sin rastrojo (2), y alta intensidad de pastoreo, lo que supone la rotura de las costras superficiales (3)

unidad de suelos correspondiente a Badland es una zona no productiva afectada por un intenso acarcavamiento. Ambientes similares existen en otras zonas semiáridas del mundo, y aunque en ocasiones son fruto de la propia evolución de las cuencas de drenaje, el impacto antrópico está muy relacionado con su desarrollo (BRYAN y YAIR, 1982).

En todos los suelos se seleccionaron por tamizado manual agregados entre 4 y 4,8 mm, eliminándose la pedregosidad. A estos agregados se les aplicaron tres pruebas de laboratorio: test de dispersión desarrollado a partir del diseñado por EMERSON (1967), test por goteo (IMESON y VIS, 1984) y test por Ultrasonidos (CERDÀ, 1993b).

El procedimiento para cada uno de ellos ha sido el siguiente:

- *Dispersión en agua*. Basado en el test de EMERSON (1967). Consiste en sumergir un agregado de 4-4,8 mm, idéntico al utilizado para los otros test en 40 ml de agua destilada. A intervalos de 5 minutos, 2 y 24 horas se hacen observaciones sobre el estado del agregado y se anotan éstas según cinco niveles posibles de dispersión:

0. Ninguna dispersión. Agregado absolutamente integro y estable
1. Dispersión de algunas partículas. Ligero enturbiamiento del agua alrededor del agregado cuando están formados a partir de arcillas.
2. Dispersión de una parte apreciable del agregado, o bien el agregado se divide en varios sub-agregados. El enturbiamiento es evidente en el caso de suelos arcillosos.
3. Dispersión muy elevada. Exceptuando alguna parte del agregado to-

das las partículas se han dispersado.

4. Dispersión total. El agregado está totalmente desmoronado.

En este test se reproduce el comportamiento de los agregados ante el agua, básicamente de la irrigación, durante la cual muchos de los agregados son dispersados. Se aplica el mismo procedimiento a diez agregados.

- Estabilidad ante *impactos de gotas* (IMESON y VIS, 1984). Se precipitan gotas de 1 g desde una altura de 1 m, contabilizándose el número de gotas necesarias para la rotura o dispersión del agregado. Este experimento se repite al menos veinte veces, lo que permite caracterizar cada muestra con una curva de estabilidad para distintos niveles de energía. El test se repite para agregados secos y húmedos (pF1), con el fin de conocer su comportamiento en ambos estados, al inicio y durante la lluvia respectivamente. Con este test se pretende reproducir el proceso natural de destrucción de los agregados por los impactos de las gotas de lluvia.

- *Test por ultrasonidos* (CERDÀ, 1994). En el se mide la resistencia de los agregados ante una energía externa, en este caso la radiación por ultrasonidos. El método consiste en someter a 10 agregados, previamente humectados a pF1, a distintos niveles de radiación tanto de intensidad como de duración. La prueba se realiza sumergiendo la sonda de los ultrasonidos a 10 mm de profundidad en una columna de agua de 40 mm de profundidad (40 ml de volumen), y en la que los agregados se encuentran en el fondo del recipiente. Posteriormente se contabilizan los agregados supervivientes.

En este caso no se pretende reproducir ningún proceso natural, simplemente medir la respuesta de los agregados antes niveles de energía externa en abstracto.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Dispersabilidad en agua destilada.

Directamente relacionados con las técnicas y usos agrícolas están los aprovechamientos, lo que hace que éstos determinen la calidad de la agregación del suelo. Así, algunos aprovechamientos favorecen una mayor dispersabilidad de los agregados debido al regadío y al laboreo, como son los casos del Durazno y Viña. El mismo comportamiento se ha medido en zonas muy degradadas como son los Badlands, aunque no están cultivados en la actualidad. Otros, como los bosques, los prados y el matorral de *Acacia caven*, generan suelos muy estables y con bajas tasas de dispersión. En una situación intermedia encontramos la Papa y el Maíz, todos ellos cultivos menos intensivos que los primeros, pero más que los segundos (TABLA 1).

Se ha medido un incremento de la dispersabilidad con el tiempo en todos los aprovechamiento excepto en los Badlands, donde la dispersión se produce totalmente antes de 5 minutos. También es excepcional el caso de los suelos desarrollados en los bosques de *Tipuana tipu*, donde, incluso después de

24 horas, no se produjo ningún síntoma de dispersión.

4.2. Estabilidad ante impactos de gotas.

También la estabilidad de agregados tiene una elevada dependencia del tipo de aprovechamiento (TABLA 2). Durazno y Badland se muestran como los usos que favorecen estructuras del suelo más frágiles. Viña, Maíz y Papa dan lugar a una situación intermedia; y el matorral, los prados y los bosques, los estados más estables. En los últimos casos los suelos más estables se encuentran en estado húmedo (pF1) mientras que en los primeros la mayor estabilidad se alcanza en seco.

Lo anterior es debido a que en los suelos menos alterados tienen mayor porosidad y materia orgánica, siendo las fuerzas de cohesión entre partículas más altas (TISDALL y OADES, 1982). Cuando se produce el impacto de las gotas se crea un frente de penetración del agua que genera una bolsa de aire entrampado en el centro del agregado, sobre el cual aumenta la presión a cada impacto de gota. Esto produce la rotura del agregado súbitamente mediante lo que algunos autores han denominado "explosión" del agregado. Por el contrario, cuando el test se realiza en húmedo, el proceso de compresión del aire entrampado no se produce y el agregado se desmorona lentamente o bien permanece inalterado. Esta dinámica es la que se ha encontrado en los suelos de matorral, prado y bosque, y la contraria en los suelos no productivos de los badlands, en el Maíz, Viña, Papa y Durazno, es decir los suelos agrícolas.

Como muestra la FIGURA 2, hay una clara relación negativa entre la dispersabilidad y la estabilidad de los agregados. Esto es debido a que el proceso de dispersión es uno de las claves en la explicación de la estabilidad de los agregados. De esta misma figura se desprende que los aprovechamientos agrícolas determinan la calidad y la estabilidad de los agregados. Así, los suelos que sufren mayores roturaciones, un cierto abuso de fertilizantes químicos y regadío (Durazno y Viña) y los situaciones de degradación total (Badlands) presenta agregados de rápida dispersión y baja estabilidad. El caso del Churqui, la Hierba y la Vegetación Potencial ocupan el polo opuesto (baja dispersión y alta estabilidad), y finalmente el Maíz y la Papa corresponden a situaciones intermedias.

4.3. Estabilidad ante distintos niveles de ultrasonidos.

Se repiten resultados similares a los vistos anteriormente en el test mediante impactos de gota. Laboreo y regadío, parece que son los factores que condicionan de forma más clara la influencia del aprovechamiento sobre la calidad de la agregación. La relación entre los distintos aprovechamientos es la siguiente:

Badland < Durazno < Viña < Maíz < Papa < Matorral < Prado < Bosque (TABLA 3).

Tabla 2. Dispersabilidad de los agregados ante el agua destilada de muestras procedentes de distintos aprovechamientos agrícolas existentes en el valle del Río Camacho.

Muestra	Maíz			Matorral			Prado			Papa			
	Minut.	5	120	1440	5	120	1440	5	120	1440	5	120	1440
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
3	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
4	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
6	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
7	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	2
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	1	1	2
Med.	0,2	0,4	0,8	0	0	0,1	0,1	0,5	0,6	0,2	0,6	1,4	
Máx.	1	2	2	0	0	1	1	2	2	1	2	3	
Mín.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Muestra	Badland			Viña			Durazno			Bosque			
	Minut.	5	120	1440	5	120	1440	5	120	1440	5	120	1440
1	4	4	4	3	4	4	3	4	4	0	0	0	0
2	4	4	4	3	3	4	3	3	4	0	0	0	0
3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	0	0	0	0
4	4	4	4	3	3	4	3	3	4	0	0	0	0
5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0
6	4	4	4	3	4	4	3	4	4	0	0	0	0
7	4	4	4	3	4	4	3	4	4	0	0	0	0
8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0
9	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0
10	4	4	4	3	3	4	3	3	4	0	0	0	0
Med.	4	4	4	3,3	3,7	4	3,4	3,7	4	0	0	0	0
Máx.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0
Mín.	4	4	4	3	3	4	3	3	4	0	0	0	0

Aprovechamientos: Duraznos, Badland (no productivo), Viña, Maíz, Papa, Matorral de Churqui (*Acacia caven*), Prado y Bosque (*Tipuana tipu*).

Se distingue entre el grado de dispersión (índice de 0 a 4) a intervalos de 5 minutos, 2 horas y 24 horas.

Se presenta los valores medios de los parámetros: media, mínima y máxima de las diez mediciones realizadas en cada una de las muestras.

En otros trabajos se ha confirmado la relación entre los dos métodos: dispersión por impactos de gota y por ultrasonidos (CERDÀ, 1994). Las pequeñas diferencias existentes responden a que en el segundo caso el experimento se realiza en un medio acuoso y no se repite el proceso de impactos de gotas como sucede en la naturaleza. Posteriores estudios pueden realizarse con el test más sencillo y rápido (impactos de gotas) ya que las diferencias con el de ultrasonidos es poco importante. Por otra parte, el test con ultrasonidos informa de la respuesta del suelo ante distintos niveles de energía, lo cual es interesante para conocer la existencia de posibles umbrales a partir de los cuales los suelos son menos estables.

Tabla 3. *Estabilidad de los agregados ante impactos de gotas distinguiendo entre los distintos aprovechamientos existentes en el valle del Río Camacho.*

Muestra	Maíz		Matorral		Prado		Papa	
Hum.	SEC	pF1	SEC	pF1	SEC	pF1	SEC	pF1
Med.	53,7	52,6	111	116	124,5	130,7	24,75	13,6
Máx.	200	200	200	200	200	200	59	45
Mín.	10	10	15	15	29	20	8	4
Total	1073	1052	2225	2319	2489	2614	495	272

Muestra	Badland		Viña		Durazno		Bosque	
Hum.	SEC	pF1	SEC	pF1	SEC	pF1	SEC	pF1
Med.	9,55	4	5,8	5,5	12,1	7,1	182	199
Máx.	50	7	14	11	24	14	200	200
Mín.	3	1	2	1	4	3	30	180
Total	191	80	116	110	242	142	3639	3998

Aprovechamientos: Duraznos, Badland (no productivo), Viña, Maíz, Papa, Matorral de Churqui (*Acacia caven*), Prado y Bosque (*Tipuana tipu*).

Se distingue entre el estado en seco (SEC) y húmedo a pF1 de los agregados (húmedo).

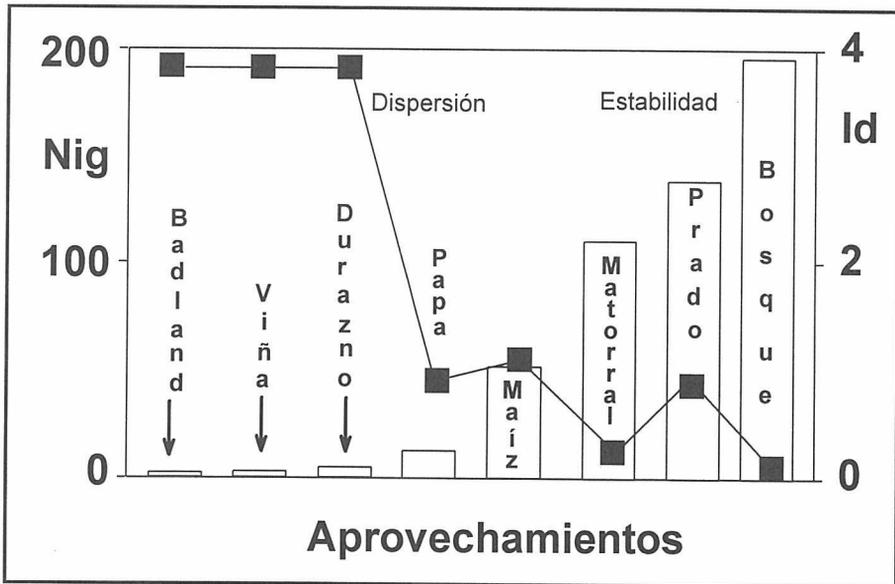
Se presenta los valores medios de los parámetros: media, mínima, máxima, y el número total de gotas necesario para romper los 20 agregados utilizados en el test.

5. APROVECHAMIENTO AGRARIO Y AGREGACIÓN DEL SUELO.

Parece obvio que los cultivos más abundantes en la parte alta de la cuenca del Río Camacho, aquellos destinados a la subsistencia (Matorral de Churqui, Maíz, Prado, y Papa), son más sostenibles que los existentes en la parte

baja del mismo valle (Durazno y Viña). En los últimos casos, el cultivo se está orientando cada vez más al mercado, con explotaciones mecanizadas y cultivos de regadío, y la introducción de fertilizantes químicos. Los aprovechamientos agrarios existentes en la parte alta del valle, Alisos y Juntas, corresponden a los existentes hace varios siglos. Incluso, las técnicas han cambiado poco: siembra a mano o con animales de tiro, regadío muy primitivo, uso de abonos de origen animal, etc.

Figura 2. Estabilidad de los agregados y dispersabilidad de los agregados según los distintos aprovechamientos agrícolas existentes en el valle del Río Camacho.



(estabilidad) Nig: número medio de impactos de gota para dispersar un agregado
 (dispersabilidad) Id: índice de Emerson modificado, de 0 a 4.

En Colón Norte y Concepción, muy cercanas a la capital, la introducción de nuevos aprovechamientos (frutales y hortalizas, etc.) está propiciando el desarrollo de técnicas más agresivas: mecanización, fertilizantes químicos, laboreo exhaustivo, regadío muy desarrollado, etc., y con ello suelos más inestables.

Sin duda la mayor estabilidad de los suelos en la parte alta del valle se debe a este distinto manejo, si bien en ello puede tener cierta importancia el clima más húmedo en la parte alta como se ha comprobado en otros gradientes climáticos (BOIX ET AL., 1994). A pesar de estas diferencias respecto a la situación potencial, también la agricultura tradicional supone la alteración de los suelos y de su estructura. Papa y Maíz muestran una elevada dispersabilidad y baja estabilidad de agregados en relación con las zonas naturales (bosque de *Tipuana tipu*) y las seminaturales (Matorral de *Acacia caven* y Prados). Sin embargo, estas dos cultivos ancestrales en la región andina (Papa y Maíz) muestran una mejor respuesta ante el cultivo. Además de técnicas menos agresivas, abonado con fertilizantes naturales, etc., es de destacar la rotación con matorral de Churquí que puede ser la clave de la mayor sostenibilidad de estos cultivos. El Churquí favorece la regeneración de la estructura del suelo durante los años de barbecho y la fijación de nitrógeno atmosférico, mejorando la fertilidad del suelo.

La incorporación de materia orgánica de origen animal, es otra de las claves en la mejora de la estabilidad de los suelos. Ello es debido a que este es el factor esencial en el mantenimiento de una actividad microbiana importante y que las sustancias cementantes no desaparezcan (OADES, 1993; ZHANG, 1994). Además la materia orgánica, en un clima semiárido como el del Valle del Río Camacho es esencial para compensar la elevada tasa de mineralización.

A pesar de que el sobrepastoreo es predominante en la parte alta de la cuenca, solo se han encontrado efectos negativos sobre la agregación en puntos muy concretos, siendo menos negativo que el cultivo. Ello a pesar de que el pastoreo, sobretodo cuando supera la capacidad del ecosistema que lo sostiene es uno de los factores más negativos para el suelo y su estructura (WARREN ET AL., 1986; WOOD Y BLACKBURN, 1981). Por otra parte, el pastoreo afecta prácticamente a toda la cuenca, especialmente a las zonas que suministran la mayor cantidad de sedimentos (parte alta de la cuenca) mientras que el regadío se concentra en los suelos aluviales, en un espacio muy reducido. Es el eterno dilema de concentrar o diluir el problema.

El problema aquí debatido está relacionado directamente con la alta tasa de natalidad existente en Bolivia. Si ésta se mantiene, el aumento de la superficie de cultivo junto a la mayor intensificación de la producción agraria se hará imprescindible. Ello conducirá a cambios en la respuesta hidrológica y erosiva de los suelos debido a la alteración de la vegetación y los suelos y su estructura (WOODWARD, 1993), lo que seguramente propiciará la modificación del régimen hídrico de los ríos y de las tasas de erosión.

6. CONCLUSIONES.

Los cultivos tradicionales, sus técnicas y métodos -preindustriales- y las zonas naturales o seminaturales son las que mantienen suelos con estructuras más estables. Son por lo tanto sostenibles a largo plazo a pesar de la ganade-

ría extensiva. En cambio, la agricultura intensiva, basada en fertilizantes químicos, regadío y mecanización, dan lugar a una fuerte alteración de la agregación del suelo. Son por lo tanto menos sostenibles que los primeros.

De destacar es la elevada estabilidad de los suelos encontrados con matorral de Churqui, el cual además de suministrar forraje, combustible, etc, regenera el suelo y facilita la sostenibilidad de los cultivos de Maíz y Papa en la parte alta de la cuenca del Río Camacho.

Tabla 4. Resultado del test de dispersión por ultrasonidos.

MU	Bad.	Dur.	Viña	Maíz	Papa	Mat.	Prado	Bosque
Vatios								
30	0	2	2	6	9	10	7	10
35	0	2	1	5	8	10	6	10
40	0	1	0	5	8	10	5	10
45	0	1	0	4	7	9	4	10
50	0	1	0	5	8	8	5	10
55	0	0	0	4	6	8	4	9
60	0	0	0	3	7	9	3	9
65	0	0	0	4	5	7	3	8
70	0	0	0	2	4	8	2	9
75	0	0	0	3	3	7	1	8
80	0	0	0	2	2	6	1	8
85	0	0	0	1	3	7	0	7
90	0	0	0	1	2	5	0	6
95	0	0	0	0	2	4	0	5
100	0	0	0	0	1	4	0	6
105	0	0	0	0	0	3	0	5
110	0	0	0	0	0	2	0	4
115	0	0	0	0	0	1	0	3
Med.	0,00	0,39	0,17	2,50	4,17	6,56	2,28	7,61
Máx.	0	2	2	6	9	10	7	10
Mín.	0	0	0	0	0	1	0	3
Total	0	7	3	45	75	118	41	137

Número de agregados supervivientes a distintos niveles de energía aplicada (entre 30 y 105 vatios).

El test se aplicaba en cada prueba a 10 agregados de un tamaño entre 4 y 4,8 mm

7. BIBLIOGRAFÍA

- AHLFELD, F.; BRANISA, L. (1960): *Geología de Bolivia*. La Paz, Don Bosco.

- BOIX, C.; CALVO, A.; SORIANO, M.D.; TIEMESSEN, I.R. (1994): "Variabilidad espacio-temporal de la agregación de los suelos en laderas mediterráneas". En J. ARNÁEZ; GARCÍA-RUIZ, J.M.; GÓMEZ VILLAR, A. (Eds.): *Geomorfología de España*, 289-302.
- BRYAN, R.; YAIR, A. (1982): *Badland geomorphology and piping*. University Press, Cambridge, 409 pp.
- CERDÀ, A. (1993a): "Estabilidad de agregados en suelos degradados". *Nuevos procesos territoriales*, 187-192.
- CERDÀ, A. (1993b): "Incendios forestales y estabilidad de agregados". *Cuadernos de Geografía*, 53, 1-16.
- CERDÀ, A. (1994): "Aplicación del test de la gotas y de la dispersión por ultrasonidos para la determinación de la estabilidad de los agregados en suelos sobre calizas afectados por fuego". *Cuaternario y Geomorfología*, 8, 69-85.
- CERDÀ, A. (1995a): *Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos*. Editorial Geoforma. Logroño, 151 pp.
- CERDÀ, A. (1995b): "Efectos del manejo sobre la estabilidad de los agregados del suelo en el Valle del Río Camacho, Sur de Bolivia". Informe del proyecto: *Estrategias de los agricultores y sistemas de producción agropecuaria en ambientes frágiles de áreas de montaña en Latinoamérica*, 60 pp.
- CERDÀ, A.; GARCÍA-ÁLVAREZ, A.; CAMMERAAT, L.H.; IMESON, A.C. (1994): "Agregación del suelo en una catena afectada por el abandono del cultivo en la cuenca del Guadalentín (Murcia). I. Estabilidad y distribución de los agregados del suelo". En GARCÍA RUIZ, J.M.; LASANTA, T. (Eds): *Consecuencias Geomorfológicas del abandono de tierras*, 9-19.
- CERDÀ, A.; GARCÍA-ÁLVAREZ, A.; CAMMERAAT, L.H.; IMESON, A.C. (1995): "Agregación del suelo en una catena afectada por el abandono del cultivo en la cuenca del Guadalentín (Murcia). II. Fluctuación estacional y dinámica microbiana". *Pirineos*, 145-146, 3-11.
- EMERSON, W.W. (1967): "A classification of soil aggregates based on their coherence in water". *Aust. J. Soil. Res.*, 5, 47-57.
- GUTIÉRREZ, J. (1989): *Tenencia y uso de la tierra en el departamento de Tarija*. La paz. Talleres CEDLA, 7, 245 pp.
- HILLEL, D. (1991): *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. University of California Press, 321 pp.
- IMESON, A.C. (1984): "An eco-geomorphological approach to the soil degradation and erosion problem". En FANTECHI, R.; MARGARIS, N.S. (Eds.): *Desertification in Europe*, 110-125.
- IMESON, A.C.; VIS, M. (1984): "Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion". *Geoderma*, 34, 185-200.
- LIBERMANN, M. (1993): *Informe de la vegetación y el uso de la tierra en Juntas, Tarija, Bolivia*. Documento de trabajo 93/03.
- LIBERMANN M.; BECK, S. (1991): *Estado actual de los bosques en la cuenca del Río Camacho, Dpto, de Tarija, Bolivia*. Informe interno Instituto

de Ecología - PERTT. 20 pp. La Paz.

- MCFADDEN, B.J.; SILES, B.J.; ZEITLER, P.; JOHNSON, N.M.; CAMPBELL, K.E. (1983): "Magnetic polarity stratigraphy of the Middle Pleistocene (Ensenadan) Tarija formation of southern Bolivia". *Quaternary Research*, 19: 172-187.

- O'HARA, S.L.; STREET-PERROT, F.A.; BURT, T.P. (1993): "Accelerated soil erosion around a Mexican highland lake caused by prehispanic agriculture". *Nature*, 362: 48-51.

- OADES, J.M. (1993): "The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure". *Geoderma*, 56, 377-400.

- PRESTON, D. (1993): *Informe preliminar socioeconómico del Valle del Camacho*. Documento de trabajo 93/03 26 p + mapa.

- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. (1982): "Organic matter and water-stable aggregates in soils". *Journal of Soil Science*, 33, 141-163.

- WARREN, S.D.; THUROW, T.L.; BLACKBURN, W.H.; GARZA, N.E. (1986): "The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hydrologic characteristics". *Journal of Range Management*, 39 (6) 491-495.

- WOOD, M.K.; BLACKBURN, W.H. (1981): "Grazing systems: their influence on infiltration rates in the rolling plains of Texas". *Journal of Range Management*, 34 (4) 331-35.

- WOODWARD, J. (1994): *Some soil characteristics of a subandean agricultural system: the Alizos valley, Bolivia*. Documento de trabajo 94/02.

- ZHANG, H. (1994): "Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates". *Soil and Tillage Research*, 31, 263-275.

RESUMEN: La calidad de la agregación del suelo es un parámetro identificador y cuantificador de la degradación del suelo, ya que constituye una interfase entre la componente biótica y abiótica del medio edáfico. En la formación de los agregados influyen factores como la micro y mesofauna, la cubierta vegetal y los usos del suelo. Además, la estructura del suelo está directamente relacionada con la capacidad del suelo para absorber y almacenar agua, así como con su grado de erodibilidad. Esto hace de la estabilidad de los agregados un parámetro sintético del grado de estabilidad del ecosistema. Mediante experimentos en laboratorio (impactos de gotas, ultrasonidos y dispersión en agua destilada) se mide la estabilidad de los agregados en distintos suelos agrícolas y naturales en la cuenca del Río Camacho, al sur de Bolivia. Los factores que afectan la estabilidad de los suelos están directamente relacionados con los aprovechamientos agrícolas. Los suelos menos alterados se encuentran en los prados, en el matorral de Churqui (*Acacia caven*) y en los bosques de Tipa (*Tipuana tipu*). Los cultivos tradicionales -maíz y patata- dan lugar a suelos menos estables, siendo los más degradados los que mantienen un laboreo intensivo y regadío: vid y frutales. Se concluye que los cultivos de carácter preindustrial propician usos del suelo más sostenibles que los aprovechamientos intensivos típicos de la sociedad industrial, la cual todavía es muy incipiente en Bolivia.

PALABRAS CLAVE: Agregación del suelo, estabilidad de los agregados, agricultura, usos del suelo, test de laboratorio, sostenibilidad

ABSTRACT: The quality of soil aggregation is a parameter that identify and quantify the land degradation because it constitute a interface between the biotic and non-biotic components of the soil environment. Soil aggregates are determined by factors as micro and meso-fauna, the vegetation cover and the land use. Moreover, the soil structure are directly related with the soil capacity to absorb and water storage, as with the degree of erodibility. This make the aggregate stability a synthetic parameter of the degree of the ecosystem stability. By means of laboratory experiments (drop impacts, ultrasounds and distilled water dispersion) the aggregate stability on different natural and ploughed soil are measured in the watershed of the River Camacho, south of Bolivia. The factors that control the soil stability are directly related with the agrarian exploitation. The less degraded soils are located on the grassland, on the scrubland of Churqui (*Acacia caven*) and on the woodland of Tipa (*Tipuana tipu*). The traditional crops -maize and potato- results in less stable soils, being the more unstable this ones under very intense tilling and irrigation: vineyard and fruit trees. It is conclude that the crops of pre-industrial condition results in land uses more sustainable than the intensive land uses of the industrial society, which is still very incipient in Bolivia.

KEY WORDS: Soil aggregation, aggregate stability, agriculture, land uses, laboratory test, suitanibility

RÉSUMÉ: La qualité de l'agrégation du sol est un paramètre d'identification et de quantification de la dégradation du sol étant donné qu'elle constitue une phase intermédiaire entre les composants biotiques et abiotiques du milieu édaphique. Des facteurs tels que la micro et mésofaune, la couverture végétale et les utilisations du sol influent sur la formation des agrégats. De plus, la structure du sol est directement liée à sa capacité pour absorber et retenir l'eau, ainsi qu'à son degré d'érosion. Pour cela, la stabilité des agrégats est un paramètre synthétique du degré de stabilité de l'écosystème. Grâce à des expériences en laboratoire (impact des gouttes, ultrasons et dispersion en eau distillée), l'on mesure la stabilité des agrégats de différents sols agricoles et naturels dans le bassin de Río Camacho, au sud de la Bolivie. Les facteurs qui affectent la stabilité des sols sont directement rattachés aux usages agricoles. Les sols moins altérés correspondent aux prés, à la végétation arbustive de Churqui (*Acacia caven*) et aux bois de Tipa (*Tipuana tipu*). Les cultures traditionnelles -maïs et pomme de terre- donnent lieu à des sols moins stables, les plus dégradés étant ceux qui maintiennent un labourage intensif et irrigation: vigne et arbres fruitiers. L'on en déduit que les cultures de caractère preindustrielle permettent des usages du sol plus soutenables que les explitations intensives typiques de la société industrielle, qui en est encore à son tout début en Bolivie.

MOTS CLÉS: Agrégation du sol, stabilité des agrégats, agriculture, utilisation du sol, test de laboratoire, soutenable