

Ecología en Bolivia, N° 12, noviembre 1988, 17-28

MEDICIONES REFERENTES A LA EROSION DE SUELOS EN LA REGION DEL NORTE BOLIVIANO

por Wolfgang Schlingmann

Prefacio

Desde febrero de 1982, se vienen efectuando mediciones, referentes a la erosión del suelo, en diferentes altitudes de la Cordillera Real de los Andes bolivianos. Estos estudios constituyen una parte del proyecto de investigación interdisciplinaria, que la Sociedad Alemana de Investigación (DFG) realiza bajo la dirección de los Profs. Dr. P. Seibert (Muenchen) y el Dr. W. Lauer (Bonn).

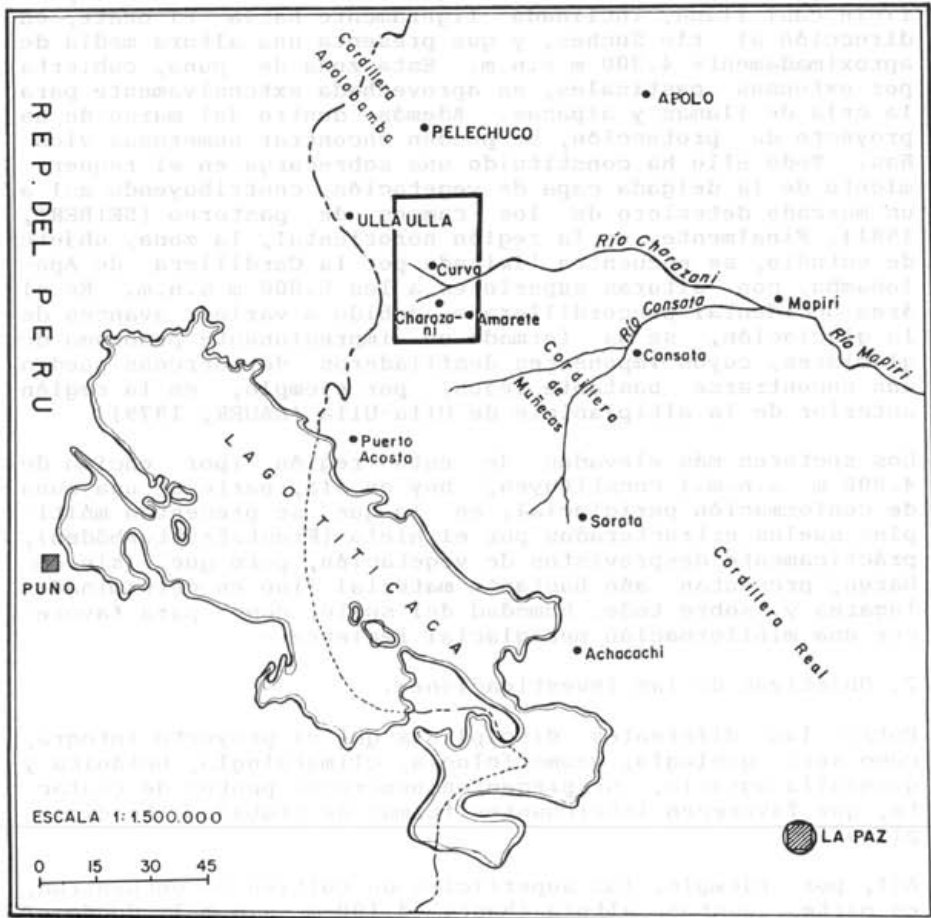


Fig. 1: Ubicación del área de estudio.

1. La zona de estudio.

Morfológicamente, la zona investigada (ver fig. 1) incluye tres diferentes ecoregiones: por una parte, están los valles enclavados profundamente en la región montañosa de la provincia Muñecas, cuyos ríos corren hacia el este. Dentro de este sector, los pisos que se encuentran por encima del límite de bosque (aprox. 2.700 m s.n.m.) pertenecen, en forma específica, al área investigada.

En las terrazas, artísticamente construidas, los indígenas de la región efectúan labores agrícolas de carácter intensivo y con rasgos fuertemente tradicionales, hasta una altura aproximada de 3.800 m s.n.m. En las cabeceras de valle va creciendo más y más el pastoreo exclusivo de animales (llamas, alpacas, ovejas).

En la región oeste y noroeste, la altiplanicie de Ulla-Ulla forma parte del sector investigado. Se trata de una superficie casi llana, inclinada ligeramente hacia el oeste, en dirección al río Suches, y que presenta una altura media de aproximadamente 4.300 m s.n.m. Esta zona de puna, cubierta por extensos pastizales, es aprovechada extensivamente para la cría de llamas y alpacas. Además, dentro del marco de un proyecto de protección, se pueden encontrar numerosas vicuñas. Todo ello ha constituido una sobrecarga en el requerimiento de la delgada capa de vegetación, contribuyendo así a un marcado deterioro de los campos de pastoreo (SEIBERT, 1981). Finalmente, en la región nororiental, la zona, objeto de estudio, se encuentra limitada por la Cordillera de Apolobamba, con alturas superiores a los 5.000 m s.n.m. En el área occidental precordillerana, debido a varios avances de la glaciación, se ha formado un impresionante panorama de glaciares, cuyos imponentes desfiladeros de morrenas pueden aún encontrarse bastante lejos, por ejemplo, en la región anterior de la altiplanicie de Ulla-Ulla (LAUER, 1979).

Los sectores más elevados de esta región (por encima de 4.800 m s.n.m.) constituyen, hoy en día, parte de una zona de conformación periglacial, en la que se presentan múltiples suelos estructurados por el hielo (Froststrukturböden), prácticamente desprovistos de vegetación, pero que, sin embargo, presentan aún bastante material fino en determinados lugares y, sobre todo, humedad del suelo, como para favorecer una miniformación periglacial reciente.

2. Objetivos de las investigaciones.

Entre las diferentes disciplinas que el proyecto integra, como ser: geología, geomorfología, climatología, botánica y geografía agraria, se presentan numerosos puntos de contacto, que favorecen interesantes formas de trabajo interdisciplinario.

Así, por ejemplo, las superficies de cultivo se encuentran, en parte, a gran altura (hasta 4.100 m s.n.m.), donde el engranaje del aprovechamiento resalta con peculiar claridad. De aquí resulta imprescindible ganar conocimientos de la morfodinámica exógena de esta altitud, para poder evaluar, diferenciadamente, la estructura agraria. Se efectúan experimentos relacionados con la erosión de suelos a diferentes

altitudes, a fin de llegar a determinar índices de erosión, de expansión y avance de los fenómenos de soliflucción.

Más allá de los límites de cultivo se presentan, también, numerosos puntos de contacto con los demás grupos de trabajo. Al respecto, puede mencionarse, como ejemplo, el amplio sobrepastoreo en toda el área de investigación. El daño inferido a la capa de pastizales por la pisada del ganado y una mascada fuerte, puede considerarse como factor inicial para el desarrollo de las formas de soliflucción. El examen de estas manifestaciones "casi naturales" (MORTENSEN, 1954) no sólo constituye un interesante problema geomorfológico sino también adquiere gran interés, en cuanto a los enunciados cuantitativos de los especialistas en geografía agraria y botánica, acerca de la sobrecarga del potencial natural.

De igual manera, el fenómeno de la parcial destrucción del césped (Rasenschälen, turf exfoliation, TROLL, 1973) se presta para estudiar la interacción de los factores naturales y antropogénicos, por ejemplo, a través del efecto combinado del ganado y la soliflucción por el hielo, congelamiento en forma de peine (Kammeis), ver fig. 2.



Fig. 2: Destrucción del césped: Acción combinada de la pisada del ganado y la soliflucción por congelamiento.

Simultáneamente, mediante el trabajo en equipo de los especialistas en suelo y de los botánicos del proyecto, deben examinarse las interrelaciones entre la densidad de la vegetación y las heladas a ras de suelo. ¿Será que un manto denso de vegetación actúa como un aislante del calor, debilitando el efecto de la helada hacia el interior del suelo? ¿O bien ofrece justamente condiciones favorables para la acción de las heladas a ras de suelo, porque cohesiona partículas más finas, favoreciendo así la formación de suelos ricos en material fino que retienen el agua?

Para garantizar la colaboración interdisciplinaria, mencionada arriba a través de algunos ejemplos, se realizan exámenes morfológicos, sobre todo en la secuencia de lugares fijados por los demás grupos de trabajo. Esto es, igualmente, válido para las mediciones climáticas en diferentes niveles de altitud (LAUER, 1984), en las cuales participó el autor para complementar los experimentos referentes a la erosión. Al respecto, tienen mucha importancia, sobre todo, las mediciones de la temperatura del suelo a diferentes horas del día y durante el transcurso del año, lo mismo que la captación de datos relativos a las precipitaciones y condiciones de la humedad del suelo. Por otra parte, en razón al pronunciado fenómeno del viento, propio de los valles del área del proyecto (LAUER, 1979, 1984), se puede pensar en una posible influencia que ejerce el viento en los procesos de erosión. Es por este motivo que se efectúan mediciones del viento, en forma regular.

De esta manera, el área de estudio ofrece condiciones ideales para la realización de investigaciones interdisciplinarias en el marco de la totalidad del proyecto, cuyo objetivo es captar, en lo posible completamente, todas las complejas interrelaciones físico-geográficas y antropogénicas.

3. Mediciones referentes a la erosión del suelo.

A los objetivos arriba formulados, se subordinan también los estudios de la erosión. Los experimentos se efectúan en los niveles de altitud más importantes:

- 1) en el área nuclear del nivel de actividad agrícola, 2.700 a 3.800 m s.n.m.
- 2) en la región del nivel de pastoreo, entre los 4.100 y 4.500 m s.n.m.
- 3) en el nivel de altura periglacial, por encima de los 4.800 m s.n.m.

Tanto en el piso de cultivo como también en el de pastoreo, se han dispuesto, desde febrero de 1982, numerosas parcelas de experimentación, a fin de captar cuantitativamente (si fuera posible) la magnitud de la erosión del suelo, eligiéndose la ubicación de las superficies de experimentación, de tal manera que pueda llegarse a conclusiones sobre la erosión, tomando en cuenta la dependencia de:

- el gradiente y la exposición.
- el grado de aprovechamiento en campos cultivados o en barbecho.
- los productos agrícolas cultivados: papa, maíz, oca, etc.
- las formas de preparar la tierra: uso de la "t'aclla", instrumento indígena para cavar, o el arado de madera.

Las mediciones en el área correspondiente al nivel de pastoreo, se concentran en una región con numerosos valles, en alturas de 4.100 hasta 4.500 m; la conformación del relieve de la región favorece el establecimiento de parcelas de experimentación, incluyendo laderas de diferente exposición y gradiente.

Un tercer punto, esencial en las investigaciones, corresponde al nivel de altitud periglacial, que se inicia por encima de los 4.800 m s.n.m. y se encuentra limitado hacia arriba por los glaciares de la Cordillera de Apolobamba. Entre otros, se efectúan allí diversos experimentos tendientes al estudio de los movimientos del suelo, acerca de los cuales se informará posteriormente.

3.1 Explicación referente a la metodología de las mediciones

El establecimiento de superficies de experimentación, en los diferentes niveles de altitud, demostró ser al comienzo algo muy problemático, debido al escepticismo, absolutamente comprensible, de los indígenas, frente a estos ensayos. De ahí que fue preciso, primeramente, convencer a la población de la finalidad del proyecto. Sin embargo, muchos no pudieron resistir a la tentación que constituían las estacas de madera, clavadas en los terrenos de esta región, tan pobre en este material.

No obstante, poco a poco se fueron superando estas dificultades iniciales y desde que fue dado a conocer que, una vez concluidas las investigaciones, las varillas de medición estarían a la disposición de quienes quisieran usarlas como combustible, apenas si volvieron a desaparecer algunas.

Como se ve, en nuestro sector de trabajo tiene que recurrirse a métodos más sencillos, si se quiere llegar a un resultado. También el aislamiento de la región constituyó un factor decisivo, en la elección de los procedimientos de medición.

El estudio cuantitativo de los procesos de erosión se efectúa con estacas de madera enterradas, parcialmente, en el suelo. Se trata de varillas de 1 cm de diámetro, que llevan, en su extremo superior, una marca de color. En el piso de cultivos su longitud es de 35 cm, en el piso de pastoreo de 60 cm. Sobresalen, aproximadamente, 10 cm de la tierra, lo que facilita su hallazgo posterior. La mayor longitud de las varillas, empleadas en el piso de pastoreo, se debe a la necesidad de evitar una posible influencia ejercida por las heladas, más fuertes en esa altitud.

El registro es efectuado cada determinado tiempo (30 días) y, además, después de fuertes precipitaciones de acción erosiva. La observación se realiza, midiendo la distancia entre el extremo superior de la varilla y la superficie del suelo. A fin de evitar inexactitudes, debidas a una mayor acumulación o erosión de materiales en torno a la varilla, y para igualar irregularidades en la superficie del suelo, se efectúa la medición con la ayuda de una lámina (8 cm de diámetro), que está provista de un orificio en la parte central y que se introduce en la varilla. De esta manera, se controla la distancia media desde el extremo de la varilla a la superficie del suelo (SCHUMM, 1966).

Paralelamente, se utilizan en las zonas de acumulación (por ejemplo al pie de la ladera), varias varillas especiales para medir el material depositado. Estas varillas miden 40 cm de largo y llevan, en el centro, una plancha cuadrada de madera, con una superficie aproximada de 50 cm. Esta se apoya directamente en el suelo y se indica el punto de par-

tida para la medición de la acumulación (20 cm, menos la distancia entre el extemo superior de la varilla y la nueva superficie del suelo).

En una parcela de experimentación de 100 m se distribuyen 25 varillas de medición, cuya disposición se la efectúa en cuadros, de tal manera que los valores registrados por cada una de las varillas, hagan posible el cálculo del promedio de erosión o de acumulación, respectivamente. Si el promedio de erosión fuera de 5 mm, se tendría 0,5 metros cúbicos por 100 m, por unidad del tiempo.

Sin embargo, la captación de los cambios de superficie, mediante varillas medidoras de erosión, implica una tasa de inexactitud relativamente alta, condicionada por posibles errores de lectura en la varilla, al igual que en la multiplicación, al tratarse de una superficie bastante extensa (sobre esta problemática véase también la opinión de SCHMIDT, 1979). Teniendo en cuenta que la fuerza cuantitativa de los resultados queda, por las mencionadas razones, un tanto limitada, este método de medición constituye una alternativa razonable, tratándose de una región en la cual, por diversas circunstancias, es preciso prescindir de aparatos complicados.

3.2 Primeros resultados.

En cuanto a la evaluación de los resultados, debe tenerse en cuenta que éstos, en principio, aún nos dan una imagen incompleta, ya que la época de lluvias, rica en precipitaciones y, por tanto, de intensa erosión (noviembre hasta marzo), sólo ha sido captada en parte. Esto es valedero sobre todo para la zona de labranza, donde los procesos de erosión, debido a la distribución anual de precipitaciones, parecen presentarse exclusivamente en los meses de verano, mientras que en áreas de mayor altitud la humedad del suelo, a causa de la niebla casi diaria, aun en la época seca de invierno, es suficiente para que, en combinación con las breves heladas en esta época, favorezca la soliflucción.

Por esta razón, en adelante, nos concentraremos, exclusivamente, a las condiciones existentes en aquel piso de altitud, que hemos denominado "área de pastoreo". En este nivel, entre los 4.100 y 4.560 m s.n.m., se dispusieron diez parcelas de experimentación, en las cuales se han efectuado ya una serie de mediciones, durante el lapso de nueve meses (mediados de febrero a mediados de noviembre de 1982). A fin de llegar, en lo posible, a resultados diferenciados, las superficies de experimentación han sido ubicadas en laderas de distinta exposición y gradiente; se ha tratado de estudiar la posible influencia de la intensidad del pastoreo, mediante dos parcelas cercadas.

La tabla 1 resume los resultados obtenidos al presente; con referencia a la ubicación de las parcelas, véase además el mapa en la fig. 3.

Tabla 1: Índices de erosión en el piso de pastoreo

N° de la parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Altura s.n.m.	4560 m	4560 m	4300 m	4260 m	4100 m	4560 m	4450 m	4380 m	4260 m	4170 m
Exposición	65° NE	135° SE	310° NO	105°ESE	190°SSO	65° NE	70° NE	80° NE	195°ESE	80° NE
Inclinación	20°	22°	40°	45°	30°	20°	5°	10°	45°	15°
13.2. a 10.3.82	0,60	0,37	0,62	0,71	0,57	0,18	0,10	+0,17	0,63	0,66
16.3. a 17.4.82	0,14	0,10	0,20	0,25	0,12	0,10	+0,50	-	0,30	+0,30
17.4. a 17.5.82	0,10	0,05	0,13	0,20	0,10	0,10	+0,10	-	0,25	+0,18
17.5. a 16.6.82	0,06	0,05	0,10	0,05	0,05	-	-	-	-	0,05
16.6. a 16.7.82	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-	0,05
16.7. a 15.8.82	0,26	-	-	0,20	-	-	-	-	-	-
15.8. a 14.9.82	-	0,12	0,30	-	0,32	0,20	-	-	-	-
14.9. a 14.10.82	0,15	0,20	0,25	0,32	0,20	0,15	0,15	0,10	0,15	0,10
14.10. a 13.11.82	0,50	0,25	0,30	0,43	0,30	0,27	0,30	-	0,15	+0,25
Total	1,81	1,14	1,90	2,22	1,66	1,00	+0,05	+0,07	1,48	0,13

Leyenda:

Los índices de erosión están dados en m³/100m².

Las parcelas 7, 8, 10 se encuentran en una parte de la ladera de menor gradiente; se trata, en parte, de material acumulado (tipificado por el símbolo +).

Las parcelas 6 y 9 han sido excluidas del pastoreo, mediante un cercado.

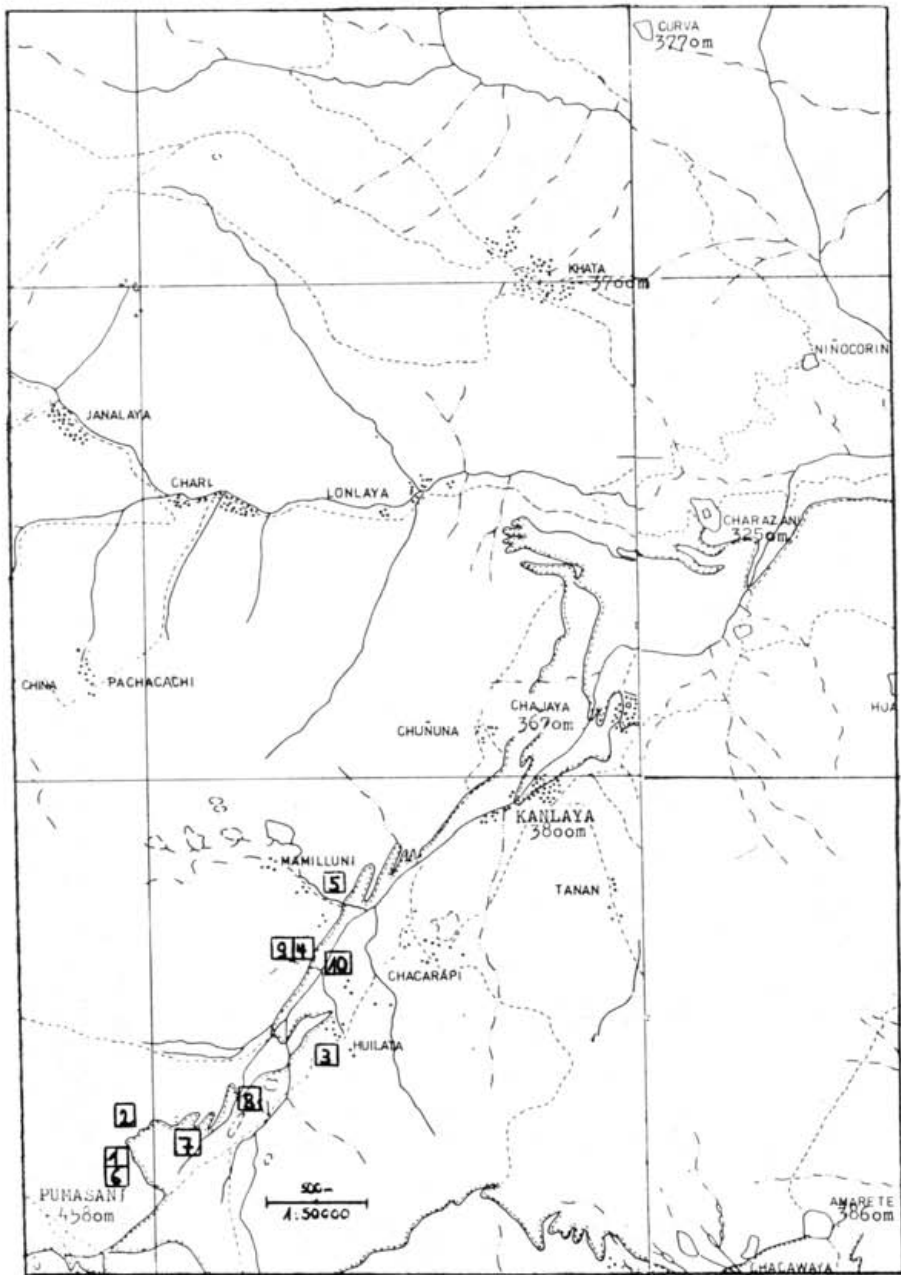


Fig. 3: Ubicación de las parcelas de experimentación en el piso de pastoreo.

La tabla muestra que apenas se han registrado índices de erosión, durante los meses secos de julio y agosto. Pero esto no significa que no haya tenido lugar ninguna alteración en dicho lapso. Por el contrario, precisamente en esa época del año pudieron observarse frecuentes congelamientos en forma de peine (Kammeis) en la superficie del suelo, sobre todo en altitudes superiores a los 4.300 m s.n.m. Las agujas de hielo que se forman en esta altitud, con un máximo de 2 a 3 cm de largo, levantan un poco la tierra y, en superficies inclinadas, llevan el transporte de partículas en dirección al declive (ver fig. 4). De esta manera, aflojan la estructura del suelo en la superficie, efectuando un verdadero "trabajo precursor" para las precipitaciones, que empiezan a partir de septiembre/octubre, cuyo efecto erosivo puede entonces estudiarse, cuantitativamente, por medio de técnicas de medición.

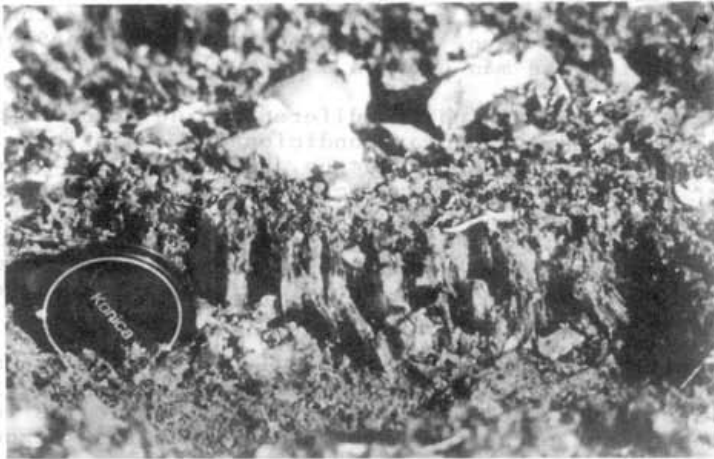


Fig. 4: Agujas de hielo (Kammeis), una causa de la soliflucción.

En las parcelas de experimentación 1 y 2 pudo observarse soliflucción por este fenómeno de congelamiento en forma de peine; en las parcelas 6 y 7, sólo en medida reducida. En las cuatro parcelas mencionadas, aun en los meses de sequía, había humedad de suelo suficiente para la formación de las agujas de hielo. El contenido de agua en el horizonte radicular, rico en material fino, medido a mediados de agosto, fue: en la parcela 1, 15,8%; en la parcela 2, 17%; en la parcela 6, 13% y en la parcela 7, 18,8%. Las mediciones se realizaron en horas tempranas de la mañana, con un instrumento CM (higrómetro "Riedel de Haën"). En el transcurso del día y con tiempo de intensa radiación, la fuerte evaporación causa un rápido ressecamiento de la superficie del suelo.

El índice de erosión menor en la parcela 6, comparado con la parcela 1, se debe seguramente a que en este lugar, desde el comienzo del período de medición, el ganado no pudo pastar,

creándose de esta manera menor cantidad de superficie desnuda, para la agresión de soliflucción por agujas de hielo (Kammeis). La consecuencia de esto se manifiesta, claramente, en el menor índice de erosión durante los meses de octubre y noviembre: $0,42 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$ en la parcela 6, comparado con $0,65 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$ en la parcela 1. En la parcela 6, las plantas podían desarrollarse ahora, sin que sean perturbadas por el ganado. La cantidad de biomasa que puede generarse en esta altitud, en parcelas sin influencia por pastoreo, es estudiada actualmente en la altiplanicie de Ulla-Ulla, en la vecindad de sobrepastoreo, por parte de los botánicos que trabajan en el proyecto.

La diferencia entre superficies pastoreadas y con cerco se ve aún más claramente comparando las parcelas 4 y 9. Bajo condiciones, por lo demás, iguales, el índice de erosión en la parcela 4 es mucho mayor ($2,22 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$) que en la parcela 9 ($1,48 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$), que se encuentra cercada. También en este caso, las diferencias sólo se hacen sentir en las dos últimas mediciones, septiembre/noviembre (ver tabla 1). Hasta mediados de mayo, la erosión en la parcela 9 era inclusive ligeramente más elevada.

Por el contrario, los índices diferentes de erosión de las parcelas 1 y 2 parecen estar condicionados, en primer lugar, por la exposición. A pesar de que hubiera podido esperarse que las diferencias de exposición en el área de menor gradiente de la ladera, anterior a la cumbre de Pumasani, no constituirían un factor decisivo, se observa que la ladera expuesta hacia el NE, inclusive presentando una humedad de suelo más reducida en agosto, por lo visto, corre mayor peligro de erosión.

Esto significaría una inversión de la relación, que se encuentra en las regiones situadas a menor altura, por ejemplo en el sector O-E del valle de Charazani, donde las laderas expuestas al sur presentan mayor humedad que las expuestas hacia el norte.

A pesar de los aislados congelamientos en forma de peine (Kammeis), la reducida acumulación en el área de experimentación 7 está condicionada por un transporte de material, procedente de lugares más elevados de la ladera; el menor gradiente de la ladera ocasiona cierta "humedad estancada", tal como se manifiesta también en un mayor contenido de agua en el suelo.

Igualmente, en las parcelas 8 y 10, considerando el período de medición en su integridad, casi no se presentan variaciones, ya que ambas áreas se encuentran de manera similar al pie de la ladera, en sectores más llanos. Sin embargo, en la parcela 10, seguramente no se han llegado a captar todas las variaciones intermedias; por lo menos, eso indican las oscilaciones entre erosión y acumulación. En este caso, sería oportuno que los intervalos entre las mediciones de control se redujesen en el futuro.

Resumen

Mediciones referentes a la erosión de suelos en la región del norte boliviano.

Dentro de un programa de investigación multidisciplinario en la zona Kallawaya, se estudió cuantitativamente, mediante el método de estacas enterradas, la erosión de suelos en el piso altoandino, entre 4.100 y 4.800 m s.n.m.

Los resultados muestran diferente intensidad de la erosión durante el curso del año, la cual se concentra en los meses de primavera y verano lluviosos, así como su relación con el uso de la tierra, observándose que el fuerte pastoreo provoca intensidades más altas de erosión, comparadas con las que se obtienen en parcelas cercadas.

Zusammenfassung

Messungen der Bodenerosion in der nordbolivianischen Andenregion.

Innerhalb eines fächerübergreifenden Forschungsprogrammes im Gebiet der Kallawaya wurden mit Hilfe von eingegrabenen Messpfählen Erosionsmessungen in der hochandinen Stufe (4.100-4.800 m über Meereshöhe) durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen Unterschiede der Erosionsintensität im Jahresverlauf: Der Bodenabtrag ist stärker in den regenreichen Frühjahrs- und Sommermonaten. Ein Vergleich von stark beweideten und eingezäunten Flächen ergab einen stärkeren Bodenabtrag in den erstere.

Abstract

Measurements in reference to soil erosion in the northern Andean region of Bolivia.

As part of a multidisciplinary research in the Kallawaya region, a quantitative study of soil erosion was done in the high andean belt, between 4.100 and 4.800 meters of altitude. The methodology was based on burried stakes.

Results show different intensities of erosion during the course of the year, with higher levels during the wet spring and summer months, and according to land use. High grazing causes higher erosion values as compared with enclosed areas.

Referencias

- LAUER, W. 1979: Im Vorland der Apolobamba-Kordillere "Physischgeographische Beobachtungen auf einer kurzen Studienreise nach Bolivien. En: Estudios Americanistas II. R. HARTMANN & U. OBEREM (Eds.), St. Augustin: 9-15.
- MORTENSEN, H. 1954/55: Die "quasinatürliche" Oberflächenformung als Forschungsproblem. - Wiss. Zeitschrift der Univ. Greifswald (Mager-Festschrift), p. 625

- SCHMIDT, R.G. 1979: Probleme der Erfassung und Quantifizierung von Ausmass und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Abspülung) auf Ackerflächen. - Physiogeographie Vol. 1, Basel.
- SCHUMM, S.A. 1966: Erosion measured by stakes.- En: Measurement of slopes. J. Tricart, Besançon, 161-162.
- SEIBERT, P. 1981: Die Kallawaya-Indianer. Ein Relikt des Inkareiches. - Mitt. DFG Heft 4, 6-9
- TROLL, C. 1973: Rasenabschälung (Turf exfoliation) als periglaziales Phänomen der subpolaren Zonen und der Hochgebirge. - Zeitschr. Geomorphologie, Suppl. 17, 1-32

Dirección del autor:

Dr. Wolfgang Schlingmann
Cranachweg 10
D 4937 Lage/Waddenhausen
Alemania Federal