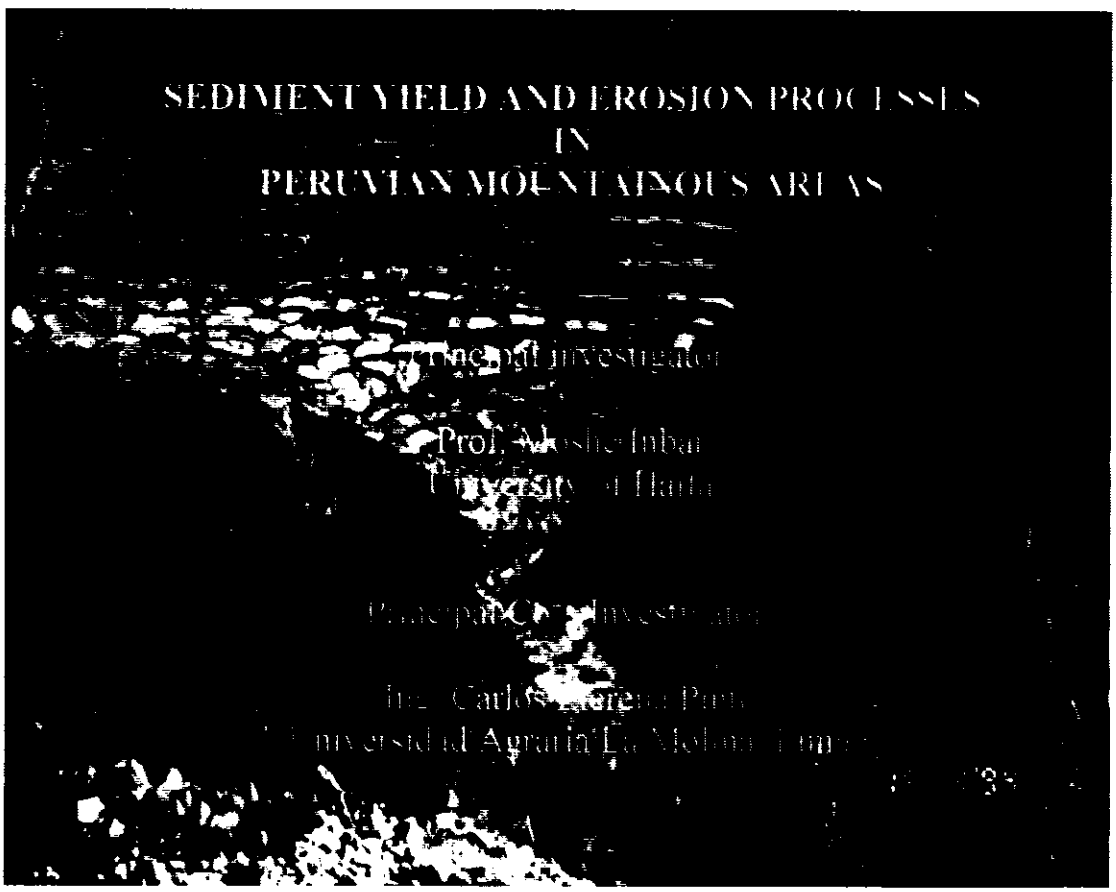
PN-ACX-369

FINAL REPORT
Covering Period: September 1993-December 1999

Submitted to Human Capacity Development
U.S. Agency for International Development



Project Number: C12 – 006

USAID Grant Project Officer: Mr. Lawrence Gumbiner
Project Duration: 1 September 1993- 31 August 1997
(extended to December 1999)

A

FINAL REPORT

Covering Period: September 1993-December 1999

Submitted to Human Capacity Development
U.S. Agency for International Development

SEDIMENT YIELD AND EROSION PROCESSES IN PERUVIAN MOUNTAINOUS AREAS

Principal Investigator:

Prof. Moshe Inbar
University of Haifa

Principal Co – Investigator:

Ing. Carlos Llerena Pinto
Universidad Agraria La Molina, Lima

Project Number: C12 – 006

USAID Grant Project Officer: Mr. Lawrence Gumbiner
Project Duration: 1 September 1993- 31 August 1997
(extended to December 1999)

.B

2. Table of Contents

Page

3. Executive Summary..... 2

4. Research Objectives..... 4

5. Methods and Results 7

6. Impact Relevance and Technology Transfer..... 18

7. Project Activities..... 19

8. Project Productivity..... 23

9. Future Work..... 24

10.Literature Cited..... 25

11.List of Appendixes..... 27

3. EXECUTIVE SUMMARY

Desertification is one of the biggest problems facing many regions of the world. Desertification means land degradation caused by physical and social factors and it produces alterations to all aspects of the natural environment by human actions to the detriment of vegetation, soils, landforms, water and ecosystems. Peruvian landscapes are one of the highest mountain relief areas in the world, that are settled with an old developed system of agricultural terraces; land at greatest risk is likely to be abandoned. The present trend is that in the high areas more than 90% of the terraced land has already been abandoned, a process that increases erosion and sediment yield values.

The overall aim of the study was to establish a method for determining sediment yield values in the highlands of the Andes mountains and in the Galilee hills of Israel. The main goal for the Peruvian mountain environment is to maintain the rural population in their traditional villages, based on the terrace farming system . In a very sensitive environment terrace maintenance is crucial to ensure proper land management. Land abandonment does not necessarily mean that there is no further use on it, but means a change in land use from intense cultivated terraces to other non agricultural patterns like grazing, meaning an increase of erosion and soil loss. The methods developed to assess quantitatively sediment yield rates and the factors affecting erosion, may be applied in other Andean mountain areas in South America, as well as other highlands in developing countries.

There were two main innovative aspects inherent in this research. The first was the geomorphological approach to the erosion aspects of the terraces study, and a quantification of the different controls involved in the erosion process. The second was the comparative field work performed in different environments and the integration of physical and social factors.

The elaborated methodology and lessons gleaned from the study of land degradation were incorporated in the research and training program of the Universidad Nacional Agraria La Molina. The major accomplishments were the establishment of experimental plots, development of a rain simulator, techniques that are easy to use and transfer for similar purposes in other areas. Due to the close relationship with governmental and NGO's institutions working on land degradation in Peru, the project's approach and recommendations have been adopted and implemented in

other affected areas. Most of the project activities were focused on the diffusion of techniques and solutions put forward in this study, including activities with school children.
The remote sensing program for identifying the coverage of terraces in large areas, was adopted by the staff of the UNALM, and is used in similar projects.
For the farmers in the villages of the Santa Eulalia basin the benefits include the improvement and efficient management of water use for irrigation, as well as the maintenance of the terraces.

Shifting land use's and changing human behavior are socioeconomic factors now affecting the Andean mountains. Traditional subsistence agriculture is being replaced by a market-oriented economy of labor and agricultural production. Young people in mountain villages are gravitating toward more diverse jobs and study opportunities in the coastal cities. This causes a shortage of labor needed for long-term soil conservation practices such as terracing. The result is soil erosion on traditional terraces that have been abandoned. No soil will be transported back uphill, and sierra migrants will not go back to the mountain villages. These two gravitational processes, i.e., soil flowing down the mountain slopes to the ocean floor and people migrating from the Andean villages to the coastal cities, are linked and irreversible. The imperative is for countries and international organizations to recognize this and the priority is to establish tools to deal with the problem.

4. RESEARCH OBJECTIVES

The overall aim of the study is to establish a method for determining sediment yield values in the highlands of the Andes mountains and in the Galilee hills of Israel. The study addresses the problem of changing human activities in the fragile environment of the historical agricultural terraces in the Central Andean mountains of Peru. Agricultural terraces represent one of the important imprints of Man on the surface of the Earth. Terrace construction changes the original slope of the earth surface landforms, alters natural drainage and soil profile development, disrupts the natural cycle of erosion and replaces the natural landscape with a stepped cultural one.

The erosion/sedimentation process is part of the dynamic evolution of the planet. Water, ice, wind and gravity- the agents of erosion- gradually release the energy that the geologic forces store in the elevated slopes and mountains. Man has greatly accelerated and complicated this natural erosion/sedimentation process by disturbing the surface of the land and exposing it to the agents of erosion. Morphological features related to high sediment yields or to sudden changes in erosional processes are evident in the deposition of deltas, filling of estuaries, incision of rivers, loss of soils in eroded lands and aggradation in alluvial valleys. Two basically different interpretations are given: one favouring human impact (Brueckner, 1986), the other one climate (Hempel, 1988) as being the main morphodynamic agent.

Sediment yield studies are important for our understanding of landscape development (Young, 1969), the effects of climatic change on sediment yield (Langbein and Schumm, 1958; Knox, 1984), prediction of sediment yield from ungauged basins (Osterkamp, 1976), and for quantitative studies of soil erosion. Erosion and sediment yield processes have a large economic significance, by reducing soil depth, diminishing fertility and declining crop productivity (Walling, 1988). The estimated economic cost in the United States was $6100 million at 1980 values (Clark et al 1985).

The processes and effects of erosion are of major environmental concern in areas with steep relief, which are characterized by high sediment yield and rates of erosion one or two order of magnitude higher than in basins with low relief (Corbel, 1959; Young, 1969). Other factors like climatic changes and human interference may increase rates of erosion in these areas. Peruvian landscapes are among the settled areas with the highest relief in the world and are characterized by an old system of agricultural terraces (Spencer and Hale, 1961). Dry and semiarid habitats at high

altitude are the most common in the Andean region, and ecosystems suffer intensive erosive processes (Llerena, 1987). Agricultural land use is a major factor affecting erosion processes: corn, potatoes, and recently alfalfa, the most important crops in Peru, are considered to be soil erosive (Felipe-Morales, 1987). The maintenance or abandonment of terraces is a crucial factor in determining the trend of erosive processes. No accurate inventory of the total terrace area in Peru exists, but it has been roughly estimated at about 2 million hectares (CEPAL, 1989). Denevan (1988) estimates that 62% of the terraces in the Colca Valley in Peru are abandoned and 91% are abandoned in the high areas. The main reasons for abandonment are socioeconomic, with a clear tendency of increase of the urban population. According to the 1876 census, 75% of the population lived in the sierra and less than 10% in the cities. By 1995, the urban population had increased to 71% (Yepes, 1992).

Terracing, which probably began during the Bronze Age in the classical Middle East, is the best way for the creation of cultivable flat surfaces upon hillslopes. The aims for terracing are: 1. reducing slope in order to allow ploughing and cultivation; 2. promoting soil accumulation; 3. diminishing soil erosion; 4. increasing water storage in the soil by reducing runoff and 5. creating microclimate conditions by increasing insolation and reducing frost conditions. From a dynamic point of view, terracing strongly violates the natural equilibrium between the production and transportation of regolith on hillslopes. In some parts of the world, the traditional agricultural terraces continue to be cultivated, although abandonment of agricultural land is widespread in the mountainous areas of Europe. Erosion processes increased due to the abandonment of terrace fields in Spain (Garcia-Ruiz, 1989; Cerda Bolinches, 1994), Greece (Lehman, 1993) and in old land terrace systems in Israel (Inbar and Zgaier, 1997). Terracing may be considered the most efficient measure invented by Man for controlling soil erosion, and part of the Neolithic agricultural revolution, together with domestication of animals and the initial phase of agriculture.

The aim of the present research was to investigate following aspects and mechanisms leading to terrace erosion and destruction after abandonment:

1. Rainfall-runoff-sediment yield relationships on abandoned terraces.
2. Modes of destruction of terrace risers and retaining walls, and the contribution of each destruction mode to the process of terrace degradation.

3. Terrace landslides: their morphology and contribution to terrace degradation.
4. The effect of water on soil strength and the effect of soil water content on terrace stability.
5. The bulge in the terrace retaining wall and determination of the general stability of the terrace.

There were two main innovative aspects inherent in this research. The first was the geomorphological approach to the erosion aspects of the terraces study, and a quantification of the different controls involved in the erosion process. Traditional terraces have attracted the attention of scientists from different scopes of science, especially archaeologists, pedologists, agronomists, anthropologists and geographers (Donkin, 1979; Denevan, 1988; Sandor and Eash, 1995; Spencer and Hale, 1961; Lehman, 1993). Only few researches have been carried out on traditional terraces by geomorphologists. The second was the comparative field work performed in different environments and the integration of physical and social factors.

The study addressed also the problem of changing human activities in the fragile environment of the historical agricultural terraces in the Central Andean mountains of Peru. The high degree of connectedness of this coupling is a major threat to one of the oldest achievements of humankind in the development of the Earth's natural resources. For over a millennium, soil accumulated and was retained on man-made terraces, which were the economic basis for a flourishing culture. Abandonment of the terraces leaded to an increased rate of soil erosion and sediment yield values (Cotler, 1985; Treacy, 1989). Like the Himalayas, the Andes mountain ecosystems are sensitive to small disturbances, with consequences that are often irreversible (Ahmad, 1993). Land degradation is determined by social change in farming communities and is one of the consequences of the migration of the young rural population to overcrowded urban areas. Traditional subsistence agriculture is being replaced by a market-oriented economy of labor and agricultural production.

5. METHODS AND RESULTS

The research strategy was based on: (a) Field study in the selected areas of Peru and Israel. (b) An ecosystem approach, including different aspects of the geosciences, as climatology, hydrology, botanics, pedology, geomorphology, and the socioeconomic factors in the studied villages. (c) long term study based on several years of continuous monitoring of rainfall, runoff, sediment yield, terrace stability, landslides, land use and agricultural techniques.

The difficulties in field research in Peru, and probably in many other developing countries are enormous. Experimental field studies confront the reality of political, social and cultural barriers in a changing society. The permission and hospitality given in the first year by the village president wasn't any more in effect next year with the change of authorities. Logistic problems include bad roads cut by landslides almost every rainy season, absence of spare parts, theft of any monitoring equipment left in the field, even small plastic pipes. During the first period of work in Peru, during the years 1993-1995, the fear of activity by the terrorist group *Sendero Luminoso*, affected the travel to the area and special permits were needed to pass several military checkpoints. Except us, no other scientists from international organizations were active in that period, after the killing of a French journalist.

Continuous data collection over the five year period of field work was confounded by uncontrollable activities in agricultural practices in Peru, like night irrigation and water overflowing the terraces, and fire and grazing in the field site in Israel. Basic meteorological and hydrological data from other sources was not always available and reliable, and the dedication of the local observer in Peru was no doubt a most valuable help to the success of the research.

STUDY AREA AND METHODS- SANTA EULALIA-PERU

Fig. 1- The Rimac river basin

The study area sites are in the Santa Eulalia river basin, an affluent of Rimac river, which flows into the city of Lima (Fig. 1).
The study sites are near the villages of San Pedro de Casta (3200m) and San Juan de Iris (3700m). Valley slopes are 1000m deep and more, with slope angles reaching 50^0 and 60^0. Frequent landslides, known locally as *huaycos*, left visible paths and alluvial cones (Fig.2).

Fig. 2- Dissected valley slope

Fig. 3- Abandoned terraces

Fig. 4- San Juan de Iris

The community of San Juan de Iris (Fig. 4) is a typical small Andean sierra village of about 100 households, at an elevation of 3400-3600 m.

Each farmer, or *comunero*, has about 10-20 terraces, each covering an area of $70m^2$-$300\ m^2$. All active terraces are irrigated, the others having been abandoned. Except for the terraces where alfalfa is grown, there is no grazing of livestock on the terraces. A small number of llamas and horses are used mainly for transport. The trend in recent years has been to grow more alfalfa for livestock production, abandoning the traditional potato and corn crops. Eight experimental plots were installed on abandoned terraces and one control plot on a cultivated terrace. The plot area for each terrace was between $50m^2$ and $100m^2$. The plot was bordered by a plastic fence (Fig.5).

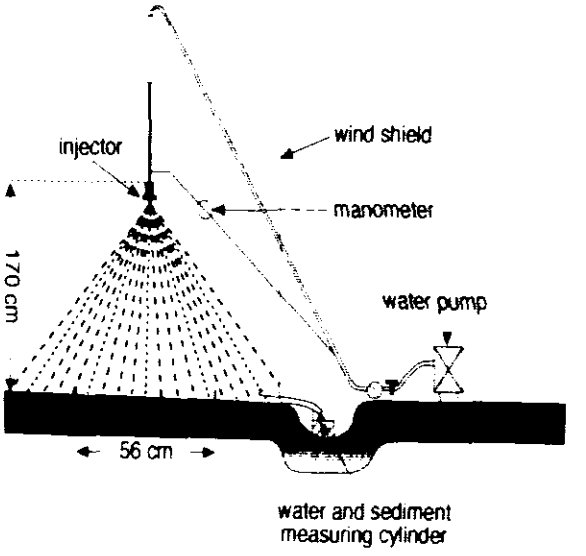
Fig. 5- Experimental plot- Iris- Peru

Water and sediment were collected after each rainstorm, and sediment was analysed for concentration at the university laboratory.
Run-off was negligible during most rainstorms and few sediment samples were collected. The highest measured runoff for one plot for a single storm was a total of 2.3 liter/m^2, and the sediment yield 0.9 gram/m^2. The measured values of about 1g/m^2/year are equivalent to 1 ton/km^2/year,

which is considered a negligible or very low rate in comparison with average erosion world rates of 100 tons/km^2/y (Young, 1969).

A portable field rain simulator was used to measure runoff and infiltration rates under different physiographic conditions and terrace land uses, including differences in soil, slope, exposure, stoniness, vegetation cover, cultivated area and abandoned terraces (Fig. 6).

Fig. 6- Rain simulator



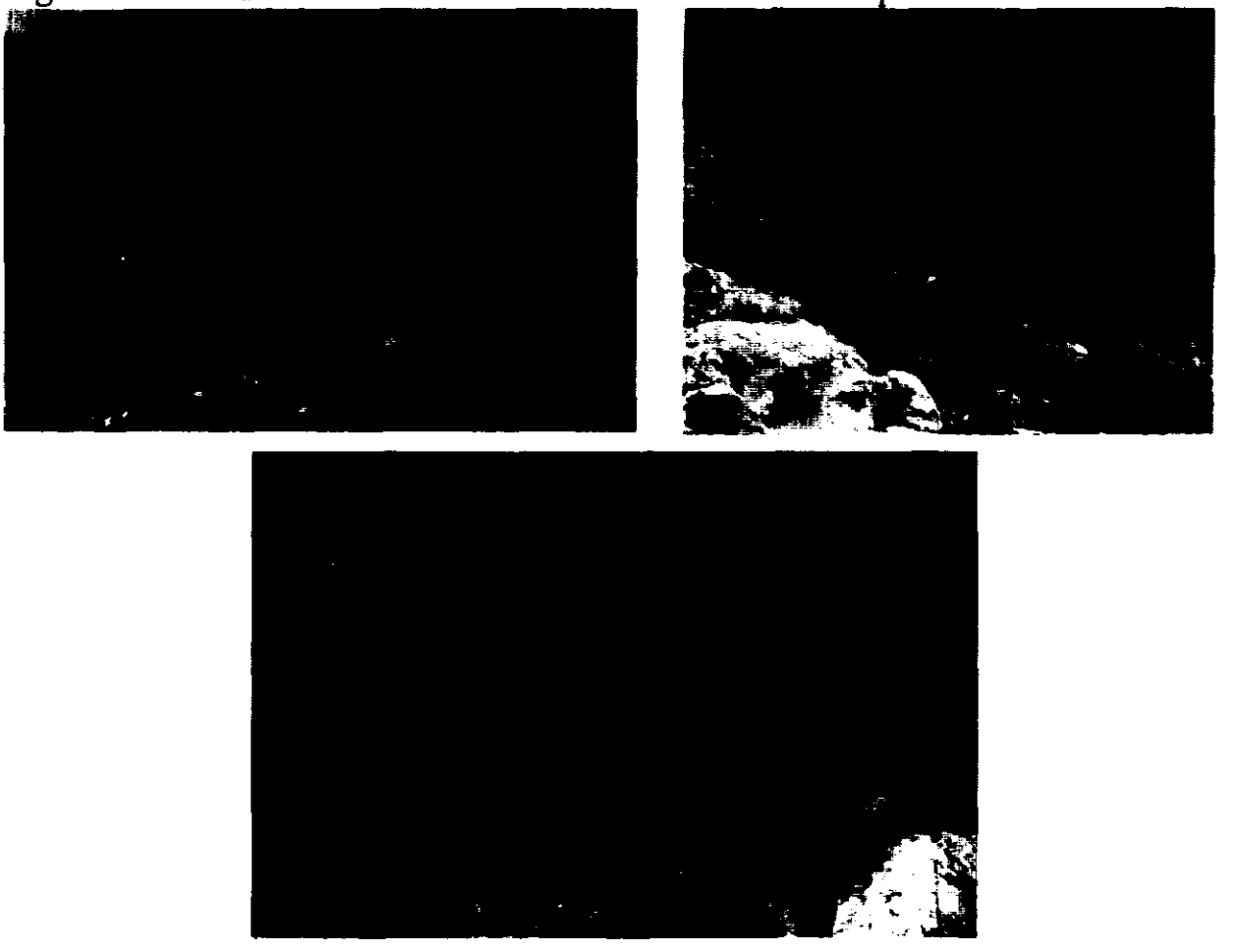
The degree and type of vegetation cover are the most important factors determining rates of erosion on the terraces, as found in the rain simulation experiments. Vegetative protection of the soil has been indicated as the critical variable in an Andean basin in Ecuador (Harden, 1988), and in many other parts of the world (Cerda-Bolinches, 1994). Planting eucalyptus as an erosion control factor is a controversial issue. Rain simulation experiments indicate that erosion rates under eucalyptus trees were greater than on terrace sites covered with grass. The massive planting of eucalyptus that took place in the mountainous areas of Peru on 100,000 hectares in order to prevent erosion may have provided a valuable source of firewood, but it may not be as efficient a tool for preventing erosion as ancient terrace technology (Millones, 1982).
A field survey was conducted on 233 terraces on both sides of the upper Santa Eulalia basin in order to assess both their degree of abandonment and physiographic and morphometric characteristics. Cultivated active terraces constituted 7% of the terraces surveyed, while 93% were abandoned or semiabandoned. The length of time since abandonment is

more than 40 years, according to aerial photos and local information, and depends on many factors such as distance from a village, soil and slope conditions, property rights, etc. The average terrace area is about 170 m^2, but large terraces up to 500 m^2 were found. Local retaining walls were built from local stones 20 cm in diameter. Terrace degradation was noticeable in wall swelling, which causes the wall to collapse and the terrace structure to deteriorate further. Maintenance is constant on the cultivated terraces, but a shortage of labor adversely affects proper and constant repair of wall stone slides.

YERCA- WESTERN GALILEE, ISRAEL

The research area is located at the vicinity of the druze village of Yerca, on abandoned terraces on a south facing slope (Fig. 7)

Fig.7- The abandoned terraces in the Mediterranean landscape- Yerca- W.Galilee



The terraces were built about 500 years ago and served for olive trees plantations. They were totally abandoned about 1955. Upon the surface there is a thin cover of terra rossa with many rocky outcrops. Field

experiments were also carried out on other abandoned terraces at additional sites on rendzina soils. Field work was conducted between 1993 and 1997. Methods and results were as follows:

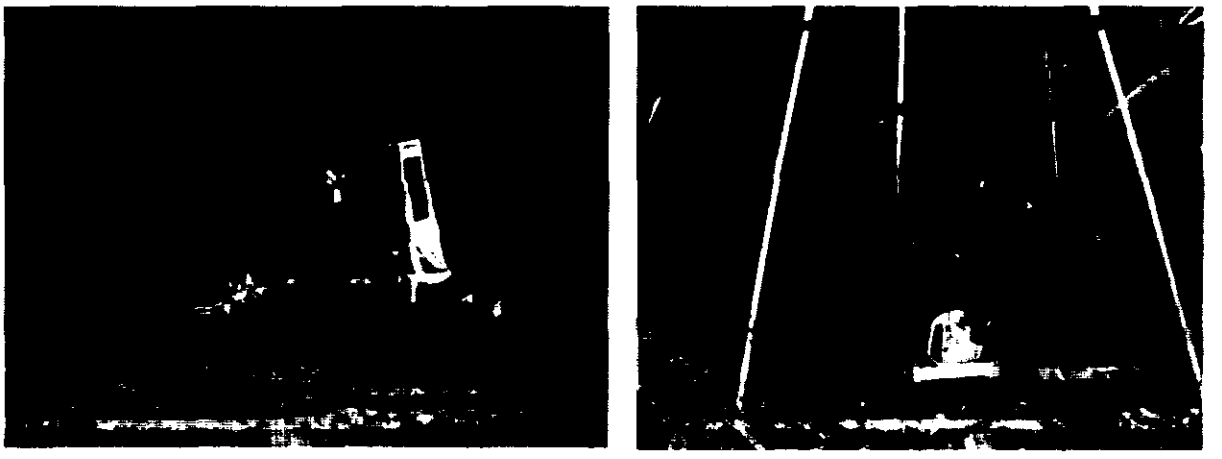
1. Installation of six plots for runoff and sediment collection on terraces with different degrees of destruction (Fig. 8).

Fig.8- An experimental plot- Yerca

Similar to the Peru results, runoff from abandoned level bench terraces is very small- 0.5 liter/m^2/year. Sediment yield from same terraces is also very small- 0.26 gram/m^2/year. Runoff from the rupture planes of the terrace landslides is high- 2.9 lit/m^2/year and sediment yield is also much larger- 8.3 gram/m^2/year.

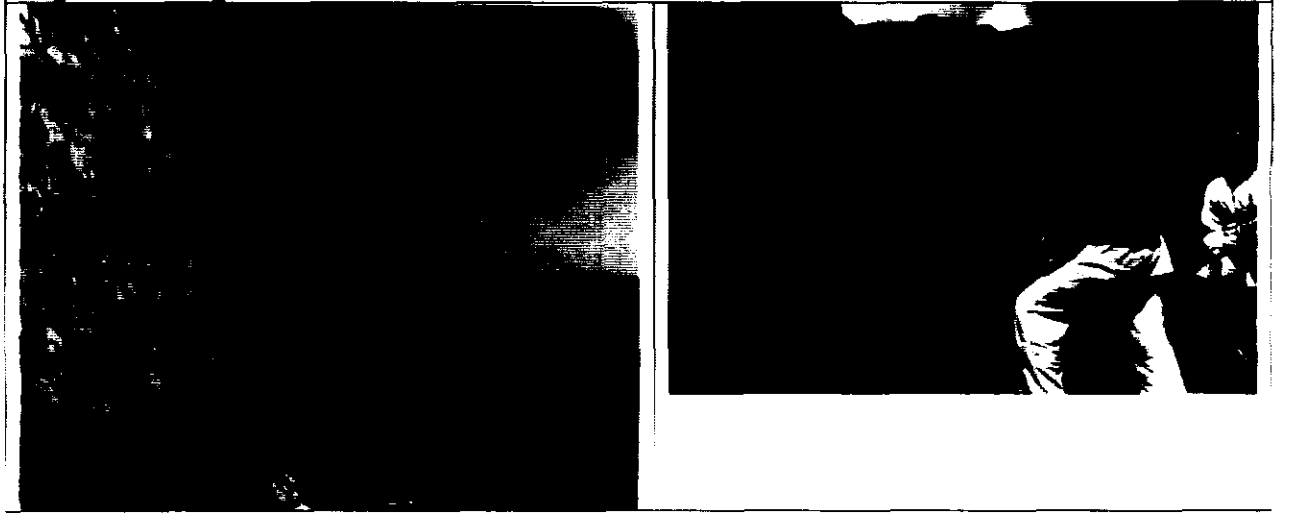
2. Rainfall simulation experiments on terraces on terra rosa and rendzina in order to determine runoff and sediment yields. Runoff on rendzina soils is quicker than on terra rossa; the time gap between the onset of rain and beginning of runoff is 11 minutes for rendzina soils and 65 minutes for terra rossa soils. According to these results terra rossa soils are much more erodible than rendzina soils.

Fig. 9 – Rain simulator and square metal frame for runoff and sediment collection



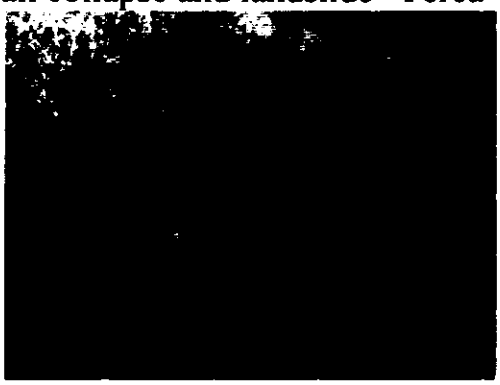
3. Installation of soil moisture sensors (gypsum blocks) at different depths in a terra rossa soil terrace for monitoring the changes in its water content. Moisture content was measured with a field soil moisture tester. Generation of saturated runoff depends upon the water content of the upper 30 cm soil layer. Changes in the water content of the soil layers below 30 cm during the rain season are very small.
4. Field survey for the determination of the modes of destruction of terrace retaining walls, the shape of terrace landslides and computation of volumes of eroded soil. The ways of destruction that can affect a terrace retaining wall are as follows:
   A) Formation of annular holes along the level of the wall's one third height from its base, due to local collapse of stones at some spots along that level (Fig. 10).

Fig. 10 - Bulge on a terrace wall



B) Collapse and landsliding of the upper two thirds of a wall segment together with the filter layer and the retained soil that lie behind it (Fig. 11).

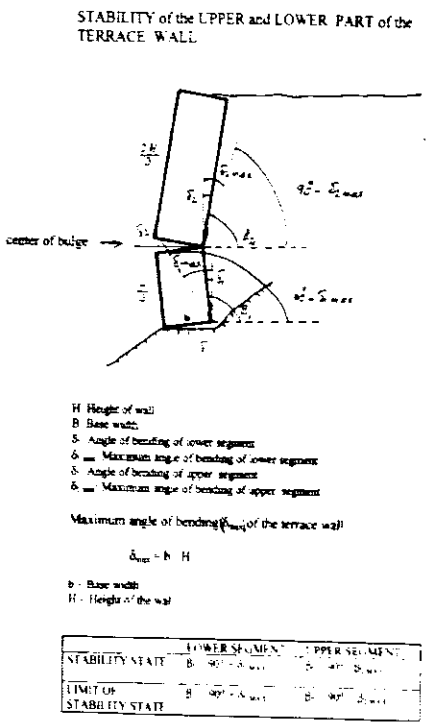
Fig.11- Terrace wall collapse and landslide- Yerca



C) Collapse of some stones of the upper course, or complete collapse of some of the upper courses due to vandalism or grazing.

5. Landsliding is the natural erosional process that affects the terrace and the retaining wall. A typical landslide has three distinctive morphometric elements: a scar in the retaining wall of the affected terrace, a rupture plane in the retained soil and a half cone or wedge formed by the deposition of the collapsed material on the lower terrace (Fig. 12).

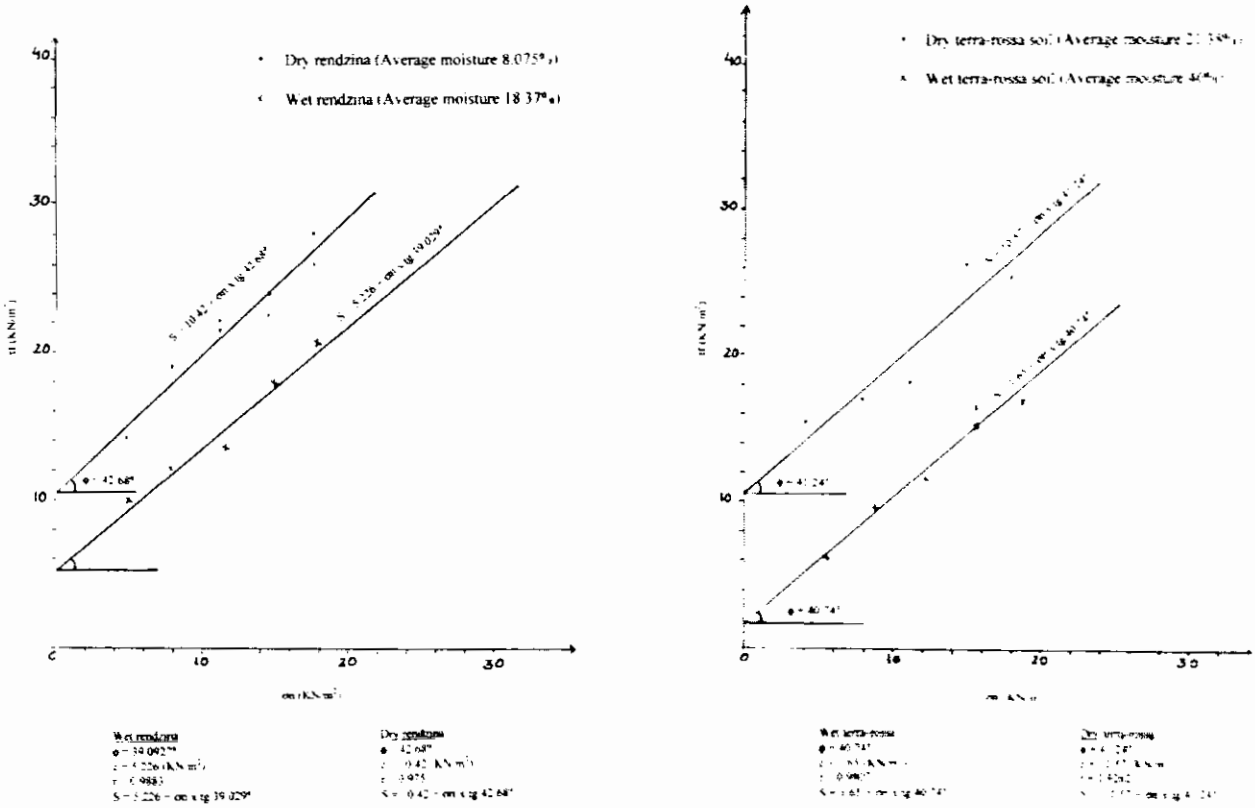
Fig. 12- Depositional half cone of collapsed material - Scheme of failure



6. In situ measurements of soil strength by a direct basal field shear apparatus (Fig. 13).

Fig.13- Field shear apparatus

Fig. 14- Soil strength parameters



The strength parameter of terra rossa soil- 16.9% in a summer state of moisture content and rendzina soil- 11% at same conditions, as determined by field shear measurements are as follows: Terra rossa- Cohesion: 2.81 KNewton/m^2. Angle of internal friction: 40.75^0. Rendzina: Cohesion: 5.24 KN/m^2. Angle of internal friction: 39^0. Terrace landslides, which usually occurs after heavy rainstorms, are attributed to the decrease of cohesion of the retained soils due to saturation (Fig 14).

Fig. 15- Failure envelope of consistency tests

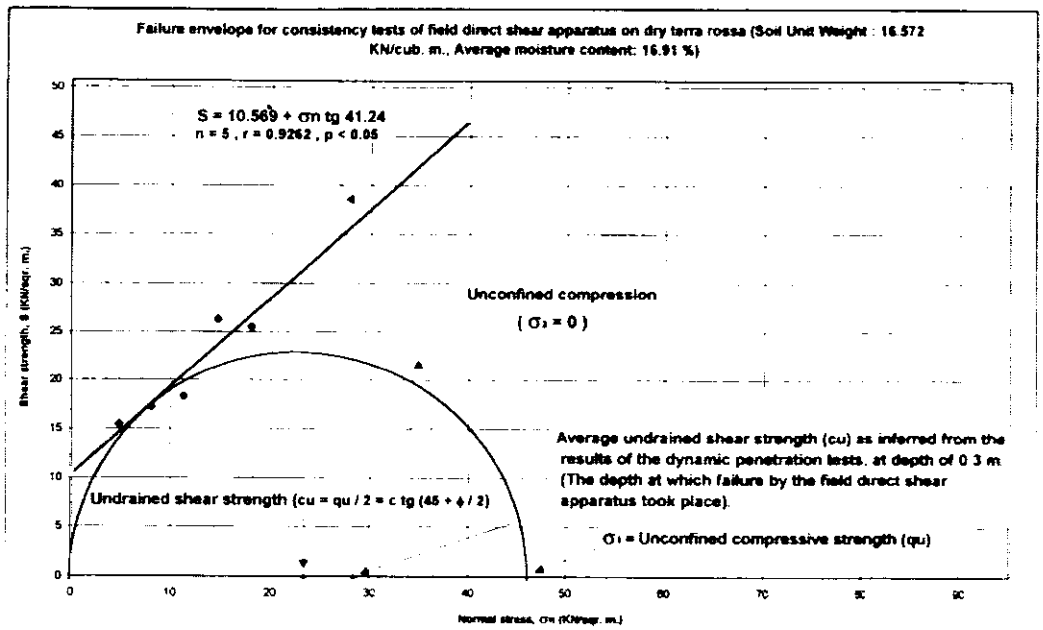


Figure 4. Failure envelope of consistency tests on dry terra rosa.

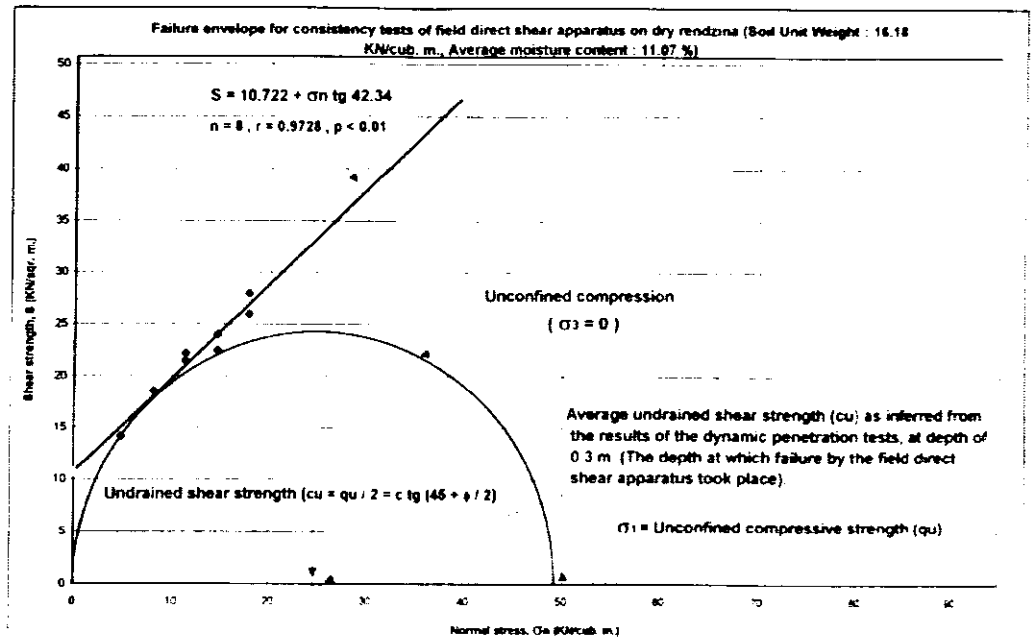
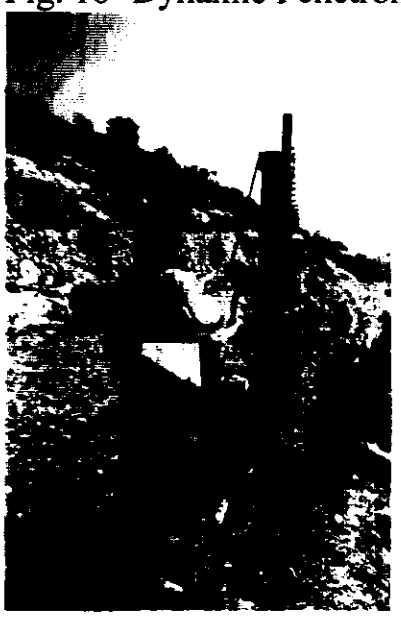


Figure 6. Failure envelope of consistency tests on dry rendzina.

7. Field measurements of soil strength by a dynamic penetrometer for inspecting the effects of the changes in soil water content on soil strength (Fig. 16).

Fig. 16- Dynamic Penetrometer



According to the dynamic penetration tests, there is a general slight increase with depth of the undrained shear strength. No trend of strength change with depth was detected in rendzina on soft marl. Bulge formation on the retaining wall is thus attributed to the effect of the resultant of the lateral soil pressure which operates at that level. The relationship between earth pressure and depth in a terra rossa soil is shown in Fig. 15.

Abandoned terraced hillslopes tend with time to re-establish their original profiles. The process of slope adjustment usually begins with landsliding, a process of relatively high magnitude and low frequency, and continues by means of other erosional processes of low magnitudes and high frequencies, especially overland flow. The natural process of slope profile readjustment together with the man-induced land degradation results in the total vanishing of the cultural stepped landscape.

6. IMPACT, RELEVANCE AND TECHNOLOGY TRANSFER

Field studies on erosion are very scarce in Peru. The developed methodology and experience in land degradation and specifically in mountainous agricultural terraces, was incorporated in the research and training program of the Universidad Nacional Agraria La Molina, the most important agricultural university in Peru, with an old tradition of training and advise to the local farmers.
The major accomplishments by the university scientists and students were:

1. Development of a rain simulator (Fig. 6), which is currently used for soil erosion measurements under different land uses and for educational purposes at the university.
2. Establishment of experimental field plots. It is a relatively cheap and easy device, that was efficiently managed and maintained by the local farmers.
3. Remote sensing methodology development in order to find the coverage of terraces in large areas. A program was adopted by the remote sensing lab and staff of the UNALM
4. M.Sc. study by a UNALM student- David Lopez (App. 1)- based on the project fieldwork and data.
5. Several seminar works by students from the UNALM and The Pontificia Universidad Catolica de Peru- PUC. The PUC students participated in a special workshop in the field site and learned about land and terrace conservation measures.
6. Ing. Carlos Llerena, from the UNALM. the PCI of the project, has been engaged in the last years in many international research projects. No doubt that his first experience in an international project was important in developing his capacity for further projects, engaging in them other colleagues from his university.

There has been a close relationship with governmental and NGO's institutions working on land degradation problems in Peru. The project's approach and recommendations were adopted by them and implemented in other areas.

For the farmers in the villages of the upper Santa Eulalia basin the benefits include the improvement and efficient management of water use for irrigation, as well as the maintenance of the terraces.

The recovery of several abandoned fields was implemented by a local team with the help of students and was an incentive for further rehabilitation and conservation activities (Fig 17).

Fig.17- Rehabilitation of terrace by students - Iris –Peru

7. PROJECT ACTIVITIES

4. Meetings

Field Symposium: Erosional processes in agricultural land terraces. University of Haifa, February 2, 1995
The symposium was held in The University of Haifa, sponsored by the Israeli Geomorphological Research Group, the U. of Haifa and the Bar-Ilan University.

About 50 participants took part in the field tour and symposium. The group visited the ancient (2000 years?) terraces in the Carmel mountain, under the leading of archaeologist Prof. Shimon Dar. The paper session included 4 papers, and in the afternoon the symposium visited the experimental study field in Yerca, leaded by Prof. Moshe Inbar and Ali Zgaier.
A Field Guide and Proceedings of the symposium was published. (App.2)

Symposium: Conservation and abandonment of terraces, Lima,

Peru, May 8-9 1997.

The Symposium was held in the Universidad Nacional Agraria La Molina, under the auspices of the UNALM, University of Haifa, Pontificia Universidad Catolica de Peru and the Commission on Land Degradation and Desertification of the International Geographical Union. A mix of more than 100 participants from the fields of geography, geomorphology, hydrology, forestry, soil sciences, archaeology, sociology, anthropology and others, with government officers, local village council members and media reporters was probably unique for Peru, where the current problems obscure any long term vision and analysis of human and physical processes. The first day was devoted to the presentation of 19 papers in 4 sessions. All lectures were delivered in Spanish and included following topics:

a) *Social and cultural aspects*:
Dr. Carmen Felipe Morales, UNALM: A state of the art report on terrace research and knowledge.

Julio Alfaro, Human Sciences, UNALM: Socio-economic and cultural factors in the land use of terraces.
Fedora Martinez, Nac. Museum of Anthropology: Society and culture in San Juan de Iris.
Manuel Merino, Nac. Museum of Anthropology: An archaeological vision of terraces.
b) *Physical and environmental aspects*
Ing. Raul Dolodier, PRONAMACHS: An inventory and rehabilitation of terraces
Ing. Dionisio Salas, UNALM: Operation and maintenance of terraces.
Ing. Jeronimo Garcia, UNALM: Environmental impact of terraces on microclimate.
Efrain Gonzalez de Olarte and Carolina Trivelli, IEP: Is the terrace rehabilitation a sustainable way for rural development?
c) *Regional experiences*
Dr. Hildegardo Cordova, PUCP: The terraces in the Colca valley, Arequipa.
Dr. Medardo Molina, World Bank: Water resources and terrace conservation in Aucara, Ayacucho.
Dr. Mario Tapia, CONDESAN: Slow formation terraces in La Encanada, Cajamarca.
David Canal, ADESA: The Cusco terraces, Andean knowledge, past and future.
Elias Mujica, CONDESAN: The Pukkara terraces, Puno: evidences about their origin.

d)*The Santa Eulalia basin*
Ing. Luis Masson, NCTL: Field experiences in the Santa Eulalia basin
Prof. Maria Benavides, UNMSM: Terraces and irrigation: an ethnohistoric vision.
Willman Doria Lozano,council member: Land use of the terraces in San Juan de Iris.
Ing. Carlos A. Llerena, UNALM: Terrace characteristics in the Santa Eulalia basin.
Dr. Moshe Inbar, Univ. of Haifa: Erosion processes and terrace abandonment
In the second day participants traveled to the Andean mountains, to the villages of Santa Eulalia basin. The experimental sites of the project were visited and the equipment used in the study, like the rain simulator, was displayed. The meeting with the local people was a good opportunity to evaluate and discuss on a direct way the terraces use and other aspects of the present day problems of the Andean community. A demonstration on terrace construction and maintenance by local experts was very instructive and many questions arised on the different techniques and traditional methods of terrace construction. The main national newspapers covered the event (App.3). A guidebook and Abstracts of the symposium was published (App.4)
In summary, the main points focused in the Symposium were:
* More than 50% of the agricultural terrace system of the Andean peru mountains are abandoned.

- Abandonment of terraces leads to increased soil erosion, due to wall terrace failure and poor maintenance of irrigation systems.
- Terrace degradation is a function of physical, economic and social factors.
- Social and physical processes- flow migration of people to coastal cities and flow of soil from mountain terraces to the ocean- are linked and irreversible.

Delivered papers in international conferences:

IGU Regional Conference, Havana, Cuba, 1995: *Sediment yield and erosion processes in Peruvian abandoned terraces*
IAG, European Regional Conference, Budapest, Hungary, 1996: *Erosion in mountainous field terraces*
International Conference on Land Degradation, Adana, Turkey, 1996: *Sediment yield from microcatchments in abandoned mountainous terraces*

International Geographical Congress, The Hague, Holland, 1996: *Land degradation after abandonment of agricultural terraces*
International Conference on Mediterranean Desertification, Crete, Greece, 1996:*Soil erosion in Mediterranean agricultural terraces.*
IAG Mediterranean erosion symposium, Cosenza, Italy, 1997: *The stability of agricultural terraces and its retaining walls*
IGU Commission on Land Degradation and Desertification, Perth, Australia, 1999: *Land degradation processes after agricultural terraces abandonment: Case studies from Israel and Peru.*
International Conference on the future of the Mediterranean rural environment, Menemen, Turkey, 2000: *Desertification and erosion processes in agricultural mountain terraces in Mediterranean areas.*

USAID assistance was acknowledged in all presentations.

Publications:

1. Book: Inbar, M. and Llerena, C.A. (Eds.), 2003: *Conservacion y Abandono de Andenes.* UNALM and U. of Haifa, Lima Peru (forthcoming) (App.5)

The book, published by the Univ. of Haifa and Univ. Nacional Agraria La Molina, is in the final stage of publication and probably go to print by May 2003. It includes 18 articles by different Peruvian scholars who worked on the issue for the last decades. It will be in Spanish with English abstracts. We will include the book as part of this Final Report as soon as it will appear. The topics and collaborators presented in the book are a valuable document, that will be a useful tool for scientists and developers in their future work.

2. Articles:

Inbar, M. and Llerena, C.A., 2000: Erosion Processes in High Mountain Agricultural Terraces in Peru. *Mountain Research and Development*, v. 20,1: 72-79. (App.6)

Zgaier, A. and Inbar, M., : The influence of soil saturation on the stability of abandoned agricultural hillslope terraces under Mediterranean climatic conditions. *Submitted to Catena* (App.7)

Inbar, M. and Llerena Pinto, C., 2003: Procesos de erosion en andenes agricolas andinos en la cuenca del Rio Santa Eulalia, Lima, Peru. In:

Inbar, M. and Llerena, C.A. (Eds.): *Conservacion y Abandono de Andenes.*

Costello, J. and Inbar, M., 2003: Una aproximacion al conocimiento de los andenes de cultivo de la localidad de Las Juntas, Catamarca, Argentina. In: Inbar, M. and Llerena, C.A. (Eds.): *Conservacion y abandono de Andenes.*

Zgaier, A. and Inbar, M., 2003: The stability of agricultural terraces and the geometry of the retaining walls. *Horizons in Geography,* v. 56 (In press) (Hebrew with English abstract). (App.8)

Lopez Cornelio, D., 1998: Procesos de erosion hídrica en andenes abandonados de la Comunidad Campesina de San Juan de Iris- Lima. Tesis para optar el grado Magister Scientiae, UNALM, Lima, Peru. (App.1)

Zgaier, A., 2000: Erosional Processes on Abandoned Hillslope Agricultural Terraces under Mediterranean Climatic Conditions, Yerca- Western Galilee, Israel. *Thesis submitted for the degree "Doctor in Philosophy" University of Haifa,* 322 pp. (Hebrew, with English summary) (App.9)

Newspapers, Radio and TV programs

The project findings have been published in *El Comercio* (main newspaper in Lima- App.3), in *Haaretz* (Israeli newspaper), an Arab Israeli newspaper (App.10) and in professional agricultural journals of Peru. The Peruvian TV also reported in a special interview about the project. There were several interviews on the Peruvian and Israeli radio.

8. PROJECT PRODUCTIVITY

One area of research that is usually neglected in scientific land degradation problems is the perception and awareness of the local people to the problem. A fatalistic view by local farmers is that there is nothing to do or to prevent or reduce soil erosion. But from our experience it is clear that local farmers have a real vision and understanding of the problems. They lack sometimes the tools and economic incentive, but not the perception of land degradation issues. In one of the talks with a local farmer, checking the heavy suspended sediment load of a stream after an

intensive rain, I asked him if he is aware of the process. Of course, was the answer, the sediment load is the ***blood of the soil.*** That means that there is a good understanding of the problem. Most of the project activities were focused on the diffusion of techniques and solutions we suggested, and even activities with school children were performed. Education is a basic and most important tool in environmental conservation issues, and the conservation of terraces is a good example.

It is difficult to answer to the question if the project accomplished all proposed goals. The basic program was accomplished and even new aspects were developed, as the physical and mechanical soil properties affecting the stability of the retaining walls (Zgaier's study in Israel). We tried to extend the study to other areas in the Andean mountains, but the project budget and structure didn't allow that extension. However, a reconnaissance work was performed in the Colca valley and in the high mountain surrounding area. Independently from the project, PI Moshe Inbar with Julio Costello from Argentina studied old terraces in the southern edge of the Inca empire, and they are probably the most southern old terraces yet described.

8. FUTURE WORK

The plans for future works are: On a local base, the activities will be continued by the UNALM staff, specially by students working on their theses.
On an international cooperation view, we are looking for financial support from different sources like the European Community- on a general study of Mediterranean terraces, and cooperation plans between European and Latinamerican countries.

9. LITERATURE CITED

Ahmad A, 1993, Environmental impact assessment in the Himalayas: an ecosystem approach, Ambio 22, 4-9

Brueckner, H., 1986. Man's impact on the evolution of the physical environment in the Mediterranean region in historical times. Geojournal 13.1 7-17

CEPAL (Comisión Económica para America Latina y el Caribe). 1989. Estudio de factibilidad de un proyecto nacional de desarrollo en areas de recuperacion de andenes en el Peru. CEPAL, 1-119

Cerda-Bolinches A, 1994. Arroyada superficial en terrazas de cultivo abandonadas, el caso del pais valenciano. Cuadernos de Geografia 56, 135-154.

Clark, E.H., Haverkamp, J.A and Chapman, W. 1985. Eroding soils: The off-farm impacts. The Conservation Foundation, Washington, D.C, 252

Corbel, J. 1959. Vitesse de l'erosion. Z. fur Geomorphologie. 1-28

Cotler E, 1985, Inventario, Evaluación y Uso de los Andenes en la Subcuenca del Rio Rimac [thesis]. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina

Denevan WM, 1988, The Cultural Ecology, Archaeology and History of Terracing and Terrace Abandonment in the Colca Valley of Southern Peru., Volume 2. Technical Report to the National Science Foundation, Department of Geography, University of Wisconsin, Madison

Donkin RA, 1979, Agricultural Terracing in the Aboriginal New World. Tucson: University of Arizona Press.

Felipe-Morales, C. 1987. La erosión de los andenes en zonas pobladas de altura. Rev. Pensamiento Iberoamericano, 11. Madrid.

Garcia-Ruiz JM, 1989. Erosion processes in abandoned fields. A case study in Central Spanish Pyrenees. Darmstadt: Geooko.

Hempel, L. 1988. Geookodynamic im Mittelmeerraum wahrend des Jungquartars. Beobachtungen zur frage, Mensch und/oder Klima? In Sudgriechenland und auf Kreta. Geookodynamic, 5, 99-140

Harden, C.P. 1988. Mesoscale estimation of soil erosion in the Rio Ambato drainage, Ecuadorian Sierra. Mountain Research and Development, 8: 331-341.

Inbar, M. and Zgaier, A. 1997. The Stability of Agricultural Terraces and its Retaining Walls. Proc. IAG Symposium, Cosenza, Italy

Knox, J.C., 1984. Fluvial reponses to small climate changes. In: Costa, J.E. and Fleischer, P.J. (eds.): Developments and Applications to Geomorphology. Springer Verlag, 318-342.

Langbein, W.L. and Schumn, S.A. 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. Am. Geophys. Union Trans., 39, 1076-1084

Lehman R, 1993, Terrace degradation and soil erosion in Naxos Island. Greece. In: Wicherek S. (ed.): Farm Land Erosion in Temperate Plains Environment and Hills, Amsterdam: Elsevier, pp. 429-450

Llerena Pinto, C. 1987. Erosion and sedimentation issues in Peru. IAHS Pub. 165, pp. 3-14

Millones, O.J. 1982. Patterns of land use and associated environmental problems of the Central Andes. Mountain Research and Development, 2: 49-61

Osterkamp, W.R. 1976. Variation and causative factors of sediment yields in the Arkansas River basin, Kansas. In: Proc. of the 3rd Federal Inter-Agency Sedimentation Conf. Washington, D.C. Water Resources Council. 1-59

Sandor J.A. and Eash N.S., 1995, Ancient agricultural soils in the Andes of Southern Peru. Soil Science Society of America Journal 59: 170-179

Spencer, J.E. and Hale, G.A., 1961. The origin, nature and distribution of agricultural terracing. Pacific Viewpoint, 2, 1-40

Treacy J.M., 1989. The Fields of Coporaque: Agricultural Terracing and Water Management in the Colca Valley, Arequipa, Peru [PhD dissertation]. Madison: University of Wisconsin.

Walling, D.E. 1988. Erosion and sediment yield research- some recent perspectives. J. of Hydrology, 100, 113-141

Yepes, E., 1992. La Modernizacion en el Peru del Siglo XX. Lima:Mosca Azul Ed.

Young, A. 1969. Present rate of land erosion, Nature, 224, 851-852

List of Appendixes

1. Cover page of M.Sc thesis by David Lopez- UNALM, Peru
2. Cover page of Field Guide and Proceedings of the Haifa Symposium, February 1995.
3. El Comercio (Newspaper) report on the project
4. Field Guide and Proceedings of the May 1997 Symposium in Lima
5. Conservacion y Abandono de Andenes. Content of the book (Spanish)
6. Inbar, M. and Llerena Pinto, C. 2000: Reprint of paper in *Mountain Research and Development*
7. Zgaier, A. and Inbar, M., 2003: Paper submitted to *Catena*
8. Zgaier, A. and Inbar, M., 2003: Paper to *Horizons in Geography* (Hebrew) Accepted.
9. Zgaier, A. 2000. Cover page of Ph.D. Thesis. University of Haifa
9. Kul-Al Arab, 29.12.2000. Arabic newspaper report on the project

Appendix 1

Universidad Nacional Agraria La Molina

Escuela de Post - Grado

Especialidad de Conservación de Recursos Forestales

Procesos de erosión hídrica en andenes abandonados de la Comunidad Campesina de San Juan de Iris - Lima

Tesis para optar el Grado de

Magister Scientiae

David López Cornelio

LIMA - PERU

1998

קמג"י - קבוצת מחקר גאומורפולוגית ישראלית
I G R G - *ISRAEL GEOMORPHOLOGICAL RESEARCH GROUP*
affiliated to : מסונף ל
האגודה הגאומורפית הישראלית
I A G - *INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOMORPHOLOGISTS*

Appendix 2

FIELD SYMPOSIUM

EROSIONAL PROCESSES IN AGRICULTURAL LAND TERRACES

EDITOR: MOSHE INBAR

UNIVERSITY OF HAIFA
2.2.1995

UNIVERSITY OF HAIFA
DEPT. OF GEOGRAPHY

29

ISSN 0793-1646

Appendix 3

El Comercio (Lima) 6-5-99

En simposio tratarán sobre los andenes

"Nuestro país donde se encuentran las regiones pobladas más elevadas del mundo, habitadas por nativos desde épocas históricas, ha desarrollado un sistema de andenes o terrazas agrícolas, que son una manifestación de la revolución tecnológica agrícola que registra la historia del hombre y tuvo lugar en el período neolítico. Hace 500 años, a raíz de la conquista española, el sistema comienza a deteriorarse, con el abandono de andenes de secano. Pero es en las últimas décadas que los cambios en la zona rural serrana son más acelerados; siendo un facto crucial en los procesos erosivos es la conservación o abandono de los andenes"...

"Estos, entre otros fenómenos comunes en áreas montañosas en diversas partes del mundo, son el tema de un proyecto de investigación que vienen realizando desde hace tres años el Dr. Moshe Inbar, de la Universidad de Haifa en Israel y el Ing. Carlos Llerena Pinto de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el marco de un convenio financiado, en parte por la Agencia de Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID). Este trabajo se viene realizando paralelamente en los antiguos andenes de la Galilea en Israel; al mismo tiempo que en los andenes de la cuenca del río Santa Eulalia, principal afluente del río Rímac, en alturas como de 2,500 a 4,000 mts.

Con este motivo, se realizará mañana y el viernes 9 un Simposio en la Universidad Nacional Agraria, La Molina, en el que ambos ambos presentarán el primer día unas 20 ponencias en los campos social, cultural, económico y físico, analizando los cambios en el medio rural andino en los últimos años.

UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA LA MOLINA

UNIVERSIDAD DE HAIFA
ISRAEL

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
NATURALEZA, CIENCIA Y TECNOLOGIA LOCAL
UNION GEOGRAFICA INTERNACIONAL
Comisión de Degradación de Tierras y Desertificación

SIMPOSIO

CONSERVACION Y ABANDONO DE ANDENES

PROGRAMA, RESUMENES Y
GUIA DE EXCURSION

Editado por:
Moche Inbar y Carlos Llerena Pinto

UNA La Molina, Lima, Perú,
Mayo 8-9, 1997

Appendix 4

PRESENTACION

El Simposio "Conservación y Abandono de Andenes", se origina por iniciativa del Proyecto: "Estudio de procesos erosivos en áreas montañosas del Perú" (C12-006), llevado a cabo por UH y UNALM y financiado en parte por USAID, con los siguientes objetivos:

1. Definir y actualizar el conocimiento de los procesos de uso y abandono de andenes

2. Presentar los estudios sobre andenes en los últimos años

3. Reunir y acercar a profesionales de distintas organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, académicas y dirigentes de comunidades, para dar a conocer y difundir las distintas y variadas actividades que se realizan sobre andenes

4. Exponer ante la opinión pública el tema de los andenes y su importancia como patrimonio cultural y económico

Comité Organizador:

Dr. Moshe Inbar (UH)
Prof. Carlos A. Llerena (UNALM)
Dr. Hildegardo Córdova (PUC)
Ing. Luis Masson (NCTL)

Auspicio:

Embajada de Israel en el Perú,
Agencia para el Desarrollo Internacional de los EE.UU. (USAID
Fundación para el Desarrollo Agrario (FDA).

PROGRAMA

Jueves 08: **AUDITORIO UNALM**

08:00 - 08:30 Registro y entrega de documentos

08:30 - 09:00 Bienvenida a la UNALM e inauguración del simposio

Ing. Hugo Nava Cueto,
Vice-Rector Académico UNALM
Palabras inaugurales:
Ing. Carlos Torres Martínez,
Director Ejecutivo, PRONAMACHCS

Sr. Alan Davis, Director,
Div. Medio Ambiente y Recs. Nats., USAID/Perú,

Sr. Joel Salpak
Embajador de Israel

09:00 - 10:40 ASPECTOS SOCIALES Y CULTURALES
MODERADOR: Dr. Moshe Inbar

1.- Dra. Carmen Felipe-Morales, UNALM, Depto. de Sue los/RAE
BALANCE ACTUAL DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE ANDENES
2.- Soc. Julio Alfaro, UNALM, Depto. de Ciencias Humanas
FACTORES SOCIO-ECONOMICO-CULTURALES Y USO DE ANDENES
3.- Antr. Fedora Martínez, Museo Nacional de Antropología, Arqueología e Historia (MNAAH)
CULTURA Y SOCIEDAD EN SAN JUAN DE IRIS
4.- Arqlo. Manuel Merino, MNAAH
ANDENES: UNA VISION DESDE LA ARQUEOLOGIA

10:40 - 11:00 CAFE Y REFRESCOS

11:00 - 12:40 ASPECTOS DEL MEDIO FISICO Y AMBIENTAL
MODERADOR: Dr. Hildegardo Córdova
1.- Ing. Raúl Dolorier, PRONAMACHCS
REHABILITACION E INVENTARIO DE ANDENES
2.- Ing. Dionisio Salas, UNALM, Facultad de Ing. Agrícola
OPERACION Y MANTENIMIENTO DE ANDENES
3.- Ing. Jerónimo García, UNALM, Depto. Fisica y Meteorología : IMPACTOS AMBIENTALES: MICROCLIMA
4.- Econs. Efraín Gonzales de Olarte y Carolina Trivelli, IEP
¿ES LA RECUPERACION DE ANDENES UNA VIA SOSTENIBLE PARA EL DESARROLLO RURAL?

12:40 - 14:00 ALMUERZO, comedor Asoc. de Docentes de la UNALM

14:00 - 16:00 EXPERIENCIAS REGIONALES
MODERADOR: Ing. Luis Masson

1.- Dr. Hildegardo Córdova, PUCP, Esp. Geografía
LOS ANDENES DEL COLCA, AREQUIPA
2.- Dr. Medardo Molina, Min. de Agricultura/Banco Mundial
RECURSOS HIDRICOS Y CONSERVACION DE ANDENES EN AUCARA, AYACUCHO
3.- Dr. Mario Tapia, CIP/CONDESAN
TERRAZAS DE FORMACION LENTA EN LA ENCAÑADA, CAJAMARCA
4.- Soc. David Canal, ADESA
LOS ANDENES DE CUSCO: SABIDURIA ANDINA, PRESENTE Y FUTURO
5.- Arqlo. Elías Mújica, CIP/CONDESAN
ANDENES DE PUKARA, PUNO: EVIDENCIAS SOBRE SUS ORIGENES

16:00 - 16:20 CAFE Y REFRESCOS

16:20 - 18:20 LA CUENCA DE SANTA EULALIA
MODERADOR: Ing. Víctor Barrena
1.- Ing. Luis Masson, NCTL
EXPERIENCIAS DE CAMPO EN LA CUENCA DE SANTA EULALIA
2.- Ing. Arq. Ernesto Paredes, Soc. Geográfica de Lima
MICROCUENCAS DE SANTA EULALIA
3.- Prof. María Benavides, UNMSM, Depto. de Antropología
ANDENERIA Y RIEGO: UNA VISION ETNOHISTORICA
4.- Sr. Willman Doria Lozano, Comunero San Juan de Iris
USO DE LOS ANDENES EN SAN JUAN DE IRIS
5.- Ing. Carlos A. Llerena, UNALM, Depto. de Manejo Forestal
CARACTERIZACION DE ANDENES DE LA CUENCA DE SANTA EULALIA
6- Dr. Moshe Inbar, Univ. de Haifa, Depto. de Geografía
PROCESOS EROSIVOS Y ABANDONO DE ANDENES

19:30 - 21:30 RECEPCION OFRECIDA POR EL EXCMO. EMBAJADOR DE ISRAEL SR. JOEL SALPAK

PROYECTO:
"PROCESOS EROSIVOS Y PRODUCCION DE SEDIMENTOS EN ZONAS MONTAÑOSAS DE PERU"

COOPERACION
UNIVERSIDAD DE HAIFA, ISRAEL,
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

El proyecto es un estudio realizado por la Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales y la Universidad de Haifa en Israel, Departamento de Geografía, dirigido por el Dr. Moshe Inbar y el Ing. Carlos Llerena Pinto con la participación de colaboradores expertos en distintos campos de la Geociencia y estudiantes de ambas universidades. Comenzó a fines del año 1993 por un período de cuatro años y fue aprobado con la financiación parcial por la Agencia de Desarrollo Internacional de los EE.UU. (USAID). La finalidad del estudio es determinar en forma cuantitativa los ritmos de erosión de suelo en los andenes agrícolas antiguos y analizar los factores que controlan los procesos erosivos.

El programa de trabajo está basado en experimentos de campo, que se realizaron en distintas parcelas en la cuenca del río Santa Eulalia, principal afluente del Río Rimac, en Upica (2800m) y San Juan de Iris (3500m y 3700m), con la finalidad de medir la escorrentía de agua y sedimentos durante períodos de lluvia. Asimismo se llevaron a cabo experimentos con un simulador de lluvias en distintos andenes cultivados y abandonados. El área de los andenes abandonados se convierte en terreno de pastoreo, proceso que incrementa la erosión, especialmente por el derrumbe de los muros.

Para extender el área de investigación se analizaron fotografías aéreas y espaciales, determinando el grado de deterioro de los andenes en varias zonas de la cuenca.

La pérdida del suelo es un proceso irreversible que afecta especialmente áreas de montaña con un alto índice de relieve. Las conclusiones tecnológicas y científicas del proyecto tendrán aplicación directa en el uso y manutención de andenes, en los sistemas de cultivo agrícola, forestal y control de riego en las zonas andinas.

RESUMENES

FACTORES SOCIOECONOMICO-CULTURALES Y USO DE ANDENES

Julio César Alfaro Moreno
Universidad Nacional Agraria La Molina
Departamento de Ciencias Humanas

En diez años de investigación realizada por el autor, con base en la experiencia del PRONAMACHCS y a la de otras instituciones como algunas ONG del norte y del sur del país, se ha podido comprobar que existen cinco factores socioeconómicos y culturales que influyen inexorablemente en los campesinos para el uso o abandono de los andenes:

La equidad del volumen de la población que habita en las laderas andinas y el volumen del área a construir o construida con cultivos que supuestamente protegen dichos andenes.

Esta equidad influye en la medida del alto número de jornales que se requieren para construir o mantener las paredes y las terrazas de los andenes; al mayor trabajo que se requiere, en la roturación del terreno, la siembra y la cosecha en relación al menor trabajo que significa una ladera sin andenes para la imagen de los campesinos; y a la menor rentabilidad que otorga la ganadería en lugares despoblados o con actividades dobles campo-ciudad.

La consistencia de la organización comunal o grupal de los campesinos.

La organización comunal no sólo proporciona una mano de obra coordinada y voluminosa, una autoridad (premios y sanciones) para construir o mantener los andenes, sino es una forma de potenciar la energía subjetiva que se requiere para la valorización de la tierra. Las fiestas, los rituales que otorgan a la andenería no sólo un significado económico sino humano y relacionado con el sentido de su existencia.

En muchos lugares andinos donde la organización comunal ha sido barrida por la modernización, quedan los grupos de trabajo que en pequeño reproducen dichas organizaciones, dependiendo también la suerte de los andenes de la consistencia de estos grupos de trabajo.

Al revés de lo que puede pensarse, el futuro de los andenes del Perú no depende de la conservación de las tradiciones andinas *strictu sensu*, sino

en la posibilidad de ligar su conservación al proceso de modernización propia del área andina. Al inicio los andenes son apoyados por las organizaciones y comuneros con mayor tradición y conservadurismo, posteriormente este sector los abandona. A difererencia del comportamiento social de los agricultores con mentalidad más moderna, que se interesan cuando los andenes se diseñan para el riego; para el uso de insumos, como el humus de lombriz; para tener reservorios; para ser labrados con tecnologías como la yunta o la maquinaria agrícola, etc.

La valorización de la tierra y el agua son factores clave en la comprensión del uso o abandono de los andenes, el apego al terruño, la posibilidad de permanecer por un tiempo importante en su hábitat, el proyecto de vida en sus pueblos, la revalorización modernizada de su cultura, son elementos muy favorables a la conservación y al uso de los andenes. En cambio el desprecio al terruño, el plan de vida fuera de la comunidad, la creencia en un progreso que supone un abandono de sus antiguas costumbres, son elementos opuestos al uso y conservación de andenes.

La tradición andeneril y las posibles alianzas de unas organizaciones comunales con otras para acometer trabajos conjuntos, con una visión de manejo de microcuencas en medio de una promoción institucional que favorece la competencia leal (concursos) entre los pueblos, es un factor decisivo en el uso y conservación de andenes. Al revés, la poca tradición de construcción de andenes, la descoordinación y competencia desleal, con conflictos con pocas posibilidades de resolverse, son elementos que dificultan y hasta imposibilitan la continuidad en el uso y favorecen la destrucción de andenes, o su poca o nula conservación.

ANDENES Y RIEGO EN EL PERU: UN ANALISIS DE INFORMES COLONIALES Y REPUBLICANOS

María A. Benavides
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Departamento de Antropología

Desde la época de la colonia hasta el presente, los estudiosos de la zona andina se han interesado por el sistema agrícola de andenes irrigados. Este interés refleja la importancia que ha tenido el sistema a través del tiempo, específicamente para el cultivo andino tradicionalmente más prestigioso, el maíz. Ya en el siglo XVI, Guamán Poma de Ayala comentaba sobre el abandono de andenes irrigados; pero no hay consenso sobre los motivos acerca de la gran cantidad de andenes abandonados que se observa en la actualidad.

Esta ponencia presenta los comentarios de cronistas españoles de los siglos XVI y XVII, que se admiraron frente al espectáculo de la andenería irrigada; señala algunos motivos para su abandono ya en aquella época; y menciona ejemplos del siglo XX, en los cuales se ha desmantelado andenes para cultivos que han reemplazado al maíz. Se hace referencia a algunos casos específicos de la campaña para la rehabilitación de andenes de décadas recientes, en las cuales han surgido problemas debido mayormente al hecho que no se ha tomado en cuenta los contextos cambiantes de la población afectada. También se señala la estrecha vinculación que existe entre andenes y riego, y se plantea que el fin principal de los andenes, por lo menos en el vertiente occidental andino, es facilitar el riego, indispensable para la agricultura y el pastoreo, lo que estaría demostrado por el hecho que aun donde se desmantelan los andenes, se mantiene el sistema de riego. La ponencia propone como conclusión que, así como las culturas de los pueblos se construyen y reconstruyen constantemente, así también las tecnologías se van modificando dentro de los contextos cambiantes; y que la tecnología tradicional de andenes irrigados es solamente una de las muchas manifestaciones culturales andinas que se modifican a medida que cambian las prioridades de la población.

LOS ANDENES DEL COLCA, AREQUIPA

Hildegardo Córdova Aguilar
Pontificia Universidad Católica del Perú

El Valle del Colca constituye uno de los lugares más conocidos por su arquitectura de andenes en el lado occidental andino. A partir de la década de 1970 se han venido realizando diferentes estudios sobre la historia, arqueología, arquitectura, agricultura, manejo de recursos naturales y organización social de las comunidades del Colca, destacando siempre la belleza de sus andenes.

En esta ocasión les hablaré sobre el proyecto titulado "La Ecología Cultural, Arqueología e Historia de los Andenes y su Abandono en el Valle del Colca, Sur del Perú", dirigido por el geógrafo Dr. William M. Denevan, de la Universidad de Wisconsin-Madison. Este proyecto se realizó durante 1984 y tuvo como objetivo principal el realizar estudios relacionados con la historia y ecología de la construcción de andenes que podrían contribuir

al entendimiento de las fluctuaciones en su uso y abandono en el Valle del Colca. El estudio se concentró en la Comunidad de Coporaque y los resultados fueron publicados en un reporte para la NSF en dos volúmenes.

Entre los hallazgos de este estudio está el que las terrazas más antiguas (fechadas con C-14) fueron construidas entre los años 400 a 450 DC, y que en este tiempo no usaron riego artificial. Luego, los cambios climáticos que sucedieron en los siglos V al VII produjeron sequías prolongadas que obligaron a abandonar a algunas de estas terrazas ubicadas en los lugares más altos. Asimismo, las sequías hicieron necesaria la construcción de canales, dando lugar al paisaje que actualmente se tiene.

EXPERIENCIAS DEL PRONAMACHCS EN REHABILITACION Y CONSERVACION DE ANDENES EN LA COMUNIDAD DE SAN JUAN DE IRIS-SANTA EULALIA

Raúl Dolorier Manzaneda
PRONAMACHCS

El Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS) es un órgano desconcentrado del Ministerio de Agricultura, que tiene como objetivos diseñar, promover y ejecutar estrategias y acciones técnicas, administrativas y de gestión, para el manejo integral de cuencas hidrográficas mediante la conservación de suelos, reforestación y ejecución de obras de infraestructura rural, con el fin de proteger y aprovechar racionalmente los recursos naturales renovables y de capital así como elevar el nivel de vida de los agricultores de las zonas altoandinas.

La rehabilitación de andenes y el inventario de andenes y obras hidráulicas tradicionales en microcuencas, son parte de un conjunto de propuestas que el PRONAMACHCS promueve en todos los sectores de la actividad económica-social presentes en la microcuenca y en especial la participación activa y concertada con los agricultores.

El PRONAMACHCS, a la fecha, ha ejecutado los inventarios de andenes de las microcuencas ubicadas en las provincias de Abancay, Antabamba, Aymaraes, Grau, Parinacochas, Lucanas, Caylloma, Condesuyos, Tarma, Caraz, Urubamba, Calca, Quispicanchis, Cusco, Anta, Canchis, Canas, Acomayo y Paruro. La finalidad de estos inventarios radica en conocer el estado de conservación de estas infraestructuras precolombinas y de ser necesaria su rehabilitación, efectuar las gestiones para buscar un financiamiento que permita incorporarlas al proceso productivo.

En la microcuenca Santa Eulalia, el PRONAMACHCS, desde 1993, previamente a la rehabilitación de andenes, viene promoviendo la ejecución del mejoramiento de la infraestructura de riego, así como se tiene previsto mejorar el reservorio de Anchicocha, que es el más importante en la comunidad de San Juan de Iris. A partir de 1994 se inicia el trabajo de rehabilitación de andenes con agricultores individuales y el apoyo de un fondo rotatorio de semillas. A la fecha se cuenta aproximadamente con 88 ha de andenes rehabilitados.

En la comunidad de San Juan de Iris no existe la tradición de efectuar el mantenimiento y rehabilitación de andenes (Ilumay), por lo que como primer paso se promovió la organización de un comité para la ejecución de las diferentes actividades conservacionistas, así como la administración de los fondos rotatorios. Del mismo modo, se identificaron dos prmotores comunales quienes, previa capacitación y asistencia técnica, dirigen la ejecución de las obras. En el presente año se tiene previsto rehabilitar 20 ha de andenes ubicados en el sector Maizal.

USO DE LOS ANDENES EN SAN JUAN DE IRIS

Willman Doria Lozano
Comunero, San Juan de Iris

Los andenes de la Comunidad de San Juan de Iris se encuentran en distintas áreas siendo las más importantes: Maizal, al Noroeste y por debajo del pueblo, Pairataca hacia el Noreste, Huaycanampo al pie del Marcahuasi hacia el Oeste, que es un sector de secano con cultivos temporales; y Anta. En total hay 75 comuneros activos y cada uno tiene dos o tres chacras en cada zona.

En los andenes de secano se cultiva la papa en los años con suficiente lluvias. La rotación de cultivos es: el primer año maíz, el segundo habas y el tercero papa. La alfalfa se cultiva especialmente en las zonas altas, del pueblo hacia arriba, en "potreros" o parcelas cercadas.

Todos los andenes de Iris son comunales, y los comuneros tienen acceso a ellos con autorización de la comunidad. En los últimos 20 años

se incrementó el cultivo de alfalfa en andenes y se desarrolló la ganadería, que proporciona leche para la elaboración de quesos que son vendidos. Antes la mayor parte del cultivo era para autoconsumo.

Actualmente están rehabilitando la represa comunal de agua para ampliar los cultivos. El agua se distribuye por turno entre los campesinos. Las herramientas de trabajo son la zapa, barreta, pala y tacila. En la construcciOn de andén se acostumbra un previo chaccheo de coca. La mujer participa en el trabajo, especialmente "terronean" el suelo con el mazo.

Se ha perdido en parte la costumbre de manutención de andenes por migración parcial de la población. En comunidades vecinas se nota más abandono y el orden de "mejor utilización" es el siguiente: San Juan de Iris, Carampoma, Huanza, Laraos.

BALANCE DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE ANDENES EN EL PERU

Carmen Felipe-Morales B.
Universidad Nacional Agraria La Molina
Departamento de Suelos/RAE

Los peruanos de la época prehispánica eran conscientes de las limitaciones de su medio, sobre todo en lo referente a la escasa disponibilidad de agua y suelo para el desarrollo de la actividad agrícola. Sin embargo, en vez de amilanarse supieron superar con ingenio esta situación, desarrollando diversas tecnologías de aprovechamiento, manejo y conservación de estos recursos escasos, fundamentales para su sobrevivencia. Algunas de estas tecnologías que aún se conservan y se usan por las poblaciones tradicionales son los andenes.

Cabe reconocer que gran parte de las investigaciones efectuadas sobre andenes, han sido efectuadas mayormente por científicos sociales. Son relativamente pocos los investigadores en ciencias naturales, e ingenieros, que se han interesado seriamente sobre el tema, a pesar de encontrarse en muchos casos con mejores herramientas metodológicas y criterios científicos para interpretar el funcionamiento de dichas tecnologías. Es en relación a estos aportes que versará el presente documento, sin por ello pretender abarcar todas las investigaciones efectuadas sobre esta tecnología de manejo y conservación de los recursos hídricos y edáficos que los antiguos peruanos desarrollaron.

LOS ANDENES Y SU MICROCLIMA

Jerónimo García V.
Universidad Nacional Agraria La Molina
Departamento de Física y Meteorología

Los andenes pueden definirse como la modificación, por acción del hombre, de la topografía de las tierras con pendientes con el propósito de hacer un mejor aprovechamiento de los recursos suelo y clima.

En lo que concierne al clima, con la presencia de los andenes se consigue crear y mejorar microclimas, cuyas características más resaltantes son:

a) Presencia de ambientes protegidos del efecto de transferencia advectiva de energía, CO_2 y vapor de agua.

b) Reducción de cambios temporales y conservación de los componentes del efecto invernadero de la atmósfera (CO_2, H_2O, otros gases y aerosoles).

c) Crear ambientes de turbulencia o mezcla que reducen el ritmo de pérdida de la energía almacenada.

¿ES LA RECUPERACION DE ANDENES UNA VIA SOSTENIBLE PARA EL DESARROLLO RURAL?

Efraín Gonzales de Olarte/ Carolina Trivelli
Instituto de Estudios Peruanos

En la línea de los estudios sobre sostenibilidad ambiental y desarrollo agrícola, la relativa escasez de tierras de cultivo en la zona andina y la presión poblacional han llevado a la agudización de la pobreza rural y a un uso ineficiente de los recursos. En estas zonas la posibilidad de cultivar en andenes constituye un medio históricamente utilizado de habilitación de tierras de cultivo en terrenos con pendiente con lo cual se logra una imprescindible ampliación de la frontera agrícola. Asimismo, el cultivo en andenes es una técnica eficaz para evitar la erosión de los suelos, que constituye en la actualidad un grave problema para la agricultura andina. Existen, en consecuencia, importantes razones para explorar la posibilidad de que la recuperación de andenes se constituya en una estrategia para el desarrollo rural.

Actualmente, existe gran cantidad de territorio con andenería abandonada, alrededor de un millón de hectáreas según el inventario del INRENA (antes Oficina Nacional de Recursos Naturales, ONERN 1988). Curiosamente, en muchos casos, esta andenería se ubica cerca a otros andenes en uso; la pregunta es, ¿a qué se debe esto? Hemos identificado, hasta el momento, la existencia de al menos cuatro condicionantes esenciales que limitarían -por lo menos de manera parcial- el uso actual de los andenes: las posibilidades físicas de rehabilitación, las limitaciones organizativas institucionales y técnicas, el entorno macroeconómico - políticas desfavorables para la agricultura- y la existencia de limitados recursos financieros para este tipo de inversiones. Es necesario, entonces, verificar cuáles de estas limitaciones están presentes -a nivel global y departamental- y cuáles las reales posibilidades de hallar en la recuperación de los andenes una vía hacia el desarrollo rural sostenible.

El objetivo general es estudiar la potencialidad y viabilidad de la recuperación de andenes como una vía para avanzar hacia el desarrollo rural sostenible, que permita combinar un análisis exploratorio de factibilidad económica con los requerimientos de sostenibilidad ambiental bajo las restricciones institucionales existentes.

Los objetivos específicos son: a) Completar el análisis del inventario de andenes existente (ONERN 1988) con la nueva información recogida por ONERN en distintos departamentos del país; b) Desarrollar el estudio de los marcos institucionales existentes y su relación con la puesta en funcionamiento de los andenes recuperados; c) Analizar el nuevo contexto macroeconómico y políticas sectoriales para responder a la pregunta ¿es posible la recuperación de andenes en una economía liberalizada?

El producto del proyecto será un estudio con análisis global y por departamento sobre la potencialidad de la recuperación de andenes como medio para contribuir al desarrollo rural sostenible, considerando las distintas restricciones institucionales identificadas, la viabilidad económica (análisis costo-beneficio) y los requerimientos de sostenibilidad ambiental.

El principal beneficio de realizar el estudio será la obtención de un marco orientador para instituciones gubernamentales, agencias de cooperación y organizaciones no gubernamentales, sobre la estrategia de recuperación de andenes para el desarrollo rural sostenible. En segundo lugar, serán beneficiarios directos del estudio los propietarios de andenes - abandonados y actualmente en uso- y las comunidades campesinas que poseen extensiones importantes de andenería que podrían ser recuperados con miras a la mejora sostenida en sus niveles de producción y bienestar (reducción de la pobreza).

PROCESOS EROSIVOS Y ABANDONO DE ANDENES

Moshe Inbar
Universidad de Haifa, Israel

La formación del andén en las laderas montañosas se origina con la construcción del muro que retiene el suelo, almacena el agua y crea una superficie de moderado relieve que permite el cultivo y el riego. El abandono del andén y su uso agrícola tiene un efecto negativo y promueve el proceso de erosión del suelo. La tendencia en las últimas décadas es abandonar el cultivo de los andenes, transformándose tal área en zonas de pastoreo sin mantenimiento o rehabilitación de los andenes degradados.

El objetivo del presente estudio es determinar los valores y analizar los procesos de erosión de andenes andinos.

El programa de estudio se basa en trabajos de campo: 8 parcelas de experimentación con áreas de 50 m a 100 m fueron instaladas en Upica (2500m) y San Juan de Iris (3500-3800 m) en la cuenca superior del río Santa Eulalia, principal afluente del río Rimac. En las parcelas se colecta el agua y sedimentos de escorrentía durante el período de lluvias. Un simulador de lluvias se utilizó para analizar ritmos de infiltración y escorrentía en andenes con distintas características morfológicas. Por intermedio de un estudio morfométrico de cerca de 300 andenes se establecieron características topográficas, morfológicas y el estado de degradación de andenes en diferentes zonas.

Durante el período 1995-1997 no se registraron eventos de intensas lluvias y las precipitaciones anuales fueron inferiores a las medias. Los valores de escorrentía estuvieron en el rango de 0.8- 1.6 l/m² y el acarreo de sedimentos entre 0.5 g/m² y 1 g/m² por evento de lluvia intensa. En los días de lluvia leve, con menos de 10 mm/día, no se registró por lo general escorrentía. Los valores de infiltración del agua son altos y superan la intensidad de la mayor parte de las lluvias. En terrenos con gran declive se registró escorrentía.

El proceso de derrumbe del muro es el más importante en la erosión del andén y se manifiesta en una etapa inicial de abombamiento o pandeo del muro por presión lateral del suelo; posteriormente por presión tangencial el muro se divide en dos partes y cuando el ángulo entre ellas llega a un valor crítico, el muro se derrumba.

Los derrumbes ocurren durante eventos catastróficos de lluvias con alta intensidad y frecuencias de cada 5 o 10 años. Después del derrumbe, con el aumento de la pendiente en el andén se acrecentan los procesos de erosión superficial y la degradación del suelo.

CARACTERIZACION DE ANDENES DE LA CUENCA DE SANTA EULALIA

Carlos A. Llerena Pinto
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad Nacional Agraria La Molina

La cuenca del río Santa Eulalia, a 40 km de Lima, destaca por su importancia para el abastecimiento de energía a la capital del Perú y es conocida por sus obras hidroenergéticas (Sheque, Huinco, Barbablanca, etc.); sin embargo, sus áreas agrícolas desarrolladas tradicionalmente sobre andenes que sustentan a sus numerosas comunidades, son prácticamente ignoradas.

Esta ponencia muestra las características generales de los andenes en la cuenca de Santa Eulalia, poniendo especial atención a los de las comunidades de San Juan de Iris (Marcahuasi y Pairataca), Laraos y San Pedro de Casta (Upica), construidos en elevaciones desde los 2500 msnm en Upica, hasta los 3700 msnm en Marcahuasi.

En las zonas indicadas se midieron 243 andenes distribuidos en la siguiente forma: Marcahuasi 69, Pairataca 73, Laraos 91 y Upica 10. Las mediciones fueron tomadas durante el año de 1994 en los meses de Febrero y Setiembre (Upica); y en 1995 en Agosto (las demás zonas). Fue considerada la siguientes información de los andenes: ubicación (altitud y exposición); características de la plataforma (largo, ancho, área, pendiente, pedregosidad, uso, cobertura vegetal y grado de abandono); y características del muro (altura, diámetro de las piedras, cobertura vegetal y curvatura).

Algunos resultados destacables en la muestra estudiada son los siguientes: en Marcahuasi casi todos los andenes son de cultivo en secano; mientras que en las demás zonas el uso es (o puede ser) bajo riego. Las zonas más abandonadas están en Marcahuasi y Laraos. Las plataformas de mayor área, aunque con mayor pedregosidad, están en Laraos que también presenta las pendientes promedio más bajas. Las plataformas más pequeñas están en Upica. La mayor densidad de cobertura vegetal en la época seca, se observa en Marcahuasi. Con respecto al muro, los más altos están en Pairataca y Laraos; no hay mayores diferencias en los diámetros promedios de las piedras de la pared (aprox. de 20 a 23 cm); el mayor recubrimiento de plantas (arbustos en más del 50% de casos) se encuentra en los muros de Marcahuasi, los cuales presentan consecuentemente la proporción más alta (36%) de muros con curvatura notoria (pandeo), índice claro de su proceso de deterioro.

CULTURA Y SOCIEDAD EN SAN JUAN DE IRIS

Fedora Martínez
Museo Nacional de Arqueología,
Antropología e Historia del Perú

San Juan de Iris es una comunidad campesina ubicada en la cuenca alta del río Santa Eulalia; documentos coloniales indican que el pueblo formaba parte de la Doctrina de San Pedro de Casta; sin embargo, durante las últimas fases prehispánicas conformó la Huaranga de Santiago de Carampoma.

Desde la perspectiva fiscal, la población fue organizada a través del tributo, generando una serie de estrategias para adecuarse al sistema. A inicios de la república existe el proyecto liberal para la construcción de ciudadanía; el tributario debería convertirse en ciudadano, sin embargo la urgencia de la caja fiscal "reactiva" el tributo bajo la forma de contribuyentes. La protección estatal del entorno comunal fue la vía.

Las comunidades campesinas actuales son el resultado de procesos nacionales cohesionadores y excluyentes. Preguntarnos en qué tipo de proceso nos hallamos servirá para aplicar planes de desarrollo adecuados.

Estructura de la exposición:

1. Antecedentes prehispánicos: - Patrones arquitectónicos - Organización social y política
2. Poblamiento colonial: - Patrón arquitectónico - Organización social y política - Tributarios y forasteros

3. Ser peruano en el siglo XIX
4. Comunidad campesina: estructura y función
5. Desarrollo y cambio cultural
6. Conclusiones

EXPERIENCIAS DE CAMPO EN LA CUENCA DEL RIO SANTA EULALIA

Luis Masson Meiss
Naturaleza, Ciencia y Tecnología Local

Se relata una síntesis de las principales experiencias y conclusiones que, en relación con el manejo de la cuenca, vienen siendo obtenidas por

la asociación civil sin fines de lucro "Naturaleza, Ciencia y Tecnología Local para el servicio social", desde que en 1982 se realizara un Inventario de los andenes existentes en dicho ámbito.

Se describe la experiencia obtenida concerniente a la reconstrucción de andenes, la rehabilitación de la infraestructura hidráulica, el conocimiento de la flora nativa y el rescate del germoplasma de papa nativa, así como el reconocimiento de tecnologías agrícolas tradicionales, entre las actividades principales.

Y, por sobre todo ello, se inicide en la necesidad de tomar decididamente en cuenta al hombre que habita en un medio de topografía sumamente accidentada y clima muchas veces hostil, como actor principal dentro de las actividades de manejo de las cuencas.

ANDENES: UNA VISION DESDE LA ARQUEOLOGIA

Manuel F. Merino
MINAAH

El área andina central históricamente es importante por varios motivos: fue una de las pocas áreas nucleares que se dieron en el mundo, fue centro de origen y de domesticación de muchas plantas.

El hecho se situarse cerca del Ecuador, la presencia de la Cordillera de los Andes y de la Corriente de Humboldt, permiten que el territorio andino central presente múltiples zonas de vida natural. Muchas de ellas se caracterizan por su aridez, temporada de lluvias marcadamente estacional y por tener un relieve bastante quebrado.

Las antiguas sociedades andinas desarrollaron una tecnología agrícola compleja para hacer producir este territorio disímil. Una de ellas justamente debía plantear alternativas a lo quebrado de nuestro territorio y maximizar el recurso hídrico; nos referimos a los andenes, bancales, terrazas o agricultura en ladera.

En esta breve exposición trataremos los siguientes puntos: antigüedad de los andenes, en qué zonas se originaron, hasta dónde se expanden, breve tipología de andenes por zonas de vida natural.

MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y LA CONSERVACION DE ANDENES. EL CASO DE LA COMUNIDAD DE AUCARA (AYACUCHO)

Medardo Molina
Banco Mundial

"... En estas quebradas hay algunas fuentes y manantiales, mas el agua de que se aprovechan, generalmente para sus sementeras, baja de la tierra alta llana que hemos dicho que se llama *puna*, y no es falta de agua, porque a todas las sementeras de los indios alcanza ***y donde no hay agua no siembran***, y ansi tienen competentemente la que ha menester". (Descripción de la Tierra del Departamento de los Rucanas, Antamarcas de la Corona Real, Jurisdicción de la Ciudad de Guamanga, Año de 1586).

Este párrafo indica que en la época de los Incas, en lo que es hoy la comunidad de Aucará, el uso de la tierra estaba condicionada a la existencia de una sola fuente de agua (la proviente de las punas).

Con el paso del tiempo hubo necesidad, por una parte, de aumentar las áreas cultivadas empleando aguas diversas (manantiales, ríos, lagunas), en lugares donde es más difícil el mánejo adecuado del agua, conduciendo en general a derrumbes y destrucción de los andenes.

Pero, por otra parte, aunque parezca paradójico, también la escasez o ausencia de aguas para el cultivo han conducido a la desaparición de andenes y esto, simplemente, porque al no ser cultivados, éstos son abandonados y desaparecen.

El trabajo describe y discute estos casos observados en esta comunidad andina del Perú.

ANDENES DE PUKARA, PUNO: EVIDENCIAS SOBRE SUS ORIGENES

Elías Mujica Barreda
Centro Internacional de la Papa
Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina

El altiplano del Titicaca, ubicado en la frontera actual entre el Perú y Bolivia, es una extensa llanura con características de estepa de gramíneas interrumpida ocasionalmente por accidentes geográficos. Se encuentra a una altitud promedio de 4,000 msnm., fluctuando entre los 3,812 msnm a

orillas del lago hasta por encima de los 5,000 msnm en las cumbres nevadas de las montañas que lo rodean. El día de hoy es uno de los lugares más deprimidos y pobres de los Andes. Tradicionalmente se argumenta que esta situación se debe al difícil medio ambiente existente, caracterizado fundamentalmente por: su altitud, que lo ubica en los límites superiores de vida animal y vegetal; la imprevisibilidad de las lluvias, que de manera irregular cambia de años de inundaciones a otros de extrema sequía; por la marcada alternancia climática diaria, que hacen del día veranos calurosos y de las noches inviernos frígidos; factores que de uno u otro modo limitarían la capacidad productiva del altiplano. En resumen, el día de hoy se piensa que el medio ambiente natural del altiplano del Titicaca aparentemente no es apto para el desarrollo exitoso de las sociedades.

Pero, por el contrario, estamos en condiciones de afirmar que el "empobrecimiento" del altiplano del Titicaca es un fenómeno relativamente tardío. Muestra de ello son, en primer lugar, los templos cristianos españoles de los siglos XVI y XXVII dispersos en los entornos del lago, que reflejan la concentración de riquezas temprano en la Colonia (Gutiérrez *et. al.* 1979). En segundo lugar sabemos, gracias a las visitas administrativas del siglo XVI (Diez de San Miguel [1567], Gutiérrez Flores [1574], Gutiérrez Flores y Ramírez Zegarra [1573], Osorio de Quiñones y Ramírez Zegarra [1581-1583]), que el altiplano del Titicaca fue sumamente rico a la llegada de los europeos, a tal extremo que el territorio que durante la época precolonial correspondía a los Lapaqa fue entregado a la Corona española conjuntamente con la isla Puná en el golfo de Guayaquil y Chincha en la costa peruana. Más aún, los cronistas españoles como Cieza de León [1553], Matienzo [1567] y Polo de Ondegardo [1571], aseguran que ésta fue una de las áreas más pobladas del nuevo mundo. Y en tercer lugar, las investigaciones arqueológicas desde principios del presente siglo han demostrado que el altiplano del Titicaca fue cuna de civilización, uno de los pocos lugares del mundo en donde emergió la civilización de manera autónoma.

Podemos definir a grandes rasgos como sociedades complejas en el altiplano del Titicaca a aquellas que se caracterizaron por la construcción de centros urbano-ceremoniales monumentales en donde se requirió de un poder centralizado capaz de aglutinar y manejar una considerable cantidad de energía humana y mantenerla con un excedente productivo; por la capacidad de implementar una adecuada tecnología para la producción y transformación de recursos agrícolas y ganaderos; por el logro de una sofisticada manufactura de cerámica, metalurgia, textilería y escultura lítica; y que supieron establecer una peculiar organización económica "complementaria" que les permitió tanto el control de un territorio nuclear altoandino como el acceso a ecologías diversas situadas a largas distancias a través de diversos mecanismos: colonias permanentes en los valles mesotérmicos de las laderas de los Andes e intercambio a larga distancia con grupos étnicos contemporáneos (Mujica 1985). Este desarrollo complejo, sin duda alguna, fue posible gracias a un manejo inteligente y coherente de un medio ambiente natural que no hemos sabido aprovechar desde la invasión europea del siglo XVI.

La sociedad compleja más temprana de la cuenca norte del Titicaca fue la conocida el día de hoy con el nombre de **Pukara**. El sitio tipo es el pueblo de Pucará, que se encuentra en el kilómetro 106 de la actual carretera que une la ciudad de Puno, a orillas del lago Titicaca, con la del Cusco, y a 3,950 msnm. El sitio arqueológico abarca una extensión aproximada de 6 kilómetros cuadrados, área en donde se encuentran finas muestras de esculturas líticas, cerámica de magnífico acabado y de gran valor artístico, un asentamiento poblacional cuyas características señalan que estamos ante el primer asentamiento urbano del altiplano del Titicaca, y todo esto asociado a un complejo ceremonial con arquitectura sumamente elaborada.

El surgimiento y desarrollo de las sociedades complejas en la cuenca norte del Titicaca fue posible, por lo menos en parte, gracias al desarrollo de una tecnología apropiada para el manejo adecuado de las condiciones particulares de la cuenca. La cercanía de las "qochas" de Llallahua permiten a Jorge Flórez postular que esta tecnología fue probablemente desarrollada inicialmente por los Pukara. En cuanto a los camellones o "waru waru", Clark Erickson enfatiza su utilización extensiva durante esta época. Pero, es poco lo que se ha investigado sobre los andenes, la tercera agropaleotecnología de importancia altoandina.

La ponencia tendrá los siguientes objetivos: a) Presentar información resumida sobre el proceso histórico temprano en la cuenca norte del Titicaca, con especial referencia a Pukara y el surgimiento de sociedades complejas; b) Ofrecer una revisión crítica de la información existente sobre los andenes prehispánicos de la cuenca del Titicaca; c) Ofrecer evidencias de lo que probablemente son los andenes agrícolas más tempranos de la cuenca; y d) Dar una opinión personal sobre la manera cómo se han ejecutado los proyectos de desarrollo concernientes a la recuperación o "reinvención" de andenes en el altiplano del Titicaca.

POTENCIAL PRODUCTIVO DE LAS MICROCUENCAS DE SANTA EULALIA

Ernesto Paredes Arana
Sociedad Geográfica de Lima

Con la finalidad de establecer una metodología de investigación para la evaluación del potencial productivo de microcuencas, la Sociedad Geográfica de Lima efectuó un estudio con el auspicio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. La hipótesis del trabajo establecía que los espacios geográficos en el nivel de espacios menores carecen de una deficiencia de información en cuanto a su distribución, calidad, cantidad y potencial.

El valle de Santa Eulalia por sus características de facilidad de acceso de Lima fue escogido junto con el valle medio del Rímac (San Mateo) como área de trabajo para la investigación cuya finalidad última era determinar oportunidades de inversión tanto del sector privado como del sector público.

Los problemas que se presentan se pueden agrupar en tres grandes rubros: 1) El bajo nivel del desarrollo social; 2) El bajo nivel de desarrollo económico; 3) La subutilización de la oferta ambiental.

El bajo nivel de desarrollo social se caracteriza por: a) La insuficiente cobertura de los servicios de salud y educación; b) El bajo nivel de instrucción y la baja recepción del proceso de cambio e innovación; c) El déficit de infraestructura y servicios urbanos; d) El bajo nivel de renta familiar y calidad de la vivienda; e) El bajo nivel de coordinación y apoyo entre las organizaciones locales y las instituciones públicas.

Dentro de las potencialidades vinculadas al desarrollo del área de estudio se destaca: - El variado y significativo potencial de recursos naturales, base física para la satisfacción de las necesidades del poblador; - La autogeneración de su fuerza de trabajo para la realización de actividades económicas y la producción de bienes y servicios; - La organización comunal, factor fundamental del campesinado andino para el desarrollo de formas de colaboración mutua y la generación de satisfactores sinérgicos; - La capacidad de adaptación del hombre andino a su medio.

Conjunto de potencialidades que, en el marco de un enfoque integrador, pueden sustentar un proceso de desarrollo capaz de promover cambios y mejoras en la estructura social, económico-productiva y espacial de las microcuencas.

La propuesta de acción: Oportunidades de inversión y actividades integradas.

El bajo nivel de desarrollo económico está caracterizado por: a) El predominio del sector primario; b) Los bajos rendimientos de las actividades agrícolas y ganaderas; c) El escaso grado de transformación industrial de sus producciones; d) La baja consolidación del sector servicios; e) La subutilización de la oferta ambiental.

Esta subutilización se presenta principalmente a través de las siguientes manifestaciones: a) Aprovechamiento parcial del potencial de recursos hídricos; b) Aprovechamiento parcial y selectivo de recursos minerales del subsector metálico; c) Escaso aprovechamiento del potencial de suelos con aptitud forestal y de pastos; d) Escaso aprovechamiento de los recursos ecológico-paisajístico.

En el estudio se examinó las potencialidades y capacidad productiva del área de estudio en Santa Eulalia que reúne un variado e importante potencial de recursos naturales particularmente, la ambiental para el desarrollo de oferta turística recreacional para el gran mercado vecino de Lima Metropolitana. Estos recursos aunados al potencial del colectivo humano posibilita la promoción y gestación de un proceso de desarrollo gradual, que en mediano y largo plazo se exprese en un conjunto de mejoras de calidad de vida del poblador.

En ese sentido, para la identificación y selección de proyectos localizados se han considerado criterios de orden económico, social, organizativo y físico-espacial; de manera que la presentación de éstos, en una matriz sectorial y a través de un perfil, tengan referencias tanto de la localización como del proyecto en sí.

OPERACION Y MANTENIMIENTO DE ANDENES

Dionisio Salas Pinto
Universidad Nacional Agraria La Molina
Facultad de Ingeniería Agrícola

La agricultura en terrazas es un fenómeno ligado a civilizaciones superiores, muy bien organizadas y de alta densidad demográfica.

Determinadas condiciones de clima y topografía actuaron como incentivos para su invención. Los andenes son obra de y para un mundo de dimensiones humanas. Sobre ellos, a lo largo del tiempo, se han sucedido alternadamente los fenómenos de abandono y degradación, repoblado y reconstrucción en los cuatro continentes donde fueron construidos.

Son estructuras frágiles sujetas permanentemente a fuerzas como la gravedad, sismos, lluvias, estiajes, flora, fauna y el hombre, que tienden a recuperar el talud natural de la ladera. Manejarlos bien implica evitar la saturación profunda del suelo, evitar que el agua escurra por encima del muro, prevenir derrumbes, conservar la nivelación y reconstruir pronto los muros caídos; para asegurar su funcionamiento como ecosistema.

LA HABILITACION DE TERRAZAS DE FORMACION LENTA LA ENCAÑADA, CAJAMARCA

Mario E. Tapia
Condesan / Aspaderuc

En la región de la sierra del Perú, al norte de la latitud 8 S. existen escasas evidencias de la construcción de andenes prehispánicos, sin embargo el avance en el uso inapropiado de la tierra con fines agrícolas de gran parte de las zonas de laderas, ha ocasionado serios problemas de erosión con la pérdida de suelos y la formación de carcavas, así como problemas en la disminución de la producción de la mayoría de cultivos.

Por estas razones desde aproximadamente unos 20 años la Universidad de Cajamarca, la agencia regional de Pronamachcs, así como varias ONG, han venido esforzándose en promover diversas técnicas de conservación de suelos como una alternativa para el manejo adecuado de esos terrenos.

Una de las experiencias más resaltantes ha sido la que han llevado a cabo conjuntamente la ONG Aspaderuc y la oficina de Pronamachcs en la microcuenca del río Encañada-Tambomayo, en la que en una extensión de 12,000 ha se han habilitado cerca de 1,000 ha con diversos tipos de terrazas de formación lenta. Las experiencias realizadas nos muestran que las terrazas y sus resultados son muy variables ya que pueden diferenciarse terrazas en diferentes zonas agroecológicas, en diferentes clases de suelos, pendientes, lo que ofrece variadas situaciones para efectuar una evaluación apropiada.

Los resultados hasta la fecha indican además que el proceso en la estabilización de las terrazas y puesta en producción es un proceso que puede demorar entre 4 a más de 10 años hasta que se consigan las condiciones físico-estructurales del suelo que permitan una producción sostenible. Algunas evaluaciones efectuadas en la zona muestran pequeños incrementos en los suelos con terrazas en materia orgánica, así como el incremento en la captación de humedad.

Los incrementos esperados en la producción de los cultivos se considera que no son suficientemente tangibles y dependen de diversos factores, entre ellos las condiciones climáticas, el manejo de la fertilidad de los suelos después de la construcción de las terrazas, así como de la pendiente y profundidad inicial del suelo.

Por estas razones se ha iniciado un trabajo de evaluación individual de los diferentes tipos de terrazas, que debe considerar estos factores para una evaluación integral del costo beneficio de la habilitación de las terrazas.

Viernes 09: VISITA CUENCA SANTA EULALIA Y COMUNIDAD SAN JUAN DE IRIS

07:00
Salida del Hostal Collacocha, Calle A. Reyes 100, final de Paseo Parodi, San Isidro, (teléfono 442-3900)

07:20
Salida de la Primera puerta UNALM

10:00 - 10:30
Parada Puente Autisha

12:00 - 12:30
Circuito Sheque-Carampoma

13:00 - 13:30
Llegada a San Juan de Iris. Visita al Museo

13:30 - 14:00
Saludo a Autoridades de la Comunidad de Iris

14:00 - 15:00
Pachamanca y demostración de simulador de lluvia

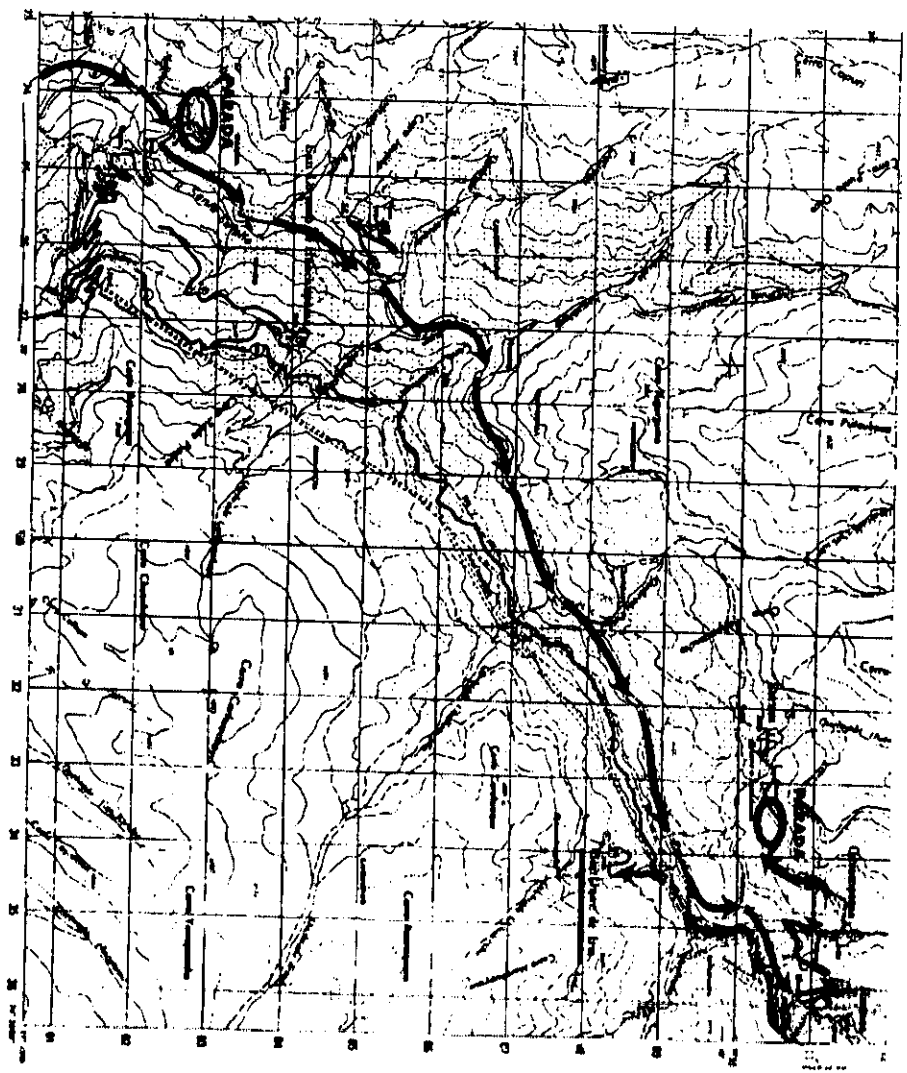
15:00 - 15:30
Cuchama: parcela experimental de erosión

15:30 - 17:00
Construcción de andenes: demostración

17:00 - 17:30
Area rehabilitación de andenes PRONAMACHCS

18:00
Retorno a La Molina y San Isidro

22:00
Hora estimada de llegada



ITINERARIO DE EXCURSION

GEOGRAFIA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área experimental se ubica en la cuenca del río Santa Eulalia, principal afluente del Río Rímac, con un área de 1012 km² (Barriga, 1994). La cuenca se caracteriza por su elevado relieve topográfico, desde los 5000 m en la zona divisoria de las aguas entre las cuencas del Amazonas y la cuenca del Pacífico hasta los 900 m en la confluencia del río Santa Eulalia con el Rímac, diferencia de 4000 m y declive del 6% en un recorrido de 60 km.

Geología: En la cuenca se encuentran diversos tipos de rocas. En la cuenca alta predominan rocas de las series Volcánica Superior y en la cuenca media predominan rocas intrusivas de diferentes tipos correspondientes al Batolito costero (ONERN, 1985). En el área de estudio se reconocen las formaciones volcánicas Calqui y Grupo Rímac pertenecientes al período Terciario Inferior que se encuentran al norte de la intrusión batolítica de la zona de Huinco. Estas son unidades volcánicas intercaladas con areniscas y conglomerados de material volcánico, lavas porfiríticas gris verdosas a violáceas y algo brechoides, con secuencias sedimentarias constituidas por lodolitos y areniscas. Su grosor puede pasar los 600 m. En las quebradas y valle del Río Santa Eulalia se encuentran depósitos fluviales recientes (Palacios *et al*, 1992). Una terraza fluvial o probablemente fluvio-glacial se encuentra en la ladera de Laraos, a 150 m sobre el cauce actual del río, compuesta por cantos rodados y material de areniscas fluviales.

Geomorfología: La abrupta topografía se deriva de la rápida incisión de los ríos como consecuencia del proceso epirogenético de elevamiento de los Andes. El rápido proceso de incisión fluvial se manifiesta en la falta de terrazas y planicies fluviales de inundación. En las laderas los huaycos son frecuentes y en épocas de lluvias causan el bloqueo de carreteras. La gran pendiente de las laderas, de 40% a 100% en su mayoría, favorece los procesos de remoción en masa y parte de las laderas están cubiertas de material de talud de gran erodabilidad.

Suelos: Son generalmente litosólicos de poca profundidad por la lentitud de la decomposición de la roca y la erosión acelerada. Tienen buen drenaje interno, son fértiles y bien adaptados a la siembra de granos sin riego con 350 mm o más de lluvias (Tosi, 1994). Los suelos varían de acuerdo a los pisos ecológicos altitudinales (Córdova, 1994). Hasta los 3800 m en las laderas y zonas montañosas se encuentran suelos residuales, profundidad variable, textura media y buen drenaje. Por encima de los 3800 m los suelos son muy superficiales.

EDAD			UNIDAD ESTRATIGRAF.	POT. mt.	LITOLOGIA	DESCRIPCION
CENOZOICO	CUAT	r.	Aluviales			Conglomerado, arenas, limos y arcillas (mezcla heterogénea).
		pl.	Dep.Glaciar			
	TERCIARIO		Fm. Huarochirí	900		Tobas riolíticas a riodacíticas.. Ignimbrita riolítica color rosado.
			Volc. Millotingo	500		andesitas verde-violáceo y traqui-andesita,Intemperizadas a color rojo.
			Fm. Colqui	600		Andesitas intercaladas con lodolitas y areniscas, brechas tobáceas,lavas porfiríticas.
			Grupo Rímac	1200		Tobas dacíticas y andesíticas, intercaladas con areniscas, muestran color rojizo violáceo por intemperismo.
			Volc. Quilmaná	700		Andesitas en parte silificadas, color gris verdoso y metavolcánicos.
MESOZOICO	CRETACEO		Fm. Huarangal	1000		Aglomerados, andesitas porfíricas y brechas, intercaladas con andesitas y calizas arcillosas con chert; areniscas, piroclásticos, lavas dacíticas.
			Fm. Atocongo	400		Caliza bituminosa, lutitas y margas con caliza chértica.
			Fm. Pamplona	500		Tobas blanquecinas, lutitas, margas y areniscas, volcánicos, calizas carbonosas y chert.
			Fm. Yangas	700		andesitas masivas, lodolitas, margas silificadas con chert.
			Fm. Arahuay	+ de 1000		Metavolcánicos andesíticos con lodolitas calcáreas, calizas bituminosas, andesitas, hornfels.

Columna Estratigráfica Generalizada de los Cuadrángulos de Chancay - Chosica y Lurín.

(Sector Occidental Andino)

FUENTE: Boletín Nº 43 - 1992 - Instituto Geológico

Masson (1986) caracterizó los suelos de andén como Torroxic Haplustolls, presentando un perfil antrópico formado sobre el material colluvial de la ladera. La profundidad efectiva es de aproximadamente 60 cm, de textura fina, pH neutro casi sin presencia de carbonatos en el perfil. El contenido de materia orgánica es medio en el horizonte superior, disminuyendo en profundidad. La influencia del cultivo agrícola se manifiesta inclusive en andenes abandonados con una mayor concentración de fósforo, carbono orgánico y nitrógeno en suelos de andenes (Sandor y Eash, 1995).

Clima e Hidrografía: Las precipitaciones oscilan en la cuenca entre 800 mm anuales en la parte alta -por encima de los 4000 m- a 100 mm anuales a los 1000 m. Las lluvias se concentran en los meses de Diciembre a Abril pero en la zona alta se registran precipitaciones de nieve y lluvia a partir del mes de Agosto. La precipitación media anual para la cuenca de Santa Eulalia es de 436 mm.

El máximo caudal del río es en el mes de Marzo y en Junio el mínimo. Se registran varias crecidas por año con caudales de 50 m^3/s. En la zona alta se encuentran lagunas con una capacidad de embalse de 77 millones de metros cúbicos. Las lagunas son utilizadas con fines hidroeléctricos y una pequeña parte se deriva en canales con fines de irrigación en las comunidades.

Vegetación y uso de la tierra:

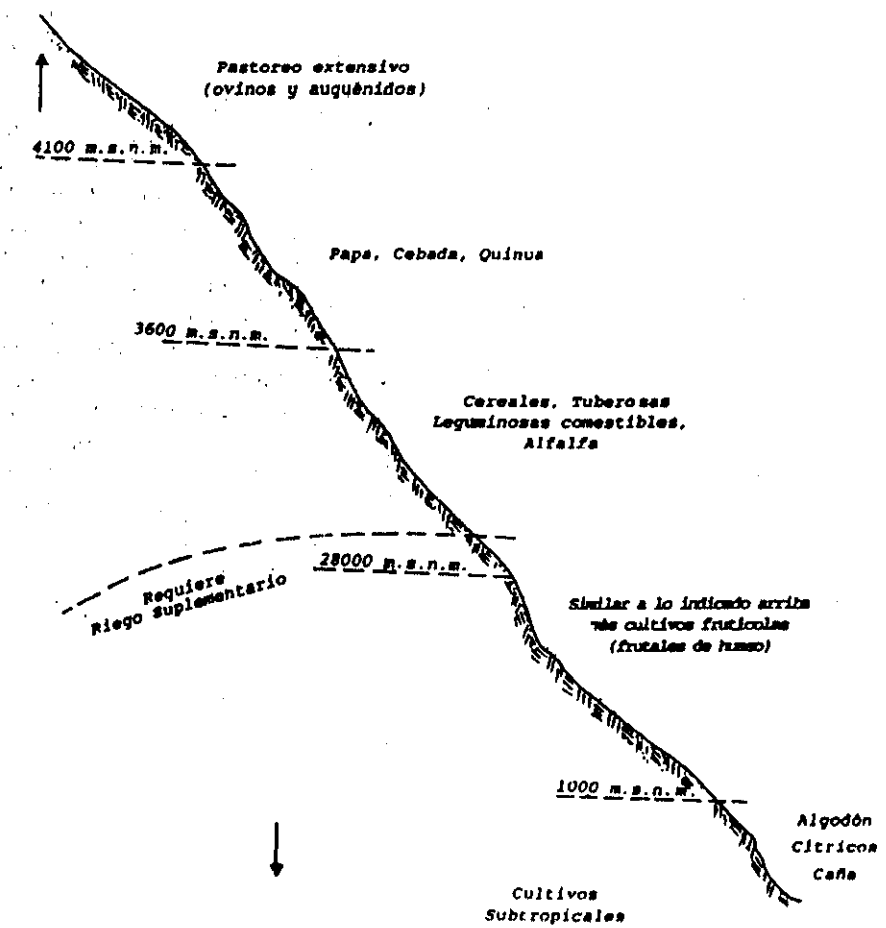
a. Matorral Desértico-Montano bajo tropical:
entre los 2000 m a 2900 m, la vegetación es escasa y de tipo xerotífico. Durante la época de lluvias se desarrolla una cubierta vegetal de hierbas efímeras; las gramíneas son aprovechadas por el ganado. Se encuentran también cactáceas y a lo largo de los cauces se pueden apreciar sauces y alisos.

b. Matorral Desértico-Montano tropical:
entre los 3000 m a 3500 m, con vegetación constituida por arbustos, cactáceas y una cubierta rala de herbáceas anuales entre las que se destacan las gramíneas. En esta zona en las áreas experimentales se encontraron especies arbustivas como *Solanum amblophyllum, Jaltomata bicolor, Malva parviflora, Marrobium vulgare, Heliotropium arborescens* y otras. Entre las especies exóticas se encuentran eucaliptos, pinos y cipreses; es de destacar la propagación del eucaliptos como árbol de rápido crecimiento y de múltiple uso, tanto para construcción como para leña (López, 1996).

PATRON DISTRIBUTIVO DE CULTIVOS

Región de Sierra

(Patrón Promedial)



Fuente: Carlos Zamora Jimeno - ONERN

LA COMUNIDAD DE SAN JUAN DE IRIS

La población se encuentra a 3400 m de altura y es una comunidad típica de la serranía limeña. De acuerdo al censo de 1993, cuenta con una población de 390 habitantes y con 93 comuneros activos. Cada comunero trabaja por lo general de 10 a 20 chacras. Cada chacra ocupa el espacio de un andén, entre 70 m² y 300 m² , y los principales cultivos son alfalfa, papa, maíz y habas. Todas las chacras son irrigadas y los andenes de secano fueron abandonados. El ganado es en su mayoría vacuno, y en menor cantidad cabras, ovejas y porcino. Se encuentran también llamas, asnos y caballos, especialmente para transporte. El número de animales por comunero varía entre dos o tres por unidad hasta cerca de cien por los más pudientes. El pastoreo se realiza en zonas alejadas de la comunidad en los meses de invierno y se concentra en la época de lluvias en el verano en las cercanías del pueblo. En los últimos años se incrementó el cultivo de alfalfa para alimento del ganado vacuno y producción de leche, en detrimento de los cultivos tradicionales de papa y maíz. La producción de leche es utilizada en forma íntegra para la producción de queso, y el consumo local se basa en leche evaporada.

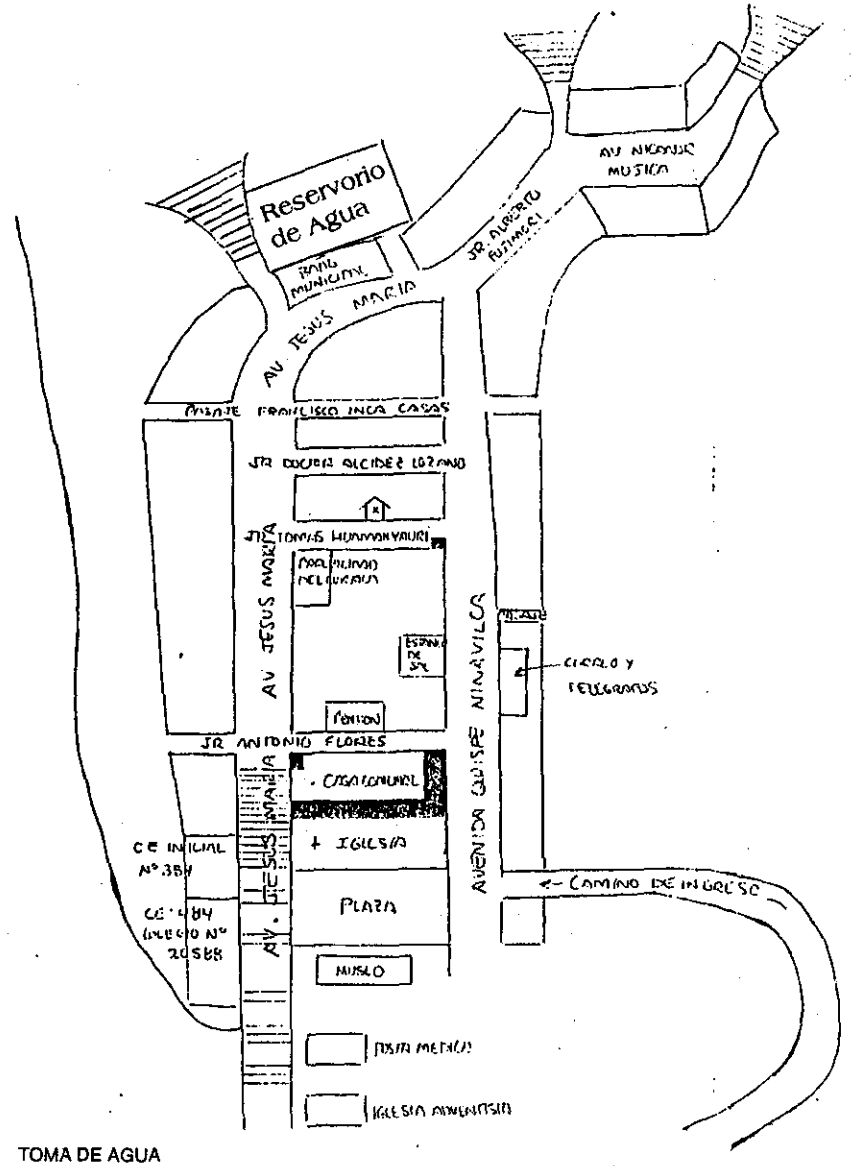
A pesar del alto índice de natalidad no hay crecimiento demográfico por la migración de los jóvenes hacia los centros urbanos de Chosica y Lima. La escuela primaria cuenta con alrededor de 30 niños; los estudios secundarios son cursados en colegios de Carampoma, Huanza, Casta, Chosica o Lima.

Autoridades (Mayo 1997):

Presidente de la Comunidad:	Abilio Quispe Julca
Vicepresidente:	Domingo Gabriel Ascencios
Secretario:	Uribe Lozano Galarza
Tesorero:	Anastasio Canchanya López
Fiscal:	Ricardo Soria Landa
Vocal:	Bertilio Páucar Canchanya
Alcalde:	Aderal Lozano Galarza
Gobernador:	Armando Gutiérrez Huamán
Teniente Gobernador:	Aurelio Carlos Campusa

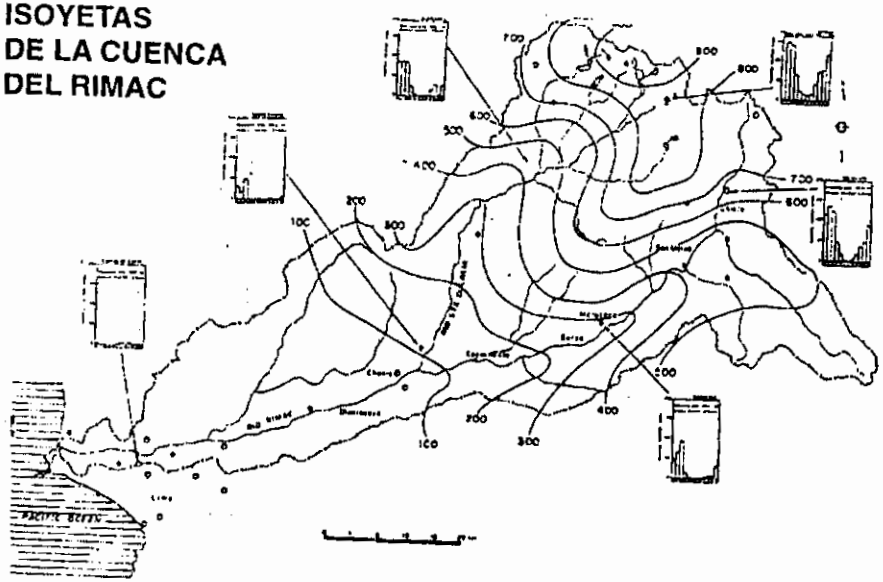
PLANO FISICO DEL PUEBLO "SAN JUAN DE IRIS"

(No a escala)



■ TOMA DE AGUA

ISOYETAS DE LA CUENCA DEL RIMAC

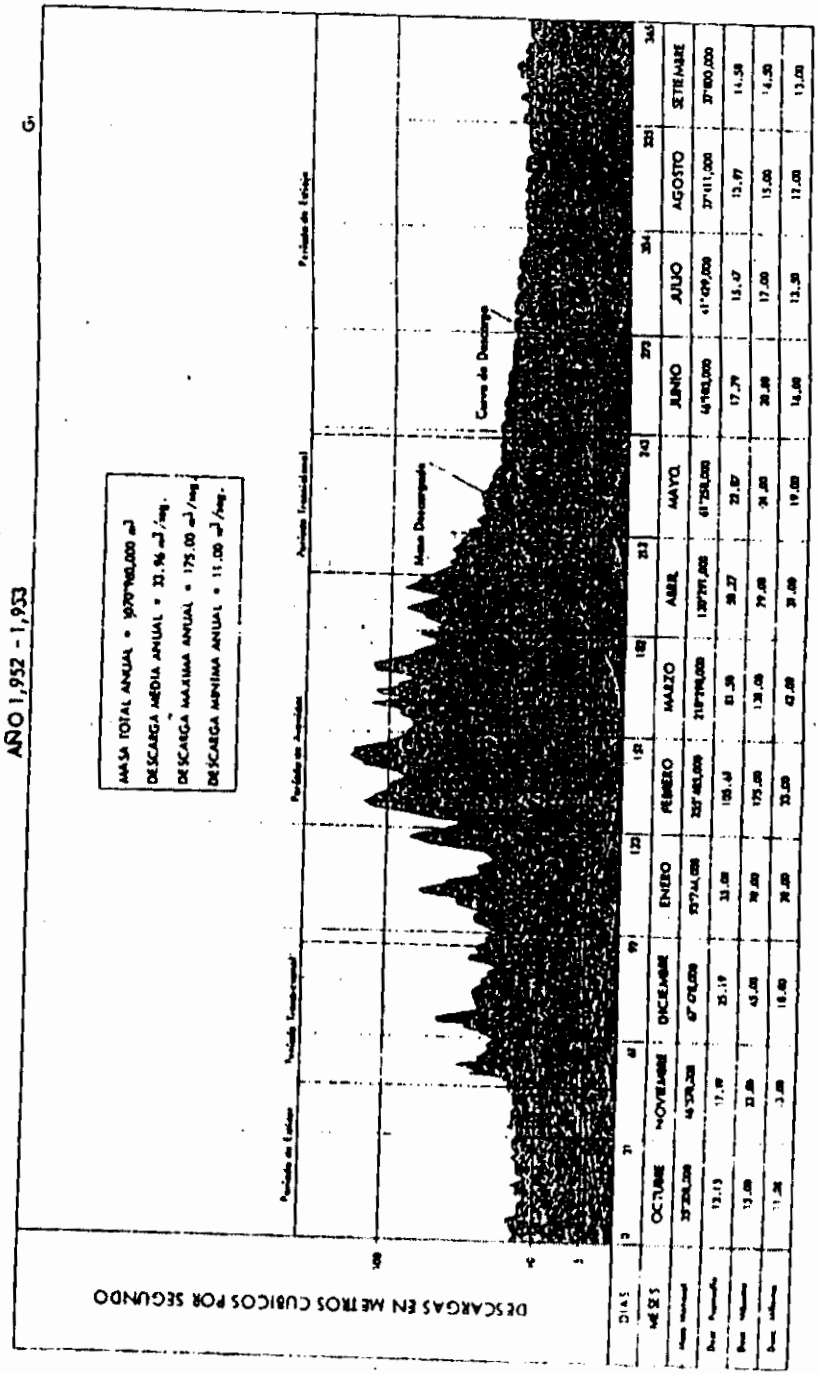


Annual Rainfall (mm)

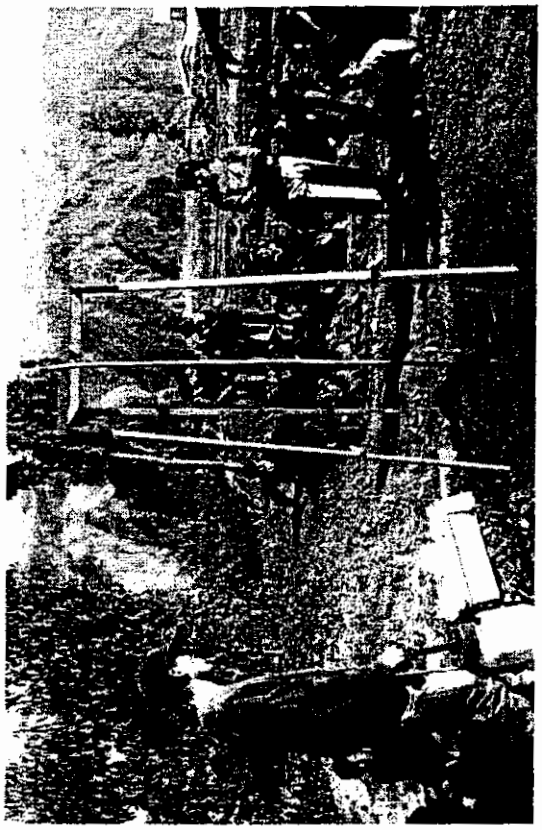
PRECIPITACION ANUAL 1994-1997
(en mm)
SAN JUAN DE IRIS (elev. 3 400 m)

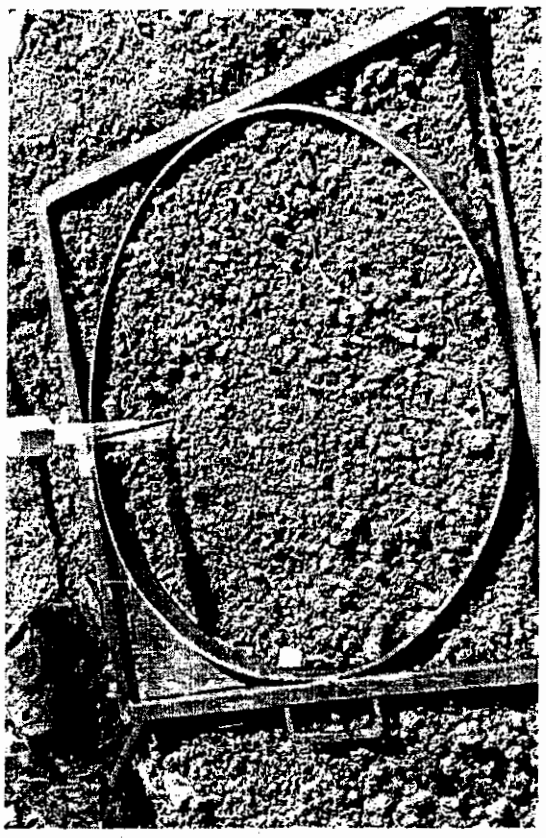
Año	Diciem.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Total
1993-94	45	59	74	72	61	311
1994-95	47	65	22	66	36	236
1995-96		51.5	126	114	21.5	313
1996-97		23	82	1.5	14.5	121

HIDROGRAMA DE DESCARGAS DIARIAS DEL RIO RIMAC
ESTACION DE AFORO : CHOSICA
AÑO 1,952 - 1,953

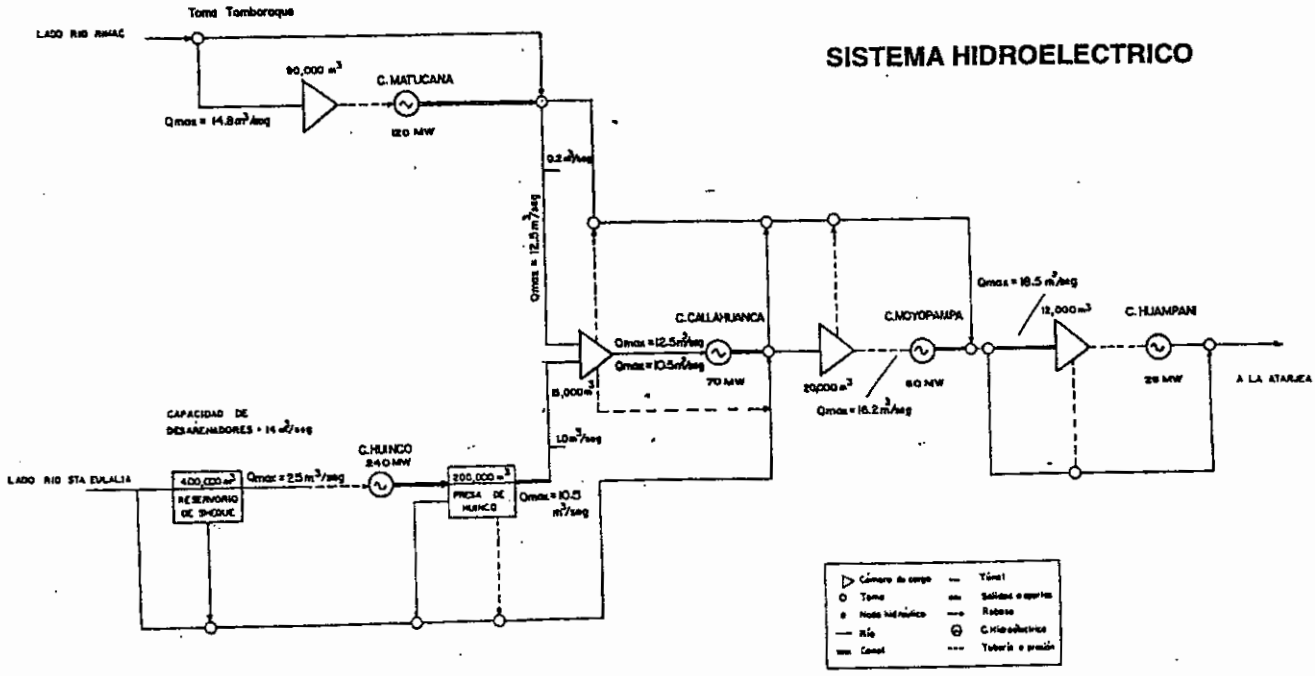


SIMULACION DE LLUVIAS

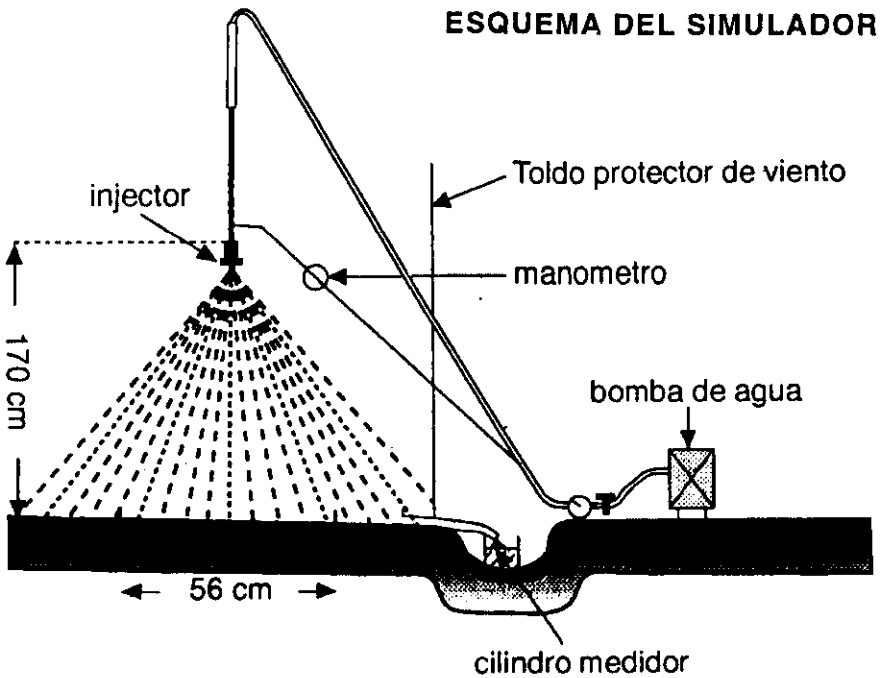




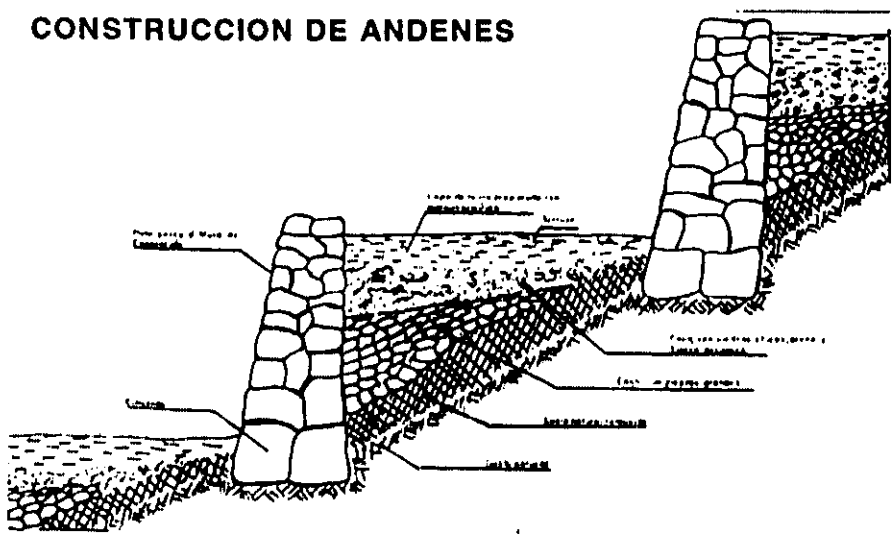
SISTEMA HIDROELECTRICO



ESQUEMA DEL SIMULADOR



CONSTRUCCION DE ANDENES



Appendix 5
LIBRO:

CONSERVACION Y ABANDONO DE ANDENES

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, LIMA, PERU
UNIVERSIDAD DE HAIFA, ISRAEL
Proyecto TA-MOU-C12-006
Programa US-Israel AID/CDR

EDITORES:
Carlos A. Llerena
Departamento de Manejo Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú, callerena@lamolina.edu.pe
Moshe Inbar
Departamento de Geografía, Universidad de Haifa, Israel, inbar@geo.haifa.ac.il
María A. Benavides
Sociedad Geográfica de Lima, mariaben@amauta.rcp.net.pe

RESUMENES DE LOS ARTICULOS PRESENTADOS:

Jerónimo García
Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), jgarciavi@lamolina.edu.pe

LOS ANDENES Y SU MICROCLIMA

Los andenes pueden definirse como la modificación por acción del hombre, de la topografía de las tierras con pendientes con el propósito de hacer un mejor aprovechamiento de los recursos suelo, agua y clima. En lo que concierne al clima, con la presencia de los andenes se consigue crear y mejorar microclimas, que se caracterizan por presentar ambientes protegidos del efecto de transferencia advectiva de energía, cambios temporales reducidos, conservación de los componentes del efecto invernadero de la atmósfera y creación de ambientes de turbulencia o mezcla que reducen el ritmo de pérdida de la energía almacenada y pueden favorecer el desarrollo de los cultivos.

Dionisio Salas
Departamento de Mecanización Agrícola, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), dsalas@lamolina.edu.pe

ANDENES, AGROSISTEMA FRAGIL

La agricultura en terrazas es una actividad mundial, sin fecha de origen, ligada a civilizaciones superiores, muy bien organizadas y de alta densidad demográfica que las obligó a extender la frontera agrícola creando suelo fértil sobre laderas, en algunos casos casi desérticas. Actuaron como incentivos para su desarrollo determinadas condiciones de clima y topografía. Los andenes son obra de y para un mundo de dimensiones humanas, que fueron construidos a mano y para ser manejados manualmente. Sobre ellos se han sucedido alternadamente los fenómenos de abandono, degradación, repoblamiento y reconstrucción, con mejor o peor tecnología y fortuna. Manejar bien los andenes implica evitar la saturación profunda del suelo, evitar que el agua escurra por encima del muro, prevenir derrumbes, conservar su nivelación y reconstruir pronto los muros caídos, para

asegurar su funcionamiento como agrosistema. Son estructuras frágiles sujetas permanentemente a fuerzas que tienden a recuperar el talud natural de la ladera, como son la gravedad, los sismos, las lluvias y estiajes; y las fuerzas de la flora, fauna y el hombre. El deterioro cultural del grupo social que hereda los andenes, también deteriora a estos. El cambio de herramientas manuales a máquinas que no caben en él anden y el cambio técnico, económico y político; convierten en ineficiente a la agricultura ejercida a mano, dificultando el mantenimiento de muros, acequias y terrazas; finalmente, la demanda de agua por parte de los centros poblados en expansión, ya amenaza dejar sin riego a las andenerías. El equilibrio de las estructuras de retención depende del empuje de las tierras contra el muro de sostenimiento, de la resistencia de las tierras al desplazamiento lateral, de la capacidad de carga de los suelos y de la estabilidad de los taludes. Para calcular la estabilidad de un andén se necesita determinar la posición de la superficie potencial de deslizamiento y estimar la resistencia a lo largo de esa superficie. La caída de un muro obedece al empuje activo o pasivo de la tierra que conforma el banco o plataforma. Se ha observado que en el estío el muro se desequilibra gradualmente y la caída puede tardar varios meses, mientras que en el periodo lluvioso los derrumbes son violentos.

Mónica Gutiérrez
Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú, monig@lamolina.edu.pe
Sebastián Santayana
Departamento de Recursos de Agua y Tierra (DRAT), Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, santayana@lamolina.edu.pe

SOFTWARE PARA CALCULAR LOS ELEMENTOS DE DISEÑO DE TERRAZAS DE ABSORCIÓN Y DE FORMACIÓN LENTA

El software TyZ (versión 1.1) permite calcular los elementos de diseño de terrazas de absorción y de formación lenta. Para los cálculos, en el caso de terrazas de absorción se utilizan los métodos propuestos por Ho (1991) y Sheng (1990). El software presenta una interfaz gráfica con ayuda en pantalla.

María A. Benavides
Sociedad Geográfica de Lima, mariaben@amauta.rcp.net.pe

ANDENES Y RIEGO EN EL PERÚ: UN ANÁLISIS DE INFORMES COLONIALES Y REPUBLICANOS

Desde la época de la colonia hasta el presente, los estudiosos de la zona andina se han interesado por el sistema agrícola de los andenes irrigados, que ha tenido gran importancia a través del tiempo, específicamente para el cultivo andino tradicionalmente más prestigioso, el maíz. Esta ponencia presenta las observaciones de algunos cronistas españoles de los siglos XVI y XVII, que se admiraron frente al espectáculo de la andenería irrigada; señala algunos motivos para su abandono ya en aquella época; y menciona ejemplos del siglo XX, en los cuales se han desmantelado andenes para cultivos que han reemplazado al maíz. Se hace referencia a casos específicos de la campaña para la rehabilitación de andenes de décadas recientes, en los cuales han surgido problemas debidos mayormente al hecho de que no se han tomado en cuenta los contextos cambiantes

de la población afectada. También se señala la estrecha vinculación que existe entre andenes y riego, y se plantea que el fin principal de los andenes, por lo menos en la vertiente occidental andina, es facilitar el riego, indispensable para la agricultura y el pastoreo, lo que estaría demostrado por el hecho de que aún donde se desmantelan los andenes, se mantiene el sistema de riego. La ponencia propone como conclusión que, así como las culturas de los pueblos se construyen y reconstruyen constantemente, así también las tecnologías se van modificando dentro de los contextos cambiantes; y que la tecnología tradicional de andenes irrigados es solamente una de las muchas manifestaciones culturales andinas que se modifican a medida que cambian las prioridades de la población.

Carmen Felipe- Morales
Instituto de Promoción para la Gestión del Agua (IPROGA), carmenfm@ec-red.com

BALANCE DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE ANDENES EN EL PERÚ

Los peruanos de la época pre-hispánica eran concientes de las limitaciones de su medio, sobre todo en lo referente a la escasa disponibilidad de agua y suelo para el desarrollo de la actividad agrícola. Sin embargo, en vez de amilanarse supieron superar con ingenio esta situación, desarrollando diversas tecnologías de aprovechamiento, manejo y conservación de estos recursos escasos, fundamentales para su sobrevivencia. Una de estas tecnologías que aún se conserva y se usa por las poblaciones tradicionales es la de los andenes.
Cabe reconocer que gran parte de las investigaciones efectuadas sobre andenes, han sido efectuadas sobretodo por científicos sociales. Son relativamente pocos los investigadores en ciencias naturales o ingenieros, que se han interesado seriamente sobre el tema, a pesar de contar en muchos casos con mejores herramientas metodológicas y criterios científicos para interpretar el funcionamiento de dichas tecnologías. Es en relación a estos aportes que versará el presente artículo, sin pretender abarcar todas las investigaciones efectuadas sobre esta tecnología de manejo y conservación de los recursos hídricos y edáficos que los antiguos peruanos desarrollaron.

Efraín Gonzales de Olarte
Facultad de Economía, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP),
egonzal@pucp.edu.pe
Carolina Trivelli
Instituto de Estudios Peruanos (IEP), trivelli@iep.org.pe

¿ES LA RECUPERACIÓN DE ANDENES UNA VÍA SUSTENTABLE PARA EL DESARROLLO RURAL?

En la línea de los estudios sobre sostenibilidad ambiental y desarrollo agrícola, la relativa escasez de tierras de cultivo en la zona andina y la presión poblacional han llevado a la agudización de la pobreza rural y a un uso ineficiente de los recursos. En estas zonas la posibilidad de cultivar en andenes constituye un medio históricamente utilizado de habilitación de tierras de cultivo en terrenos con pendiente, con lo cual se logra una imprescindible ampliación de la frontera agrícola. Asimismo, el cultivo en andenes es una técnica eficaz para el manejo del agua y para evitar la erosión de los suelos, que constituye en la actualidad un grave problema para la agricultura andina. Existen, en consecuencia, importantes razones para explorar la posibilidad de que la recuperación de andenes se

constituya en una estrategia para el desarrollo rural. El objetivo general es estudiar la potencialidad y viabilidad de la recuperación de andenes como una vía para avanzar hacia el desarrollo rural sostenible, que permita combinar un análisis exploratorio de factibilidad económica con los requerimientos de sostenibilidad ambiental bajo las restricciones institucionales existentes. Entre los objetivos específicos se encuentra el completar el análisis del inventario de andenes existente (ONERN 1988) con la nueva información recogida por ONERN (hoy INRENA) en distintos departamentos del país; desarrollar el estudio de los marcos institucionales existentes y su relación con la puesta en funcionamiento de los andenes recuperados; y analizar el nuevo contexto macroeconómico y políticas sectoriales para responder a la pregunta ¿es posible la recuperación de andenes en una economía liberalizada?

Elías Mujica
Consorcio para el Desarrollo sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), e.mujica@cgiar.org

LOS ANDENES DE PUNO EN EL CONTEXTO DEL PROCESO HISTÓRICO DE LA CUENCA NORTE DEL TITICACA

Se presenta el caso de los andenes del altiplano del Titicaca, en la actualidad una de las zonas más deprimidas de los Andes. En primer lugar se expone el contexto cultural prehispánico de la cuenca norte del Titicaca, con especial énfasis en *pukara* (*circa* 250 a.C. - 380 d.C.), la primera sociedad compleja de la región, y en las transformaciones humanas en el manejo del suelo y el agua que posibilitaron tal desarrollo. Luego se presenta la información existente sobre los andenes del altiplano, y se concluye con una agenda de los aspectos necesarios de abordar para un mejor conocimiento de ellos.

Mario E. Tapia*, Alcides Rosas y Mario Cáceres
*Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), iiap@amauta.rcp.net.pe

TERRAZAS DE FORMACIÓN LENTA, ALTERNATIVA PARA AMPLIAR LA FRONTERA AGRÍCOLA

En la región de la sierra del Perú, al norte de la latitud 8° S, existen escasas evidencias de la construcción de andenes prehispánicos, sin embargo el avance en el uso inapropiado de la tierra con fines agrícolas de gran parte de las zonas de laderas, ha ocasionado serios problemas de erosión con pérdida de suelos y formación de cárcavas, así como disminución de la producción de la mayoría de cultivos. Una de las experiencias más resaltantes ha sido la que han llevado a cabo conjuntamente la ONG ASPADERUC y la oficina de PRONAMACHCS en la microcuenca del río Encañada-Tambomayo, en la que en una extensión de 12,000 ha se han habilitado cerca de 1,000 ha con diversos tipos de terrazas de formación lenta. Los resultados hasta la fecha indican, además, que el proceso en la estabilización de las terrazas y puesta en producción es un proceso que puede demorar entre 4 a más de 10 años hasta que se consigan las condiciones físico-estructurales del suelo que permitan una producción sostenible.

Ann Kendall
Cusichaca Trust, Londres UK y Apurímac, Perú, eannkendall@hotmail.com

RESTAURACIÓN DE IRRIGACIONES Y DE ANDENES AGRÍCOLAS PREHISPÁNICOS EN LOS ANDES CON TECNOLOGÍA TRADICIONAL Y APROPIADA

El Proyecto Cusichaca de desarrollo rural, en su primer proyecto a gran escala, entre 1981 y 1985, se ocupó en la rehabilitación de andenes de 45 ha de tierras y en la restauración de 7km del canal de Quishuarpata. El trabajo incluyó la restauración de secciones a lo largo de partes precipitadas y estructuras de pendiente de hasta 61%. La mayoría de los andenes trabajados eran del Periodo Intermedio Tardío (último pre-Inca). Es interesante observar que los bancos y muros de muchos andenes se habían extendido y reconstruido en el pasado y se les había incorporado paredes adicionales de piedras toscas que habían estabilizado sus bancos. Posteriormente, el Proyecto apoyó a 18 agricultores locales en obtener cosechas exitosas en los andenes con suelos anteriormente secos y duros. La ayuda consistió en proporcionar herramientas, capital de semillas y un técnico experimentado en productos andinos. El resultado fue que los andenes se cultivaron permanentemente con dos cosechas anuales, con muy poco fertilizante y con el uso de pesticidas naturales. Una mejora marcada en la economía local fue evidente con el sobrante de cosecha que fue llevado al mercado. Los cultivos incluían papas (para aflojar la tierra), quinua, maiz y una importante re-introducción de kiwicha, ahora usada extensamente como una harina nutritiva. Una evaluación en 1992 confirmó que la rehabilitación agrícola proveía aún ingresos para los agricultores locales de Chamana en Cusichaca. Subsecuentemente, entre 1991 y 1995, se amplió el alcance de este tipo de proyecto de rehabilitación para restaurar el Canal Superior de Pumamarca, Valle de Patacancha, conjuntamente con la Comunidad Central de Ollantaytambo. Este canal Inca ahora lleva riego a los andenes de Pumamarca y Choquebamba (un total de 160 ha), en los cuales se hicieron obras de restauración y rehabilitación entre 1994 y 1997.

Medardo Molina
Consultor en Recursos Hidricos, mmolinag@aol.com

MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS Y CONSERVACIÓN DE ANDENES, COMUNIDAD DE AUCARÁ, LUCANAS, AYACUCHO

En la época de los Incas, en lo que es hoy la comunidad de Aucará, el uso de la tierra estaba condicionado a la existencia de una sola fuente de agua, proveniente de las punas. Con el paso del tiempo hubo necesidad, por una parte, de aumentar las áreas cultivadas empleando aguas de diversos manantiales, ríos y lagunas, en lugares donde es más difícil el manejo adecuado del agua, conduciendo en general a derrumbes y destrucción de los andenes. Por otra parte, aunque parezca paradójico, la escasez o ausencia de agua para el cultivo también ha conducido a la desaparición de andenes, simplemente, porque al no ser cultivados, éstos son abandonados y desaparecen. El trabajo describe y discute los casos observados en esta comunidad andina del Perú.

Julio A. Costello
Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina, jacoste@huma.unca.edu.ar
Moshe Inbar
Departamento de Geografía, Universidad de Haifa, Israel, inbar@geo.haifa.ac.il

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE TERRAZAS ABANDONADAS EN CATAMARCA, ARGENTINA

En la zona preandina de la provincia de Catamarca en Argentina, se encontraron terrazas agrícolas abandonadas que probablemente corresponden a períodos preincaicos o incaicos. La finalidad del estudio fue determinar sus características morfológicas y morfométricas y compararlas con los valores de las terrazas en la cuenca del río Santa Eulalia, en Perú. Se encontró que las características de los andenes de ambas zonas son semejantes, tanto en la extensión de las terrazas como en las dimensiones de los muros y piedras de construcción, indicando el uso de tecnología similar que probablemente fue difundida en muchas zonas andinas.

Hildegardo Córdova
Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA), Departamento de Humanidades, Pontificia Universidad Católica del Perú, hcordov@pucp.edu.pe

ECOLOGÍA CULTURAL DE LA CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS, SU ABANDONO Y RECUPERACIÓN EN EL VALLE DEL COLCA, SUR DEL PERÚ

El valle del Colca constituye uno de los lugares más conocidos por su arquitectura de andenes en el lado occidental andino. A partir de la década de 1970 se han venido realizando diferentes estudios sobre la historia, arqueología, arquitectura, agricultura, manejo de recursos naturales y organización social de las comunidades del Colca, destacando siempre la belleza de sus andenes. En 1984 y 1985 se realizó el proyecto de investigación titulado "La ecología cultural, arqueología e historia de los andenes y su abandono en el valle del Colca, sur del Perú", dirigido por el geógrafo Dr. William M. Denevan, de la Universidad de Wisconsin-Madison. Tuvo como objetivo principal el estudiar aspectos relacionados con la historia y ecología de la construcción de andenes que podrían contribuir al entendimiento de las fluctuaciones en su uso y abandono en el valle del Colca. El estudio se concentró en la Comunidad de Coporaque y los resultados fueron publicados en un reporte para la NSF en dos volúmenes. Entre los hallazgos de este estudio está el que las terrazas más antiguas (fechadas con C-14) fueron construidas entre los años 400 a 450 d.C., y que en ese tiempo no usaron riego artificial. Luego, los cambios climáticos que sucedieron en los siglos V al VII produjeron sequías prolongadas que obligaron a abandonar algunas de las terrazas ubicadas en los lugares más altos. Asimismo, las sequías hicieron necesaria la construcción de canales, dando lugar al paisaje que actualmente se tiene. De 1997 a 1999 se realizó otra investigación en el valle del Colca patrocinada por la Unión Europea en un proyecto conjunto entre las universidades de Leeds (Gran Bretaña), Amsterdam (Holanda), Cantabria (España), Buenos Aires (Argentina), Mayor de San Andrés (Bolivia) y Católica del Perú (Perú). Este proyecto se orientó a los

Moshe Inbar
Departamento de Geografía, Universidad de Haifa, Israel, inbar@geo.haifa.ac.il
Carlos A. Llerena
Departamento de Manejo Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú, callerena@lamolina.edu.pe

PROCESOS DE EROSIÓN EN ANDENES AGRÍCOLAS ANDINOS EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA EULALIA, LIMA, PERÚ

La formación del andén en las laderas montañosas se origina con la construcción del muro que retiene el suelo, almacena el agua y crea una superficie de moderado relieve que permite el cultivo y el riego. El abandono del andén y su uso agrícola tienen un efecto negativo y promueven el proceso de erosión del suelo. La tendencia en las últimas décadas es abandonar el cultivo de los andenes, transformándose tal área en zonas de pastoreo sin mantenimiento o rehabilitación de los andenes degradados. El objetivo del presente estudio es determinar los valores y analizar los procesos de erosión de andenes andinos. El programa de estudio se basa en trabajos de campo: 8 parcelas de experimentación con áreas de 50 m a 100 m fueron instaladas en Upica (2,500 m) y San Juan de Iris (3,500-3,800 m) en la cuenca superior del río Santa Eulalia, principal afluente del río Rímac. En las parcelas se colectó el agua y sedimentos de escorrentía durante el periodo de lluvias. Un simulador de lluvias se utilizó para analizar ritmos de infiltración y escorrentía en andenes con distintas características morfológicas. Por intermedio de un estudio morfométrico de cerca de 300 andenes se establecieron características topográficas, morfológicas y el estado de degradación de andenes en diferentes zonas. El proceso de derrumbe del muro es el más importante en la erosión del andén y se manifiesta en una etapa inicial de abombamiento o pandeo del muro por presión lateral del suelo; los derrumbes ocurren durante eventos catastróficos de lluvias con alta intensidad y frecuencias de cada 5 o 10 años. Después del derrumbe, con el aumento de la pendiente en el andén se acrecientan los procesos de erosión superficial y la degradación del suelo.

Carlos Garnica
Proyecto Tambopata-Inambari (PTI), Consorcio CESVI-Pro Naturaleza, Puerto Maldonado, cgarnica@pronaturaleza.org
Víctor Barrena
Laboratorio de Teledetección Aplicada y SIG, Departamento de Manejo Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria Lla Molina (UNALM), vbarrena@lamolina.edu.pe

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS ANDENES DE LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN JUAN DE IRIS, LIMA-PERÚ UTILIZANDO IMÁGENES DE RADAR

Considerando la necesidad de realizar una evaluación de la situación y capacidad de uso y rehabilitación de los andenes localizados en los Andes peruanos, con el fin de contribuir a su reincorporación al sistema de producción agrario, el Laboratorio de Teledetección Aplicada y SIG de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina desarrolló un proyecto cuyo objetivo principal es la identificación y evaluación de andenes en la comunidad de San Juan de Iris, cuenca del río Santa Eulalia, mediante el

aspectos ambientales que afectan el desarrollo de la vida en el valle. Se trataron aspectos socioeconómicos, de tenencia, de turismo, de política y de percepción ambiental local. Se incluye un resumen de los resultados de ambos proyectos.

Fedora Martínez
Museo Nacional de Arqueología, Antropología e Historia, fedoramg@hotmail.com

CULTURA Y SOCIEDAD EN SAN JUAN DE IRIS

San Juan de Iris es una comunidad campesina ubicada en la cuenca alta del río Santa Eulalia; documentos coloniales indican que el pueblo formaba parte de la Doctrina de San Pedro de Casta; sin embargo, durante las últimas fases prehispánicas conformó la Huaranga de Santiago de Carampoma. Desde la perspectiva fiscal, la población fue organizada a través del tributo, generando una serie de estrategias para adecuarse al sistema. A inicios de la república existe el proyecto liberal para la construcción de ciudadanía; el tributario debería convertirse en ciudadano. Sin embargo, la urgencia de la caja fiscal "reactiva" el tributo bajo la forma de contribuyentes. La protección estatal del entorno comunal fue la vía. Las comunidades campesinas actuales son el resultado de procesos nacionales cohesionadores y excluyentes. Preguntarnos en que tipo de proceso nos hallamos servirá para aplicar planes de desarrollo adecuados.

Helena Cotler
Instituto Nacional de Ecología, México, hcotler@avantel.mx

LA RECUPERACIÓN DE ANDENES COMO PARTE DE UN MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS: EL CASO DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO RÍMAC

Dentro de un manejo integral de cuencas, la tecnología de andenes permitiría la restauración del ecosistema de la cuenca y con ello la ampliación de la frontera agrícola. Mediante técnicas de fotointerpretación y trabajo de campo se inventariaron en la sub-cuenca del río Rímac 4,151 ha de andenes, de los cuales 57.3% están bien conservados, 27.3% en un estado semi-ruinoso y 15.4% ruinoso. Actualmente el 45.4% de los andenes conservados se encuentran en la zona de vida estepa Montano Tropical, mayormente sobre la serie Volcánica Superior. El 92.4% de los andenes conservados se encuentran sobre ladera, donde la agricultura sería impracticable sin alguna tecnología como los andenes que disminuya el ángulo de la pendiente. Desde 1962 han sido (re)construidos 670 ha de andenes que reflejan la aceptación que tienen los andenes en la actividad agrícola cotidiana. Los criterios para evaluar las posibilidades de recuperación de los andenes son numerosos. Sólo en función de la estabilidad geodinámica, características apropiadas de clima y un relieve no muy abrupto se estimaron 719 ha de andenes semi-ruinosos y ruinosos que podrían ser recuperados.

análisis digital de una imagen RADARSAT F3, así como el uso de otros materiales aerofotográficos complementarios y trabajos de campo. El resultado preliminar encontrado indica que en las imágenes RADARSAT modo F3 no se pueden distinguir los andenes. Por tanto se recomienda que la imagen RADARSAT F3 se combine con una imagen Landsat TM para obtener mejores resultados. Se recomienda también la utilización de otras imágenes.

Luis Masson
Naturaleza, Ciencia y Tecnología Local (NCTL),massandenes@viabcp.com

EXPERIENCIA DE CAMPO EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA EULALIA

Este artículo es una síntesis de las principales experiencias y conclusiones que, en relación con el manejo de la cuenca del río Santa Eulalia, vienen siendo obtenidas por la asociación civil sin fines de lucro Naturaleza, Ciencia y Tecnología Local (NCTL) para el servicio social, desde que en 1982 se realizara un inventario de los andenes existentes en dicho ámbito. El artículo describe la experiencia obtenida en la reconstrucción de andenes, la rehabilitación de la infraestructura hidráulica, el conocimiento de la flora nativa y el rescate del germoplasma de papa nativa. El reconocimiento de las tecnologías agricolas tradicionales estuvo entre las actividades principales; sobre todo, aquí se incide en la necesidad de tomar en cuenta al hombre que habita en un medio de topografía sumamente accidentada y clima muchas veces hostiles, como actor principal dentro de las actividades de manejo de la cuenca.

Luis Taboada y Raúl Dolorier
Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS), rdolorierm@hotmail.com, lutaba55@hotmail.com

AGENCIA SANTA EULALIA- PRONAMACHCS: EXPERIENCIA DE REHABILITACIÓN DE ANDENES EN LA PROVINCIA DE HUAROCHIRÍ, DEPARTAMENTO DE LIMA (1997)

La rehabilitación e inventario de andenes y obras hidráulicas tradicionales en microcuencas son parte de un conjunto de propuestas, que el Programa Nacional de manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS) promueve en todos los sectores de la actividad económica- social en la microcuenca, buscando la participación activa y concertada de los agricultores. Desde 1993, es decir previamente a la rehabilitación de andenes, el PRONAMACHCS viene promoviendo el mejoramiento de la infraestructura de riego, y tiene previsto mejorar el reservorio de Anchicocha, el más importante de la comunidad de San Juan de Iris. A partir de 1994 se inicia el trabajo de rehabilitación de andenes con agricultores individuales, y con el apoyo de un fondo rotatorio de semillas. A la fecha se cuenta aproximadamente con 88 ha de andenes rehabilitados. En la comunidad de San Juan de Iris no existe la tradición de efectuar el mantenimiento y rehabilitación de andenes (*llumay*), por lo que como primer paso se promovió la organización de un comité para la ejecución de las diferentes actividades conservacionistas, así como la administración de los fondos rotatorios. Del mismo modo, se identificaron dos promotores comunales, quienes, previa capacitación y asistencia técnica, dirigen la ejecución de las obras. En el presente año se tiene previsto rehabilitar 20 ha de andenes ubicados en el sector Maizal.

Manuel Aguirre- Morales
Arqueología para el Desarrollo (ARDES), ayaviri@yahoo.com

LOS ANDENES DE PAMPA CULLCA EN LA SUBSISTENCIA DEL AYAVIRI, YAUYOS. LIMA, PERÚ

Se realiza una presentación del área de estudio donde se ubican los andenes de Pampa Cullca en base a las referencias bibliográficas existentes y a los recorridos realizados en los últimos años. Pampa Cullca se encuentra en la Cuenca del río Mala, subcuenca del río Ayaviri, en el departamento de Lima. Existen factores físicos, sociales y económicos que determinan que el uso y manejo de los recursos de agua y suelo sean muy deficientes y de carácter tradicional. Se discute el concepto de andeneria y se intenta dar una aproximación al funcionamiento de sistema de andenes citado, para finalmente delinear las futuras investigaciones (incluyendo las arqueológicas) y acciones a llevarse a cabo para la recuperación de la infraestructura agrícola y la puesta en uso social de estos sitios arqueológicos en un trabajo conjunto con la Comunidad Campesina Jesús de Ayaviri. Se plantea la realización de un plan de manejo y Conservación para el sector, que incluye un plan forestal, pecuario y agrícola, así como talleres y jornadas de capacitación.

Carlos A. Llerena
Departamento de Manejo Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú, callerena@lamolina.edu.pe
Moshe Inbar
Departamento de Geografia, Universidad de Haifa, Israel, inbar@geo.haifa.ac.il
Amanda De la Torre
Departamento de Manejo Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), amandadltc@hotmail.com

CARACTERIZACIÓN DE LOS ANDENES EN LA CUENCA DE SANTA EULALIA

La cuenca del río Santa Eulalia a 40 Km de Lima, destaca por su importancia para el abastecimiento de energía a la capital del Perú y es conocida por sus obras hidroenergéticas (Sheque, Huinco, Barbablanca); sin embargo, sus áreas agrícolas desarrolladas tradicionalmente sobre andenes que sustentan a sus numerosas comunidades, son prácticamente ignoradas. Esta ponencia muestra las características generales de los andenes en la cuenca de Santa Eulalia, poniendo especial atención a los de las comunidades de San Juan de Iris (Marcahuasi y Pariataca), Laraos y San Pedro de Casta (Upica), construidos en elevaciones desde los 2500 msnm en Upica, hasta los 3700 msnm en Marcahuasi. En las zonas indicadas se midieron 243 andenes distribuidos en la siguiente forma: Marcahuasi 69, Pariataca 73, Laraos 91 y Upica 10. Las mediciones fueron tomadas durante el año de 1994 en los meses de febrero y setiembre (Upica); y en 1995 en Agosto (las demás zonas). Se considero la siguiente información de los andenes: ubicación (altitud y exposición); características de la plataforma (largo, ancho, área, pendiente, pedregosidad, uso, cobertura vegetal y grado de abandono); y características del muro (altura, diámetro de las piedras, cobertura vegetal y curvatura). Algunos resultados destacables en la muestra estudiada son los siguientes: en Marcahuasi casi todos los andenes son de cultivo en secano; mientras que en las demás zonas el uso es (o puede ser) bajo riego. Las zonas mas abandonadas están en

Marcahuasi y Laraos. Las plataformas de mayor área, aunque con mayor pedregosidad, están en Laraos que también presenta las pendientes promedio mas bajas. Las plataformas más pequeñas están en Upica. La mayor densidad de cobertura vegetal en la época seca, se observa en Marcahuasi. Con respecto al muro, los mas altos están en Pariataca y Laraos; no hay mayores diferencias en los diámetros promedios de las piedras de la pared (aprox. de 20 a 23 cm); el mayor recubrimiento de plantas (arbustos en mas del 50% de casos) se encuentra en los muros de Marcahuasi, los cuales presentan consecuentemente la proporción mas alta (36%)de muros con curvatura notoria (pandeo), índice claro de su proceso de deterioro.

Appendix 6

Mountain Research and Development Vol 20 No 1 Feb 2000: 72–79

Moshe Inbar and Carlos A. Llerena

Erosion Processes in High Mountain Agricultural Terraces in Peru

Old developed systems of agricultural terraces are found in settled areas with high relief in different parts of the world. The present trend to abandon many of these terraced areas constitutes a process that increases erosion and sediment yield values following the collapse of supporting walls. This paper addresses the problem of changing human activities in the fragile environment of the historical terraces in the Central Andean mountains of Peru. The study is based on field experiments. Eight small plots were installed in the Santa Eulalia basin at altitudes of 2800 m and up to 3650 m. Annual run-off coefficient values were less than 5% and sediment yield values less than 1 g/m² on the experimental plots. Daily rainfall intensity does not exceed 10 mm/d on most rainy days. Simulation of rainstorms by sprinklers was performed on terraces with different physiographic characteristics, lithology, soil, exposure, slope, altitude, degree of abandonment, and vegetation cover. Rainfall simulation tests revealed that run-off is high on steep, nonvegetated slopes and very low on grass-covered, low-angle slope terraces. A morphometric analysis was conducted on about 300 terraces with the same physiographic parameters. The average terrace area was 170 m², and most terraces surveyed were in a semiabandoned stage. Terrace degradation was noticeable by wall swelling, collapse, and deterioration of wall and terrace structure. Terrace degradation is a function of physical, economic, and social processes, which are linked and irreversible.

Key words: soil erosion; agricultural terraces; Peru; plot experiments; rainfall simulation; morphometric analysis.

Peer reviewed: April 1999. Accepted: August 1999.

Introduction

Peruvian landscapes are among the settled areas with the highest relief in the world and are characterized by an old system of agricultural terraces (Spencer and Hale 1961). Dry and semiarid habitats at high altitude are the most common in the Andean region, and ecosystems are characterized by intensive erosive processes (Llerena 1987). Agricultural land use is a major factor affecting erosion processes; corn, potatoes, and, recently, alfalfa, the most important crops in Peru, are considered to be soil erosive (Felipe-Morales 1987). The maintenance or abandonment of terraces is a crucial factor in determining the trend of the erosive processes.

Abandonment of agricultural land is widespread in the mountainous areas of Europe. Erosion processes increased due to the abandonment of terrace fields in Spain (Garcia-Ruiz 1989; Cerda-Bolinches 1994), Greece (Lehman 1993), and in old land terrace systems in Israel (Inbar and Zgaier 1996).

No accurate inventory of the total terrace area in Peru exists, but it has been roughly estimated at about 2 million hectares (CEPAL 1989). Denevan (1986) estimates that 62% of the terraces in the Colca Valley are abandoned and 91% are abandoned in the high areas. The main reasons for abandonment are socioeconomic, with a clear tendency of increase of the urban population. According to the 1876 census, 75% of the population lived in the sierra and less than 10% in the cities. By 1995, the urban population had increased to 71% (Yepes 1992; Webb and Fernandez-Baca1995).

Extensive and detailed studies on cultural, economic, and anthropological aspects of the Peruvian agricultural terraces were published by Cook as early as 1916, followed by Donkin (1979), Denevan (1986, 1988), Treacy (1989), and others. Soils in the Colca Valley terraces have been studied by Sandor and Eash (1995). Few attempts have been made to study the water–soil relationship and the geomorphic processes affected by the use and abandonment of terraces (Felipe-Morales 1987). The aim of the present paper is to determine sediment yield quantitatively from abandoned terraced areas and to analyze the erosion processes.

This paper addresses the problem of changing human activities in the fragile environment of the historical agricultural terraces in the Central Andean mountains of Peru. The high degree of connectedness of this coupling is a major threat to one of the oldest achievements of humankind in the development of the Earth's natural resources. For over a millennium, soil accumulated and was retained on man-made terraces, which were the economic basis for a flourishing culture. Abandonment of the terraces leads to an increased rate of soil erosion and sediment yield values (Cotler 1985; Treacy 1989). Like the Himalayas, the Andes mountain ecosystems are sensitive to small disturbances, with consequences that are often irreversible (Ahmad 1993). Land degradation is determined by social change in farming communities and is one of the consequences of the migration of the young rural population to overcrowded urban areas.

The study area

The Santa Eulalia River is an affluent to the Rimac River and forms a large alluvial plain and delta on which the city of Lima has developed. It flows from the divide

61

in the Central Andes, at a height of 5000 m, to a junction with the main branch at 900 m, a distance of 60 km with an average slope of 6.6%. The study sites are near the villages of San Juan de Iris and San Pedro de Casta at altitudes between 2500 and 3700 m (Figure 1).

The Santa Eulalia basin covers an area of 1012 km^2 (Barriga Ruiz 1994). In the upper basin, the main rock types belong to the tertiary volcanic series, while in the lower basin, intrusive rocks belonging to the coastal batholith predominate (ONERN 1982). Loose, recent alluvial material is found in the valleys and on valley slopes. An alluvial terrace 150 m above the river channel, probably from Holocene times, indicates a very rapid incision process due to the uplifting of the Andes Mountains. Valley slopes are 1000 m deep and more, with slope angles reaching 50° and 60°. Frequent land-

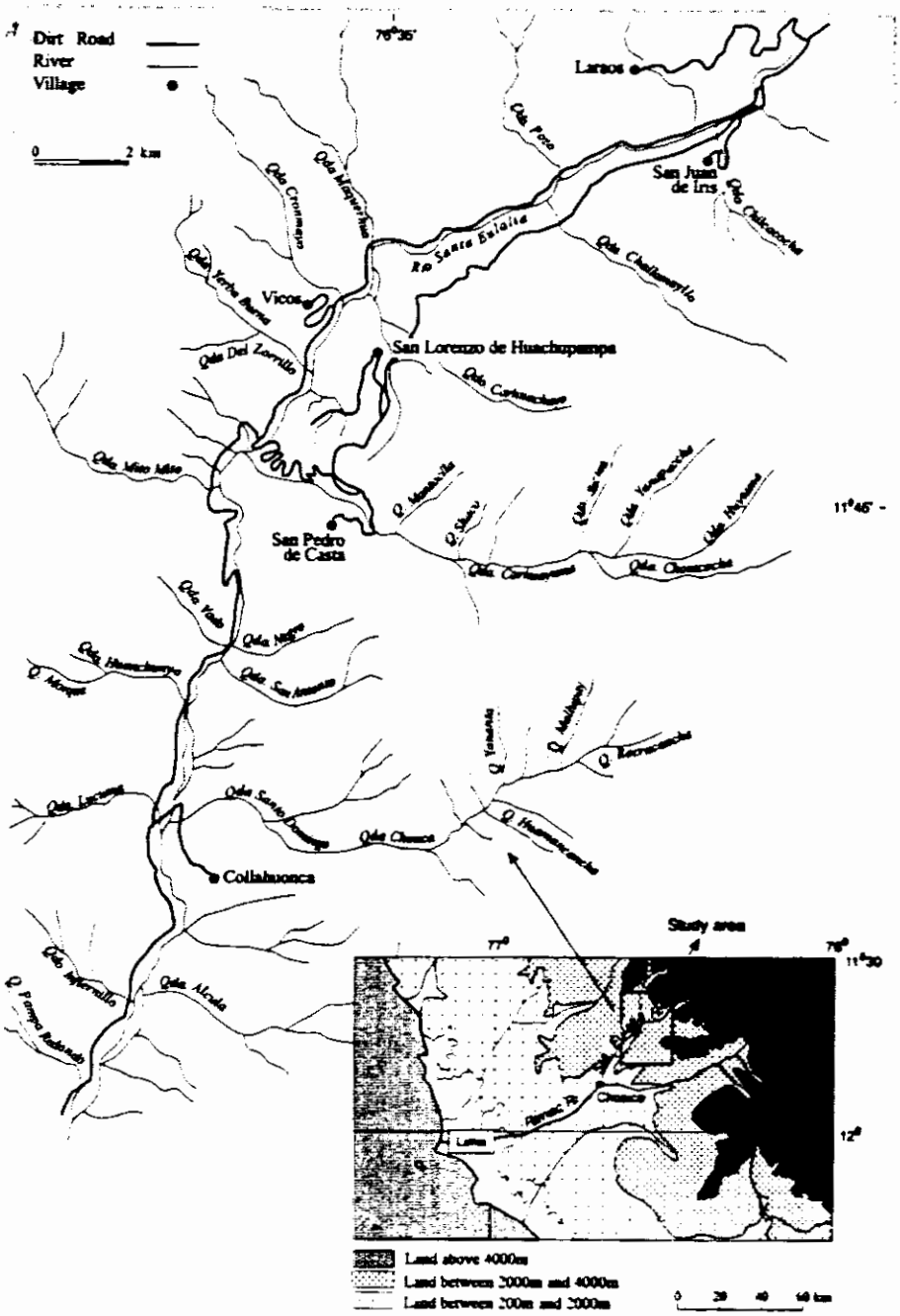


FIGURE 1 Location map of the study area in the upper basin of the Santa Eulalia River

FIGURE 2 View of the steep slopes in the Santa Eulalia river valley. Paths of frequent debris flows, known locally as *huaycos*, are clear. Terraces are built on slopes steeper than 40%. (Photo by authors)

FIGURE 3 View of San Juan de Iris village above the Santa Eulalia River, at an altitude between 3500 and 3800 m. (Photo by authors)

slides, known locally as *huaycos*, left visible paths and alluvial cones (Figure 2). Due to the rapid incision rate, channels are narrow and no floodplain has developed. Due to the rugged landscape, settlements are distributed on the higher flat terrains below available water sources.

The soils, mainly Lithosols, are shallow, with high infiltration rates. Annual rainfall of 350 mm or more makes them fertile and suitable for cultivation of grain (Tosi 1994). Variability of soils and vegetation is in accordance with the ecological altitudinal gradient. Residual soils with varying depths up to 1 m or more are found below 3800 m on the mountain slopes; they are mainly silty and well drained. The terrace soils have been defined as Torroxic Haplustolls, with an anthropic profile overlying the colluvial material. Carbonates are scarce and pH is neutral. Organic matter content is about 2 to 4% in the upper horizon and decreases with depth (Masson 1986). Long-term agricultural practices left higher concentrations of phosphorous, organic carbon, and nitrogen in terrace soils, even in the abandoned ones (Sandor and Eash 1995).

A clear altitudinal gradient of the mean annual precipitation, from 800 mm in the high mountain zone above 4000 m to 100 mm at an elevation of 1000 m, exists down to the coastal zone. Rains are concentrated in the southern hemisphere summer from December to April, but in the high mountains, snow and rain precipitation starts in August. The mean annual precipitation for the Santa Eulalia basin is 436 mm. The maximum river discharge is in March and the minimum is in June. Maximum flood peaks are about 50 m^3/s. In the upper mountains in the divide zone, small lakes are used for hydroelectric water storage and partially for local irrigation. Since the 1960s, most of the water has been diverted to a tunnel and pipe system for hydroelectricity.

Vegetation and soil use is according to the altitudinal gradient. Between 2000 and 2900 m, xerophytic vegetation predominates, but *gramineae* communities are the dominant species after the rainy season, with development of grazing. Most of the shrub vegetation is composed of cactus species, even on terraces that have been abandoned. Between 3000 and 3500 m, a dense cover of perennial vegetation consisting of shrubs, cactus, and grass is found, made up of such species as *Solanum amblophyllum*, *Jaltomata bicolor*, *Malva parviflora*, *Marrobium vulgare*, *Heliotropium arborescens*, and others. Exotic species such as pines, cypress, and especially eucalyptus were introduced, with eucalyptus being used mainly for charcoal and in construction (Lopez Cornelio 1996).

The community of San Juan de Iris (Figure 3) is a typical small Andean sierra village of about 100 households (families) at an elevation of 3400–3600 m. Each farmer, or *comunero*, has about 10–20 terraces, each covering an area of 70–300 m^2. All active terraces are irrigated, the others having been abandoned. The main crops are potatoes, corn, alfalfa, and beans. Cows are the main livestock for milk production. Each farmer owns about 10 cows; goats, sheep, and pigs are present in smaller quantities. Except for the terraces where alfalfa is grown, there is no grazing of livestock on the terraces. A small number of llamas and horses are used mainly for transport. The trend in recent years has been to grow more alfalfa for livestock production, abandoning the traditional potato and corn crops.

There is no demographic growth despite high birth rates. A large proportion of the young people migrate to the urban areas of Lima and to Chosica, the nearest town. A survey of 20 families showed that all of them have at least one or two children that migrated and settled in Lima or its surroundings.

Methods and results

Experimental plots

Eight experimental plots were installed on abandoned terraces and one control plot on a cultivated terrace in order to measure run-off and sediment yield from ter-

FIGURE 4 Experimental plot for measuring run-off and sediment yield on an abandoned terrace. (Photo by authors)

races after rainstorms. The plot area for each terrace was between 50 and 100 m^2. The plot was bordered by a plastic fence closed at a lower apex, with a plastic tube delivering water and sediment through a pipe to closed containers (Figure 4). Rainfall was measured by a daily rain gauge reading. Water and sediment were collected after each rainfall, and either the total amount or a sample was kept for sediment content and analysis at the laboratory. Data collection was regular, despite the theft of some water containers.

The average annual rainfall for San Juan de Iris village is about 300 mm. The four experimental years, 1993–1997, had average rainfall or were relatively dry, with no major rainstorms recorded (Table 1). The highest rainfall intensity was 16 mm/d (13 March 1995); daily rainfall exceeded 10 mm/d on only a very few days.

Run-off was negligible during most rainstorms and few sediment samples were collected (Table 2). The largest run-off event occurred on plot Marcahuasi 2 after a 16-mm/d rainstorm. The highest measured run-off for the plot for a single storm was a total of 17 L (2.3 L/m^2) and 6.8 g sediment yield (0.9 g/m^2). The annual run-off coefficient for the Marcahuasi 1 plot was 3.3% and 5% for Marcahuasi 2, but run-off coefficient values were less than 5% for most plots during the measuring period. The high run-off discharge and sediment yield for the cultivated control plot is explained by the failure of the irrigation system, when the terrace was flooded and water and sediment flowed out of the terrace. During periods when the cultivated terrace was well maintained, no run-off was detected during the rainy periods.

Rainfall simulation

A portable field rain simulator was used to measure run-off and infiltration rates under different physiographic conditions and terrace land uses, including differences in soil, slope, exposure, stoniness, vegetation cover, cultivated area, and abandoned terraces (Table 3). The equipment was adapted from a model used in Spain (Calvo et al 1988) and consisted of (1) two pressure pumps, giving a constant pressure of 1.7 atm, equivalent to rain intensity of 40 mm/h; (2) an aluminum structure connecting the pipe to a spray nozzle jet at a height of 170 cm above ground; (3) a metallic ring 56 cm in diameter fixed about 5 cm into the ground to limit the run-off of the draining ground area to a collecting tube and can (Figures 5, 6). The simulator produced rainfall with a realistic drop size and was applied until a constant rate of run-off was achieved, usually after 1 hour. If the infiltration rate was very high and no run-off occurred, the simulation was suspended after 2 hours. The simulated rainfall amounts and intensities are considered to be high and of low frequency in this area—the highest intensity of natural rainfall measured during the study period was 16 mm/h. The amount of water for each simulation was about 50 L; in some areas distant from water sources, local llamas were used to transport the water. Water and sediment samples were collected every 3–5 minutes throughout each experiment. Samples were oven dried (1100°C) and weighed, and sediment yield was calculated.

All tests were carried out in the dry season under dry antecedent soil moisture conditions. Infiltration was high on the cultivated and low-gradient terraces. On high, steep slopes, run-off started after 15–20 minutes, and rates of infiltration were 15–20 mm/h. Run-off and sediment yield were high at the steep slope sites and low on the cultivated and low gradient ter-

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	0	45.0	59.0	74.0	72.0	61.0	311.0
[redacted]	0	47.0	65.0	22.0	66.0	36.0	236.0
[redacted]	0	0	51.5	126.0	114.0	21.5	313.0
[redacted]	0	0	23.0	82.0	1.5	14.5	121.0
[redacted]	52.5	113.3	184.0	121.0	197.0	21.0	688.8

TABLE 1 Annual rainfall (mm) for 1994–1997 (1998 in San Juan de Iris, elevation 3400 m)

64

TABLE 2 San Juan de Iris experimental plots: run-off and sediment yield for 1994/1995.

	5.70	43.70	7.60	11.50	2.00
	7.50	89.50	11.90	19.24	2.50
	25.00	4.80	0.19	46.81	1.87
	35.00	7.40	0.21	8.93	0.25

	13.00	0.04	12.00	0.24	0	0	2.50	0.02
	8.00	1.60	16.00	0.80	0.75	23.25	1.00	0.30
	3.00	0.12	8.00	1.12	0.80	9.36	0.70	5.95
	2.00	2.58	9.00	1.08	0.30	1.74	0.30	1.26
	0.90	0.36	13.00	5.20	0.70	1.30	0.50	0.20
	0.30	0.18	0.50	0.10	0.40	3.56	0.20	0.12
	13.00	5.20	17.00	6.80	0.90	3.60	2.00	1.00
	3.00	0.90	11.00	3.30	0.50	2.00	0.10	0.04
	0.50	0.55	3.00	0.60	0.50	2.00	0.10	0.04
	43.70	11.53	89.50	19.24	4.85	46.81	7.40	8.93

TABLE 3 Rainfall simulation field experiments: physiographic and land use characteristics of sites.

	Upica 1	2600	80	Dry grass	NW	10	15	Silt	Grazing	Semi-abandoned
	Casta	3150	50	Grass	E	10	14	Clay	Cultivated	Terrace
	Upica 2	2610	70	Grass	W	30	24	Silt	Cultivated	Terrace
	Upica, house	2430	100	Grass	NW	20	14	Silt + clay	Grazing	Terrace
	Upica, slope	2440	30	Dry grass	NW	60	46	Silt	—	No terrace
	Upica, slope	2450	20	Dry grass	NW	70	51	Silt	—	No terrace
	Upica, terrace	2600	30	Grass	W	10	15	Silt	Plowed	Cultivated
	Marcahuasi 2	3540	80	Dry grass	NW	10	15	Silt	Grazing	Abandoned
	Marcahuasi 1	3550	50	Shrub-cactus	W	50	28	Silt	Grazing	Abandoned
	Iris, slope	3550	20	Shrub-cactus	NW	50	38	Silt	Grazing	No terrace
	Iris, irrigated	3230	75	Potato, grass	E	5	15	Silt + clay	Cultivated	Cultivated
	Iris, eucalyptus	3150	50	Eucalyptus	W	30	46	Silt	Forest	No terrace

FIGURE 5 Schematic drawing of the rain simulator. Constant pressure is obtained by alternating between two 7-L water pumps

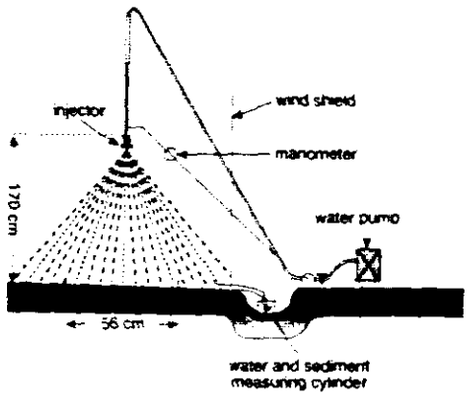
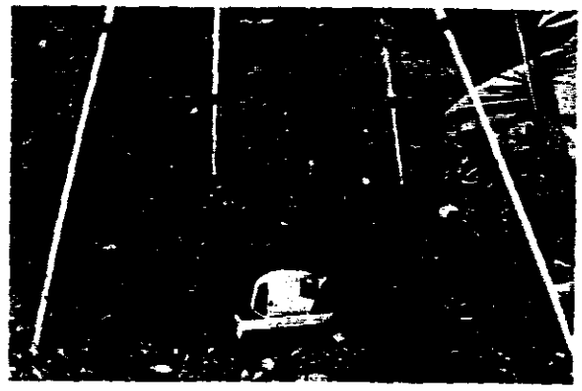


FIGURE 6 Rain simulation on an abandoned terrace in San Juan de Iris. (Photo by authors)



races. A forested site with 10-year-old eucalyptus trees generated more run-off and sediment yield than any other area covered with vegetation. A similar effect with eucalyptus cover has been described in a rainfall simulation experiment in southern Italy (Sorriso-Valvo et al 1995), with rapid run-off generation on leaf litter 1–2 cm thick. Run-off generation was higher in the lower Upica site due to siltier soils and crust formation after rainfall simulation.

Morphometric analysis

A field survey was conducted on 233 terraces on both sides of the upper Santa Eulalia basin in order to assess both their degree of abandonment and physiographic and morphometric characteristics. The following parameters were measured: length, width, area, stoniness, and slope of the terrace and length, height, stone dimensions, and curvature of the terrace wall. Vegetation cover and class were also surveyed for the terrace area and wall.

Three orders of degree of abandonment were determined according to the local condition of the terraces and information obtained from local farmers. Cultivated, active terraces (order 1) constituted 7% of the terraces surveyed, while 93% were abandoned (order 3) or semiabandoned (order 2). Most of the terraces were in order 2. Abandoned terraces are covered by cactus vegetation, their walls are collapsed, and terraces are covered by large stones. The length of time since abandonment is more than 40 years, according to aerial photos and local information, and depends on many factors such as distance from a village, soil and slope conditions, property rights, etc. Most of the active terraces are under irrigation.

The average area was about 170 m^2, but large terraces up to 500 m^2 were found. Walls were built from local stones 20 cm in diameter. Terrace degradation was noticeable in wall swelling, which causes the wall to collapse and the terrace structure to deteriorate further.

Discussion

Sediment yield values measured on the experimental plots in the Santa Eulalia basin were about 1 g m^{-2} y^{-1}, or equivalent to 1 ton km^{-2} y^{-1}, which is considered a negligible or very low rate in comparison with average world rates of about 100 tons km^{-2} y^{-1} (Young 1969). Large wall failures and considerable erosion from the terraced slopes occur only during high magnitude rainstorms of very low frequency, probably with a return period of 1:50 years, as reported by local villagers. There is no natural vegetation on the terraced slopes, as it was removed in the process of terrace building many years ago. Terraces uncovered by vegetation may be affected by severe erosion during high-magnitude catastrophic processes. The rate of infiltration is high on the cultivated terraces and there should be no erosion, but incorrect irrigation management and poor maintenance may cause large quantities of soil to be washed out by irrigation flood systems.

The terrace wall is the main factor determining terrace stability or degradation. Wall swelling and bulge development are characteristic of many retaining walls prior to failure. Saturated soils and their shearing effect determine pressure and swelling on the walls until failure occurs (Salas Pinto and Vasques Villanueva 1987; Pallares Bou 1994). The wall bulge appears at a point one-third of the way up the wall and divides the wall into two sections. All wall failures checked in the field reached the critical value before the slide process. Maintenance is constant on the cultivated terraces, but a shortage of labor adversely affects proper and constant repair of wall stone slides. A similar process occurs in the Spanish Pyrenees with the abandonment of cultivation on mountain slopes, even if they are terraced (Garcia-Ruiz and Lasanta-Martinez 1990). Cereal production is no longer economical, and even livestock production has declined. New nonrural activities, mainly winter and summer tourism, cause severe problems. Due to the high precipitation in the Pyrenees, the natural forest rehabilitates rapidly, a process that is

not likely to occur in the more fragile and populated areas of the Andes.

The degree and type of vegetation cover are the most important factors determining rates of erosion on the terraces, as found in the rain simulation experiments. Vegetative protection of the soil has been indicated as the critical erosion variable in an Andean basin of Ecuador (Harden 1988) and in many other parts of the world, such as in an experimental terrace area in the Mediterranean area of Spain (Cerda-Bolinches 1994). Stoniness is a factor that increases infiltration (Poesen et al 1990) by reducing the impact of rain on the soil and preventing crust formation. Most of the terraces have a high degree of stone cover (Table 2). Planting eucalyptus as an erosion control factor is a controversial issue. Rain simulation experiments indicate that erosion rates under eucalyptus trees were greater than on terrace sites covered with grass but less than on uncovered bare slopes. The massive planting of eucalyptus that took place in the mountainous areas of Peru on 100,000 hectares in 1976 in order to prevent erosion (Millones 1982) may have provided a valuable source of firewood, but it may not be as efficient a tool for preventing erosion as ancient terrace technology.

Terrace abandonment is almost total on nonirrigated terraces. The irregular rainfall regime makes labor and seed investment too risky for the low crop prices obtained, so land use has changed to grazing, which promotes erosion and collapse of walls because of the cattle. San Juan de Iris is still a strong agricultural community, although during the last 10 years, there has been an increasing switch to livestock and alfalfa growing at the expense of traditional crops, with marginal areas being abandoned. A new water reservoir and improvement of the irrigation canals have been factors in the maintenance of terrace cultivation.

Methods for diagnosing erosion are essential in any land planning and natural resources conservation policy (Millones 1982). In the study area, traditional terrace farming practices reduce erosion by using contour furrows for corn or potato planting, by leaving fields fallow and exposing them to natural fertilizers consisting of the manure of cattle and other animals, and especially by maintaining terrace walls. Abandonment of terraces, followed by overgrazing, creates the major risk of massive soil loss (Harden 1996). In many other regions of the world, such as traditionally agricultural areas of China, terracing provides effective protection against severe erosion (Quine et al 1992). Terrace abandonment due to emigration of rural laborers to the oilfields of the Persian Gulf led to accelerated erosion processes and the appearance of barren slopes in the Yemen Arab Republic (Vogel 1988).

Terrace abandonment and degradation are a function of physical, economic, and social factors, such as land use and ownership, distance from a village, community strength, etc. In the Laraos community of the Santa Eulalia valley, most of the terraces were abandoned and the *comuneros*, village farmers, turned to other activities such as collecting and marketing medicinal plants. The links between biophysical land degradation and social decline have their roots in household and social behavior. Soil erosion control by terracing is expensive, owing to the shortage of local labor (Svers et al 1996), and was found to be the most expensive soil conservation technique in the Ecuadorian Andes (Dehn 1995). Contour bunds were suggested as a more efficient method. No contour bunds or infiltration ditches are possible on the very steep slopes in most terraced areas in Peru because terraces are small and narrow and the type of terrace, as well as suitable techniques, must be adapted to local conditions.

Changing land use and changing human behavior are socioeconomic factors now affecting the high Andean mountains. Traditional subsistence agriculture is being replaced by a market-oriented economy of labor and agricultural production. Young people in mountain villages are gravitating toward more diverse job and study opportunities in the coastal cities. This causes a shortage of labor needed for long-term soil conservation practices such as terracing, irrigation, and ditch maintenance. The result is soil erosion on traditional terraces that have been abandoned. No soil will be transported back uphill, and sierra migrants will not go back to the mountain villages. These two gravitational processes, ie, soils flowing down the mountain slopes to the ocean floor and people migrating from the Andean villages to the coastal cities, are linked and irreversible.

AUTHORS

Moshe Inbar
Department of Geography, University of Haifa, Haifa, 31905, Israel, inbar@geol.haifa.ac.il

Carlos A. Llerena
Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Apdo. 456 La Molina, Lima, Peru. callerena@lamolina.edu.pe

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported under grant C12-006, U.S.–Israel Cooperative Development Research Program, Office of the Science Advisor, U.S. Agency for International Development. Gratitude is due to the community of San Juan de Iris for their hospitality and field assistance, where the important support provided by Mr Gaudencio Retamozo deserves to be mentioned. We wish to thank two anonymous referees for their reviews of the manuscript.

REFERENCES

Ahmad A. 1993. Environmental impact assessment in the Himalayas: an ecosystem approach. *Ambio* 22:4–9.

Barriga Ruiz CA. 1994. *Bases Para el Manejo de la Cuenca del Rio Rimac* [thesis]. Lima: Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agrana la Molina.

Calvo A, Gisbert JM, Palau E, Romero M. 1988. Un simulador de lluvia portatil de facil construccion. *In:* Sala M, Gallart F, editors. *Metodos y Tecnicas Para la Medicion en el Campo de Procesos Geomorfologicos*. Monografia 1. Barcelona: Societe Espanola de Geomorfologia.

CEPAL (Comision Economica para America Latina y el Caribe). 1989. Estudio de factibilidad de un proyecto nacional de desarrollo en areas de recuperacion de andenes en el Peru. Report Code LC/R.747. Lima: CEPAL.

Cerda-Bolinches A. 1994. Arroyada superficial en terrazas de cultivo abandonadas, el caso del pais valenciano. *Cuadernos de Geografia* 56:135–154.

Cook OF. 1916. Staircase farms of the ancients. *The National Geographic Magazine* XXIX:474–534.

Cotler E. 1985. *Inventario, Evaluacion y Uso de los Andenes en la Subcuenca del Rio Rimac* [thesis]. Lima: Universidad Nacional Agrana la Molina.

Dehn M. 1995. An evaluation of soil conservation techniques in the Ecuadorean Andes. *Mountain Research and Development* 15:175–182.

Denevan WM. 1986. *The Cultural Ecology, Archaeology and History of Terracing and Terrace Abandonment in the Colca Valley of Southern Peru*. Volume 1. Technical Report to the National Science Foundation, Department of Geography, University of Wisconsin, Madison.

Denevan WM. 1988. *The Cultural Ecology, Archeology and History of Terracing and Terrace Abandonment in the Colca Valley of Southern Peru.*, Volume 2. Technical Report to the National Science Foundation, Department. of Geography, University of Wisconsin, Madison.

Donkin RA. 1979. *Agricultural Terracing in the Aboriginal New World*. Tucson: University of Arizona Press.

Felipe-Morales C. 1987. La erosion de los Andes en zonas pobladas de altura. *Revista Pensamiento Iberoamericano* 12:97–108.

Garcia-Ruiz JM. 1989. Erosion processes in abandoned fields. A case study in Central Spanish Pyrenees. Darmstadt: Geooko.

Garcia-Ruiz JM, Lasanta-Martinez T. 1990. Land-use changes in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development* 10:267–279.

Harden CP. 1988. Mesoscale estimation of soil erosion in the Rio Ambato drainage, Ecuadorian Sierra. *Mountain Research and Development* 8:331–341.

Harden CP. 1996. Interrelationships between land abandonment and land degradation: a case from the Ecuadorian Andes. *Mountain Research and Development* 16:274–280.

Inbar M, Zgaier A. 1996. Soil erosion in Mediterranean agricultural terraces. International Conference on Mediterranean Desertification; Crete, European Commission.

Lehman R. 1993. Terrace degradation and soil erosion in Naxos island, Greece. *In:* Wicherek S, editor. *Farm Land Erosion in Temperate Plains Environments and Hills*. Amsterdam: Elsevier, pp 429–450.

Llerena CA. 1987. Erosion and sedimentation issues in Peru. *International Association of Hydrological Sciences* 165:3–14.

Lopez Cornello D. 1996. *Procesos Erosivos en Andenes Abandonados en la Cuenca del Rio Santa Eulalia* [thesis]. Lima: Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agrana la Molina.

Masson L. 1986. *La Recuperacion de los Andenes Para la Ampliacion de la Frontera Agricola en la Sierra*. Lima: Corporacion Financiera de Desarrollo (COFIDE).

Millones OJ. 1982. Patterns of land use and associated environmental problems of the Central Andes. *Mountain Research and Development* 2:49–61.

ONERN. 1982. *Diagnostico de los Problemas de Erosion en el Peru*. Lima: ONERN.

Pallares Bou J. 1994. Procesos que conducen a la rotura de muros en terrazas de cultivo. Norte Castellon. *Cuaternario y Geomorfologia* 8(3–4):23–26.

Poesen J, Ingelmo-Sanchez F, Mucher H. 1990. The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer. *Earth Surfaces and Landforms* 15:653–671.

Quine TA, Walling DE, Zhang X, Wang Y. 1992. Investigation of soil erosion on terraced fields near Yanting, Sichuan Province, China using caesium-137. *Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions*. IAHS Publication 209, pp 155–168.

Salas Pinto DF, Vasques Villanueva A. 1987. *Andenes: Parametro, Operacion y Mantenimiento*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.

Sandor JA, Eash NS. 1995. Ancient agricultural soils in the Andes of Southern Peru. *Soil Science Society of America Journal* 59:170–179.

Sorriso-Valvo M, Bryan B, Yair A., Iovino F, Aatronico L. 1995. Impact of afforestation on hydrological response and sediment production in a small Calabrian catchment. *Catena* 25:89–104.

Spencer JE, Hale SA. 1961. The origin, nature and distribution of agricultural terracing. *Pacific Viewpoint* 2:1–40.

Syers JK, Lingard J, Pieri Ch, Ezcurra E, Faere G. 1996. Sustainable land management for the semiland and sub-humid tropics. *Ambio* 25:484–491.

Tosi J. 1994. *Memoria Explicativa del Mapa Ecologico del Peru*. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.

Treacy JM. 1989. *The Fields of Coporaque: Agricultural Terracing and Water Management in the Colca Valley, Arequipa, Peru* [PhD dissertation]. Madison: University of Wisconsin.

Vogel H. 1988. Deterioration of a mountainous agro-ecosystem in the Third World due to emigration of rural labour. *Mountain Research and Development* 8:321–329.

Webb R, Fernandez-Baca G. 1995. *Peru en Numeros*. Lima: Cuanto S.A. Ed.

Yepes E. 1992. *La Modernizacion en el Peru del Siglo XX*. Lima: Mosca Azul Ed.

Young A. 1969. Present rate of land erosion. *Nature* 224:851–852

The influence of soil saturation on the stability of abandoned agricultural hillslope terraces under Mediterranean climatic conditions

Ali Zgaier and Moshe Inbar

Dept. of Geography, The University of Haifa

Summary

The strength of two residual soils, terra rossa and rendzina, which constitute most of the abandoned agricultural hillslope terraces near Yirka village, Western Galilee, Israel, was determined by two methods: shear by a basal direct field shear apparatus and probing by a dynamic penetrometer. The first apparatus was used to determine the cohesion and the angle of internal friction of the top soil and the second to inspect the change of the undrained shear strength of the above soils with depth. The strength parameters with midsummer water content (16.91% for terra rossa and 11.07% for rendzina) were found to be: terra rossa: $c \approx 10.57$ KN/m², $\phi = 41.24°$; rendzina: $c \approx 10.72$ KN/m², $\phi = 42.34°$. The strength parameters of the same soils with midwinter water content were: terra

rossa: $c' \approx 2.18$ KN\m², $\phi' = 40.75°$; rendzina: $c' \approx 5.24$ KN/m², $\phi' = 39.03°$.

Stability calculations confirmed by field investigations showed that the drop of cohesion of both soils in consequence of their saturation during the rainy season can cause terrace landsliding unless the terraces are retained by sufficiently strong enough retaining walls.

1 Introduction

Landsliding is one of the most important mass-wasting processes that affect agricultural hillslope terraces retained by dry-built stone walls in Mediterranean regions. Field investigations in areas of abandoned agricultural terraces near Yirka, Western Galilee, Israel, showed that a terrace begins to erode only after it has been affected by a landslide (Zgaier, 2000). Terrace landslides occur in winter during or immediately after heavy rains (Salas-Pinto and Vasques-Villanueva, 1987; Gallart & Clotet-Perarnau, 1988; Grimalt-Gelabert et al., 1992; Lehmann, 1993, 1994; Pallares-Bou, 1994; Zgaier, 2000).

The aim of this study was to check the influence of soil saturation on the strength of the terrace soils, and the effect of the changes of soil strength on the stability of these terraces against landsliding.

2 Soils and methods

2.1 Site and soils

Field tests for the determinations of soil strength were carried out on abandoned agricultural terraces near Yirka, Western Galilee, Israel. Most of the terraces in this region are made of terra rossa and rendzina and in terms of land use they may be divided into two groups, cultivated and abandoned. Old olive trees grow on most of the cultivated terraces. The abandoned terraces were used prior to their abandonment, during the late 1950s, for growing cereals and legumes. Average annual precipitation at the study area is 710 mm. The rain season begins usually in September and ends in May. Most of annual precipitation (~ 77%) falls from November to February. The rainiest month is January, followed by February. Mean annual temperature at the study area is 20 C°. Mean summer (August) temperature is 25 C°, and mean winter temperature (January) is 10 C°.

The terra rossa here falls within the range of the inorganic clays of high plasticity- inorganic silts–organic clays of high plasticity, while the rendzina falls within the range of the inorganic clays of medium plasticity–inorganic silts–organic clays of slight to low plasticity on the chart of the Unified Soil Classification System.

Some of the physical properties of the soils at the study area are given in table 1.

2.2 The direct field shear apparatus

The apparatus used for the determination of the strength components of the inspected soils was a basal direct shear apparatus constructed specially for this purpose generally in accordance with the apparatus designed by Chandler, Parker, & Selby (Chandler et al., 1981). This apparatus is composed of three main elements: a shear box, a winch, which provides the force needed for shear, and an electronic dynamometer for the measurement of the force needed for shear. The natural normal stress on the soil sample is simulated by the means of concrete blocks.

2.2.1 The shear box

The shear box was built of heavy 9.5 mm thick steel plates and reinforced with angle braces to minimize box deformation (Figure 1). Its basal shear area is 300X300 mm. Two steel loops were mounted on its front plate. A sturdy synthetic rope was inserted through these loops to attach the shear box to the winch.

2.2.2 The concrete blocks

Each block had a mass of about 30 kg, a base of about 400X200 mm, and a thickness of about 200 mm.

2.2.3 Winch and ropes

The shear force is provided by a 5-ton capacity winch attached to the shear box by a synthetic rope inserted into its hook. Another similar synthetic rope, the anchor rope, was inserted into the anchor shackle of the winch. During the shear tests the anchor rope was wound around the trunk of a nearby olive or fig tree.

2.2.4 The dynamometer

The force needed for shear was measured by a 3.0 ton capacity Ron 2300 electronic dynamometer.

2.2.5 Sample preparation

The shear tests were conducted in August 1996 on dry and artificially saturated soil samples. The strength parameters obtained from the results of the tests on dry soil samples represent the strength of the soil in the midsummer dry state. The first step of a sample preparation was the removal of the top 10-15 cm thick soil layer from the spot chosen for testing. Then a 20 mm thick rectangular steel plate with an area equal to that of the base of the shear box (0.09 m^2) was laid on that spot. Next, 15 cm deep trenches were dug around it (Figure 2). The resulting soil monolith was finally trimmed with a steel knife so that its dimensions were equal to the inside of the shear box (30X30X15 cm). The surface of the soil monolith was also trimmed so that its inclination became zero.

For the preparation of saturated soil samples, 30 liters of water were poured on each spot (~30X30 cm) chosen for shear. Sample preparation in these cases proceeded according to the steps mentioned above, after all the water had vanished from the soil surface (after ~1.5 hours). The strength of such saturated soil samples is effective because of rapid soil drainage (Selby, 1993, p. 69).

During each test, on dry or saturated soil, a soil sample was taken for laboratory soil moisture measurement.

2.2.6 Apparatus preparation

The shear box was placed over the soil monolith, and then a synthetic rope was inserted through its two loops and also through one of the two shackles of electronic dynamometer sensor, and tied. The other shackle of the sensor was directly attached to the winch hook. Through the same shackle of the winch another rope was inserted, then it was wound around the trunk of a nearby tree in alignment with the rope, and tied. Finally the handle of the winch was turned carefully till shear occured, then the force needed for shear was read off the dynamometer screen.

2.3 The dynamic penetrometer

Dynamic probing methods for the determination of soil strength are widely used for soil engineering problems (Card et al., 1988; Nixon, 1988; Tonks & Whyte, 1988; Bathurst, 1997).

Tests for the determination of the undrained shear strength (Cu) of the soil were carried out on three terraces, one of terra rossa and two of rendzina. They were conducted on dry soil (during July and August 1996). The apparatus used was a SRS 15 dynamic penetrometer (Figure 3), with the following specifications (Tonks & Whyte, 1988).

During each test the number of blows needed to drive the rod into the soil were recorded for each 10 cm increment. Tests on terraces lying on hard rocks (limestone and nari) were stopped only when the rod of the penetrometer hit the bedrock. Tests on terraces lying on soft rocks (marl) were stopped when the rod had been driven 10-30 cm into the bedrock.

The undrained shear strength was computed from the results of the dynamic penetration tests by the following equation (Tonks & Whyte, 1988):

$$\mathbf{Cu \approx K_1 \cdot N_{100}}$$

where:

N_{100}= the average number of blows needed to drive the rod of the penetrometer 10 cm between depths 20 and 30 cm (the depth at which shear by the direct field shear apparatus took place).

K_1= empirical coefficient. Its value was taken as 7 (The average of all values of this coefficient for the cohesive soils mentioned by Tonks and Whyte).

The undrained shear strength from the results of the direct field shear tests were computed by the following equation (Carson & Kirkby, 1972, p. 88; Abramson et al., 1996, p. 295).

$$\mathbf{Cu = 0.5 \cdot qu = c \cdot tg\,(45 + \phi/2)}$$

where:

qu= unconfined compressive strength

c= soil cohesion

ϕ= angle of internal friction.

3 Results and discussion

3.1 Shear strength

The failure envelopes of field shear tests of terra rosa and rendzina in dry and saturated states were as follows (Figures 4-7):

Terra rossa

Dry state (average water content: 16.91%)

$$\mathbf{S = 10.569 + \sigma n\ tg\ 41.24°}$$

Saturated state (average water content: 36.33%)

$$\mathbf{S = 2.1829 + \sigma n\ tg\ 40.75°}.$$

Rendzina

Dry state (average water content: 11.07%)

$$\mathbf{S = 10.722 + \sigma n\ tg\ 42.34°}$$

Saturated state (average water content: 31.35%)

$$S = 5.2419 + \sigma n \text{ tg } 39.03^{\circ}$$

where:

S = shear strength

σn = normal stress.

From the above equations three main facts were evident: the cohesion of both soils was small; their angles of internal friction were large; and saturation caused a significant drop in their cohesion and only a slight decrease in their angles of internal friction. The large drop in soil cohesion after saturation is attributed to a drop in soil moisture suction.

Two factors may be responsible for the small values of cohesion of both soils:

1. The abundance of stones, especially in terra rossa.
2. The fact that both soils had never been over-consolidated in the past.

The large values of the angles of internal friction and the slight drop of these values after saturation were attributed to the high stone content of both soils.

3.2 Dynamic penetration tests

Three typical penetration logs of the inspected soils are depicted in figure 8.

To check the match of the results obtained by the dynamic penetrometer and by the field shear apparatus, a comparison was made between the undrained shear strength of both soils terra rossa and rendzina, at the

depth of 30 cm (the depth at which shear by the direct field shear apparatus took place) obtained by both methods (Table 3).

The undrained shear strength of both soils, as computed from the results of the dynamic penetration tests, was higher than that computed from the results of the field shear tests, and the difference was higher for terra rossa than for rendzina.

One or both of two factors was responsible for the high values of the undrained shear strength computed from the results of the dynamic penetration tests:

1. The extra blows needed to crush the stones found in the soil profile, perpendicular to the path of the penetrometer's head. Such stones had to be crushed before the penetrometer could be driven into the soil. Stone crushings were displayed in the penetration log as prominent deviations from its general trend.
2. The use of two different methods for the determination of soil strength. Different methods frequently give different results (Zimbone et al., 1996).

The three penetration logs displayed in figure 8 show that the change of the undrained shear strength with depth is not significant. We can, therefore, consider the shear strength parameters determined by the direct field shear tests as representing the shear strength of the whole soil profile.

The influence of soil shear strength on the stability of terraces in the study area, with midsummer dry water content and midwinter saturated water content, is depicted in figures 9-12.

The critical height (Hc) of the terrace riser, which controls the stability of the terrace against landsliding, was calculated according to the Culmann equation (Selby, 1993, pp. 291-292).

$$Hc = \frac{4c}{\gamma} \cdot \frac{\sin\alpha \cdot \cos\phi}{[1 - \cos(\alpha - \phi)]}$$

In the case of a vertical terrace riser ($\alpha = 90°$), the case for which the calculations were done, this reduces to:

$$Hc = \frac{4c}{\gamma} \cdot tg(45 + \phi/2)$$

where:

c = soil cohesion

α = angle of terrace riser

ϕ = angle of internal friction

γ = soil unit weight

The critical heights of unretained terrace risers for both types of soils are given in table 4.

The small critical heights of risers of saturated terraces (~ 1 m for terra rossa terraces and ~ 2.3 m for rendzina terraces) emphasize the

importance of retaining walls in preventing the collapse of the risers. Unretained terraces and terraces with partly destroyed retaining walls are prone to collapse if their risers are higher than the critical height. Field investigations in the study area showed that even strong well-built retaining walls, under the effect of the lateral earth pressure and the drop of cohesion due to soil saturation, with time develop bulges at the level of one third of the retaining wall's height from its base (Figure 13). Sooner or later such bulges lead to the collapse of retaining wall or even to landslides, (Figure 14) which involve both the retaining wall and the retained soil. The lack of maintenance of most of terraces in the study area contributed greatly to terrace destruction and degradation.

4 Conclusion

Saturation of terra rossa and rendzina, the soils of which the terraces in the study area are composed, caused a large drop in their cohesion and a slight drop in their angles of internal friction. The drop in the cohesion of terra rossa was larger than that of rendzina. The drop of cohesion due to saturation can lead to terrace landslides. The direct basal field shear apparatus and the dynamic penetrometer were found to be useful in the determination of soil strength.

Acknowledgment

The research was supported under grant C 12-006, U.S.–Israel Cooperation Development Research Program, Office of the Science Advisor, U.S. Agency for International Development.

References

Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S. & Boyce, G. M. (1996): Slope Stability and Stabilization Methods. Wiley, New York.

Bathurst, J. C., Burton, A., Kilsby, C. G. & Sheffield, J. (1997): Large basin modeling and landslide erosion modeling. In: Mediterranean Desertification and Land Use, Second Annual Report, pp. 225-239.

Card, G. B. & Roche, D. P. (1988): The use of continuous dynamic probing in ground investigation. In: Penetration Testing in the UK, Proceedings of the Geotechnology Conference Organized by the Institution of Civil Engineers held in Birmingham on 6-8 July 1988, pp. 119-122.

Carson, M. A. & Kirkby, M. J. (1972): Hillslope Form and Process. Cambridge University Press.

Chandler, M. P., Parker, D. C. & Selby, M. J. (1981): An open-sided field direct shear box. British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin 27.

Gallart, F. & Clotet-Perarnau, N. (1988): Some aspects of the geomorphic processes triggered by an extreme rainfall event: The November 1982 flood in the Eastern Pyrenees. In: Geomorphic Processes in Environments with Strong Seasonal Contrasts. Catena Supplement 13, pp. 79-95.

Grimalt Gelabert, M., Blazquez Salom, M. & Rodriguez Gomila, R. (1992): Physical factors, distribution and present land-use of terraces in the Tramuntana mountain range. Pirineos, No.139, 15 a 25 , pp. 15-25.

Lehmann, R. (1993): Terrace degradation and soil erosion on Naxos island, Greece. In: Farm Land Erosion in Temperate Plains Environment

and Hills, Edited by Wicherek, S., pp. 429-450. Elsevier.

Lehmann, R. (1994): Landschaftsdegradierung, Bodenerosion und -Konservierung auf der Kykladeninsel Naxox, Griechenland. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Band 21.

Nixon, I. K. (1988): Introduction to Papers 10-13. In: Penetration Testing in the UK, Proceedings of the Geotechnology Conference Organized by the Institution of Civil Engineers held in Birmingham on 6-8 July 1988, pp. 105-111.

Pallares-Bou, J. (1994): Procesos que conducen a la rotura de muros en terrazas de cultivo (Norte Castellon). Cuaternario y Geomorfologia, 8, (3-4), pp. 23-36.

Salas-Pinto, D. F. & Vasques-Villanueva, A. (1987): Andenes: parametros, operacion y mantenimiento. Universidad Nacional Agraria. La Molina, Lima-Peru.

Selby, M. J. (1993): Hillslope Materials and Processes (second edition). Oxford University Press.

Tonks, D. M. & Whyte, I. L. (1988): Dynamic soundings in site investigations: some observations and correlations. In: Penetration Testing in the UK. Proceedings of the geotechnology conference organized by the Institution of Civil Engineers held in Birmingham on 6-8 July 1988. pp. 113-117.

Zgaier, A. (2000): Erosional processes on abandoned agricultural hillslope terraces under Mediterranean climatic conditions, Yirka, Western Galilee. Unpublished Ph. D. thesis. University of Haifa.

Zimbone, S. M., Vickers, A., Morgan, R. P. C. & Vella, P. (1996): Field investigations of different techniques for measuring surface soil shear strength. Soil Technology, pp. 101-111

Address of authors:

Captions for tables

Table 1. Some physical properties of the soils at the sites of shear tests.

Table 2. Specifications of the SRS 15 dynamic penetrometer (after Tonks &Whyte, 1988).

Table 3. Values of the undrained shear strength of terra rossa and rendzina in dry states as computed from the results of the dynamic penetration test and the field shear tests.

Table 4. Critical heights of the riser of terraces of terra rossa and rendzina in dry and saturated states.

Captions for figures

Photo - Figure 1. The direct field shear box.

Photo - Figure 2. Sample preparation for an in situ shear test.

Photo - Figure 3. The SRS 15 dynamic penetrometer.

Figure 4. Failure envelope of consistency tests on dry terra rossa.

Figure 5. Failure envelope of consistency tests on saturated terra rossa.

Figure 6. Failure envelope of consistency tests on dry rendzina.

Figure 7. Failure envelope of consistency tests on saturated rendzina.

Figure 8. Typical dynamic probe logs for terra rossa on hard limestone (A), rendzina on nari (B) and rendzina on soft marl (C).

Figure 9. Change of earth pressure with depth in a terrace of dry terra rossa. Shown also are the changes with depth of the stresses induced by the driving and resisting forces along a potential planar rapture plane passing through the vertical terrace riser.

Figure 10. Change of earth pressure with depth in a terrace of saturated terra rosa. Shown also are the changes with depth of the stresses induced by the driving and resisting forces along a potential planar rapture plane passing through the vertical terrace riser.

Figure 11. Change of earth pressure with depth in a terrace of dry rendzina. Shown also are the changes with depth of the stresses induced by the driving and resisting forces along a potential planar rapture plane passing through the vertical terrace riser.

Figure 12. Change of earth pressure with depth in a terrace of saturated rendzina. Shown also are the changes with depth of the stresses induced by the driving and resisting forces along a

potential planar rapture plane passing through the vertical terrace riser.

Photo Figure 13. Bulge of the retaining wall of an agricultural terrace.

Photo Figure 14. Typical landslide of an agricultural terrace.

Soil	Average water content in midsummer dry state (%)	Average water content in midwinter saturated state (%)	Average dry unit weight (KN/m³)	Average saturated unit weight (KN/m³)	Average porosity	Average void ratio	Average shrinkage limit (%)	Avearge plastic limit (%)	Average liquid limit (%)	Plasticity Index (%)
Terra rossa	16.91	36.33	16.572	18.533	0.5	1.12	9.56	28.43	57.85	29.42
Rendzina	11.0	31.35	16.18	19.024	0.48	0.93	17.94	21.94	37.89	15.95

Table 1.

Mass Kg	Drop m	Free fall energy of hammer KJ	Projected area of tip mm^2	Specific energy KJ/m^2
50	0.5	0.245	1500	163

T2

Soil	The average number of blows needed to drive the rod of the penetrometer 10 cm between the depths 20 cm and 30 cm	Undrained shear strength (Cu) KN/m^2	
		According to the penetration tests	According to the field shear tests
Terra rossa	3.25	28.00	23.32
Rendzina	3.6	25.20	24.28

T 3

Soil type	Critical height of terrace riser in midsummer dry state (m)	Critical height of terrace riser in midwinter saturated state (m)
Terra rossa	5.63	1.03
Rendzina	6.00	2.31

T4

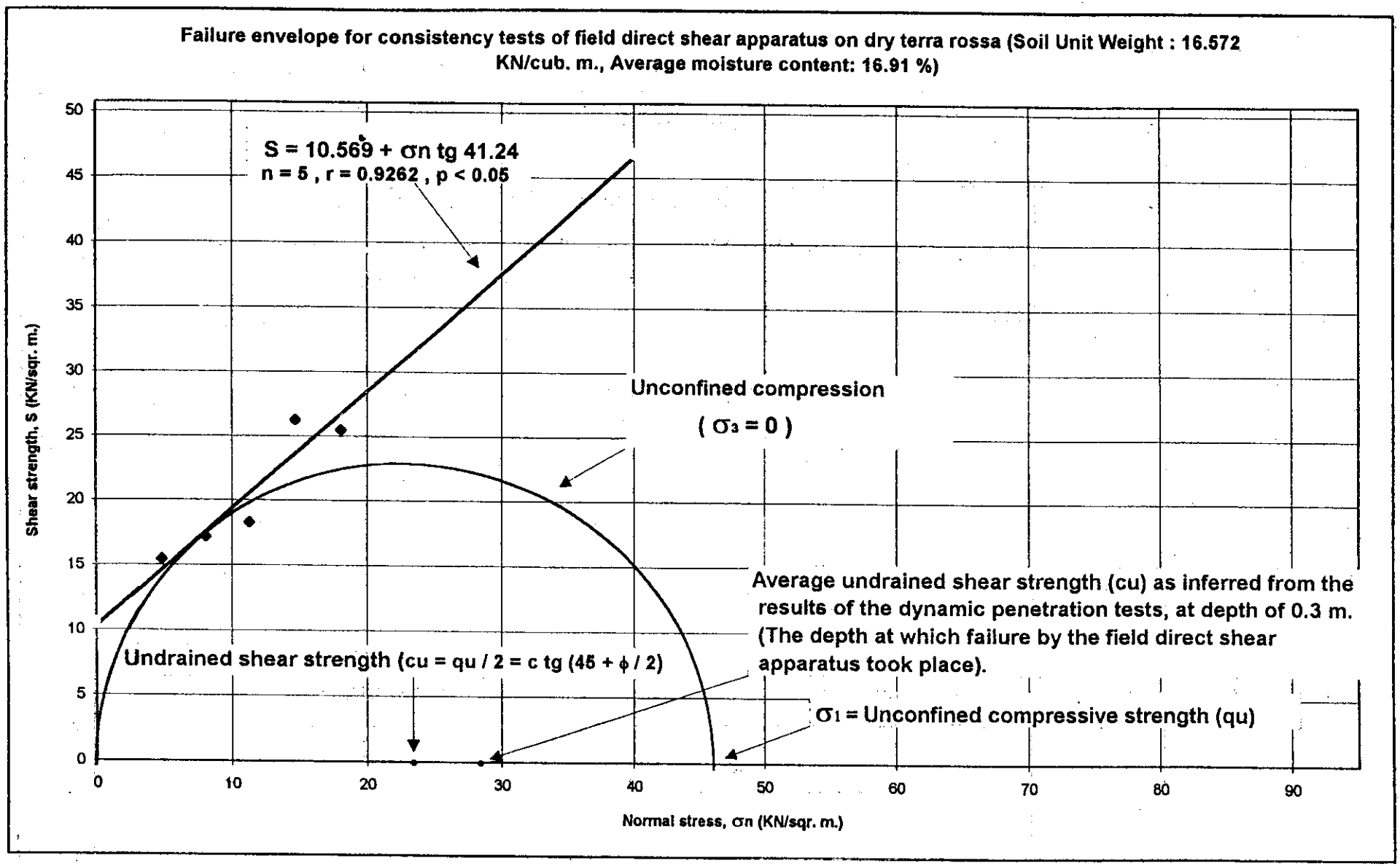


Figure 4. Failure envelope of consistency tests on dry terra rosa.

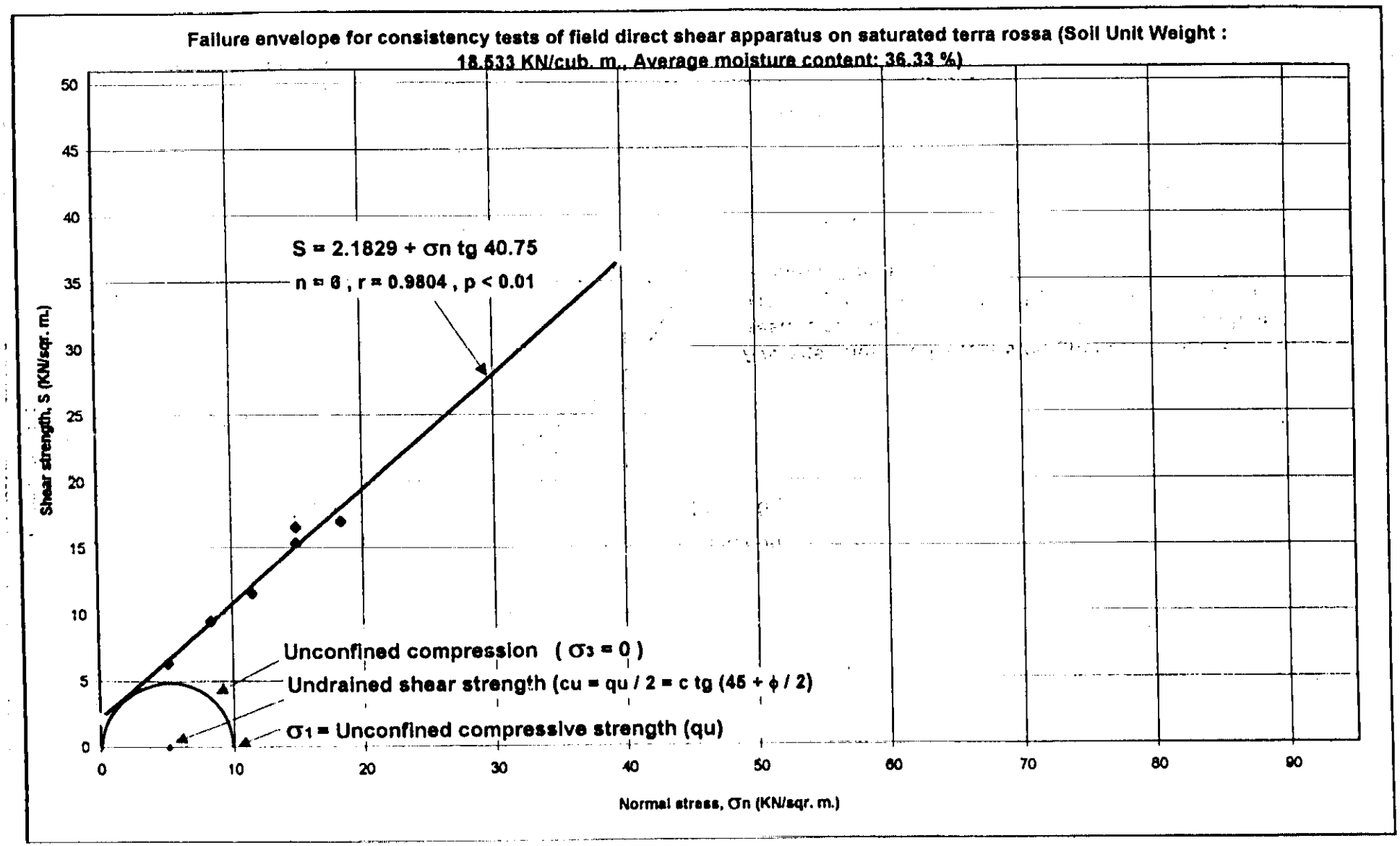


Figure 5. Failure envelope of consistency tests on saturated terra rossa.

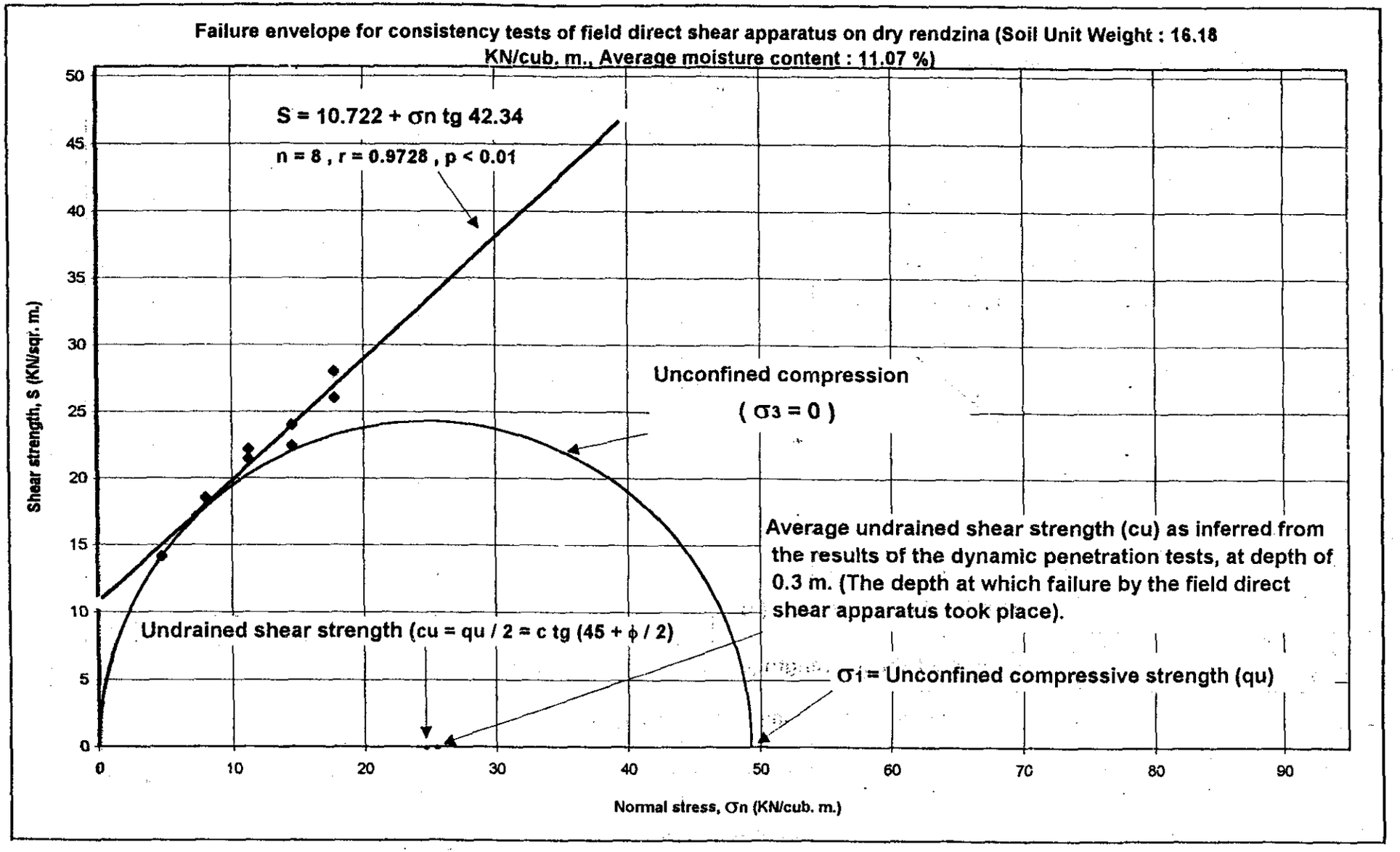


Figure 6. Failure envelope of consistency tests on dry rendzina.

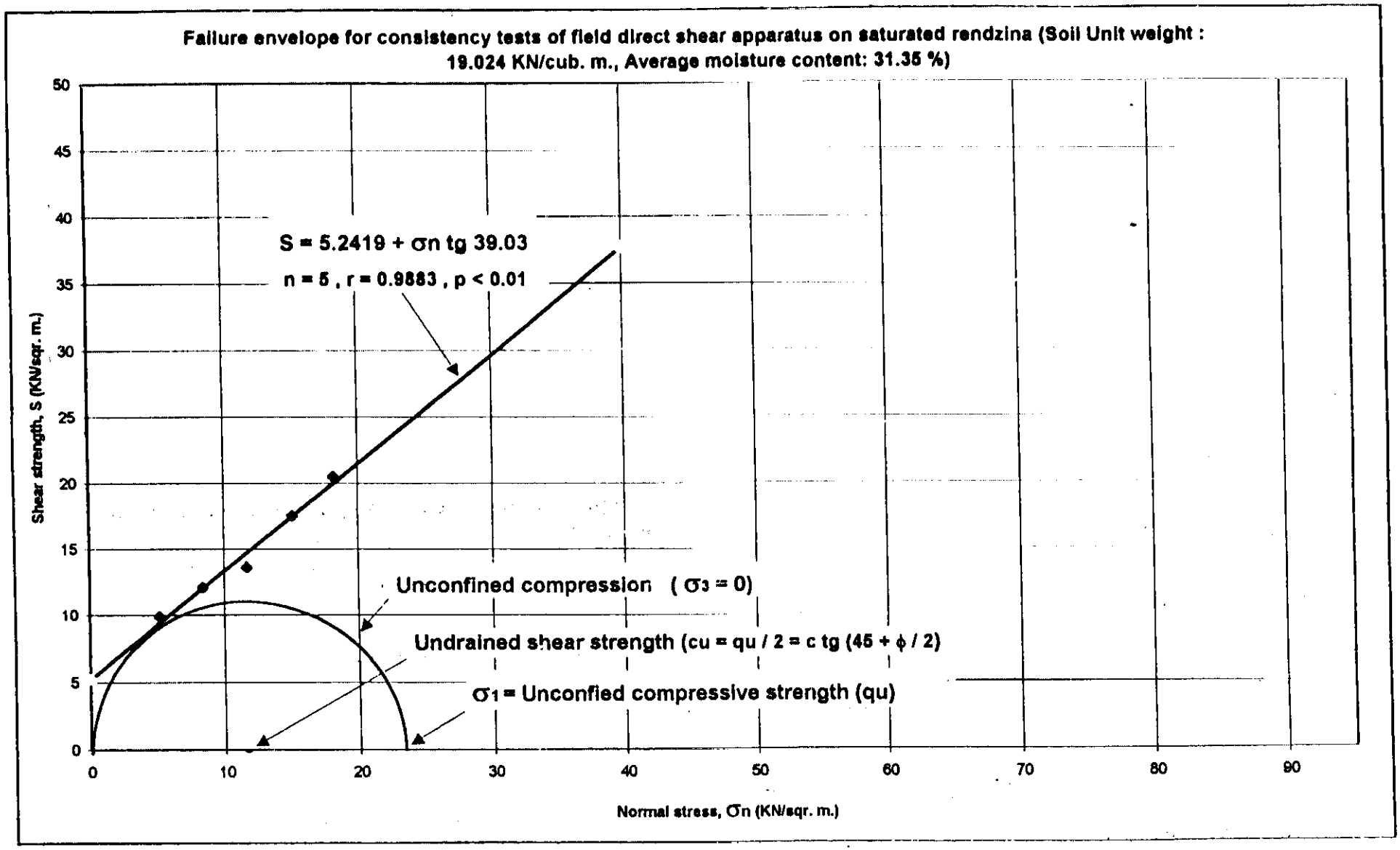
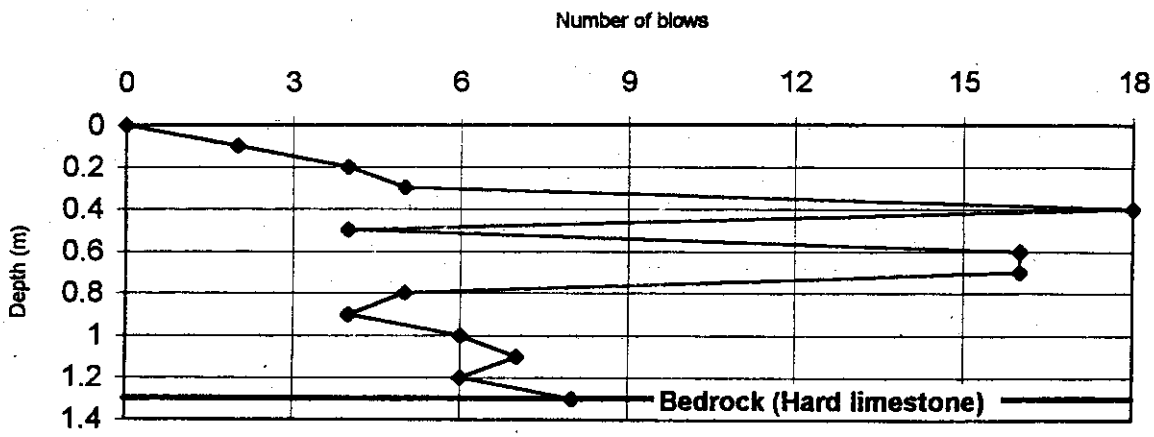
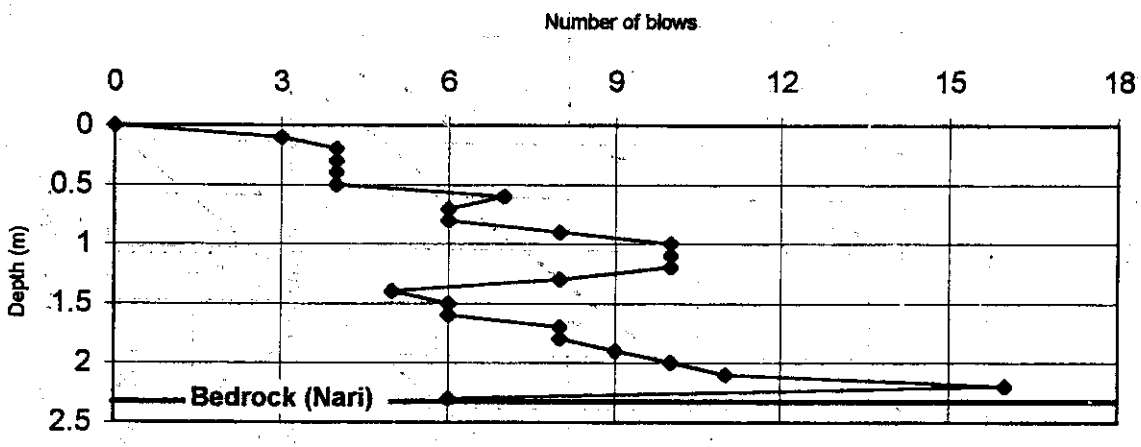


Figure 7. Failure envelope of consistency tests on saturated rendzina.

A. Terra rossa on hard limestone



B. Rendzina on nari



C. Rendzina on soft marl

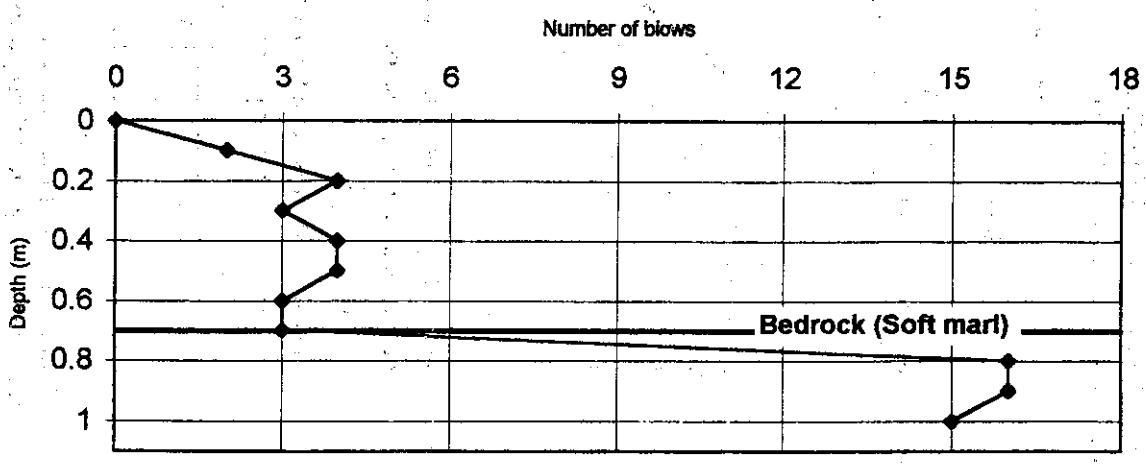


Fig 2

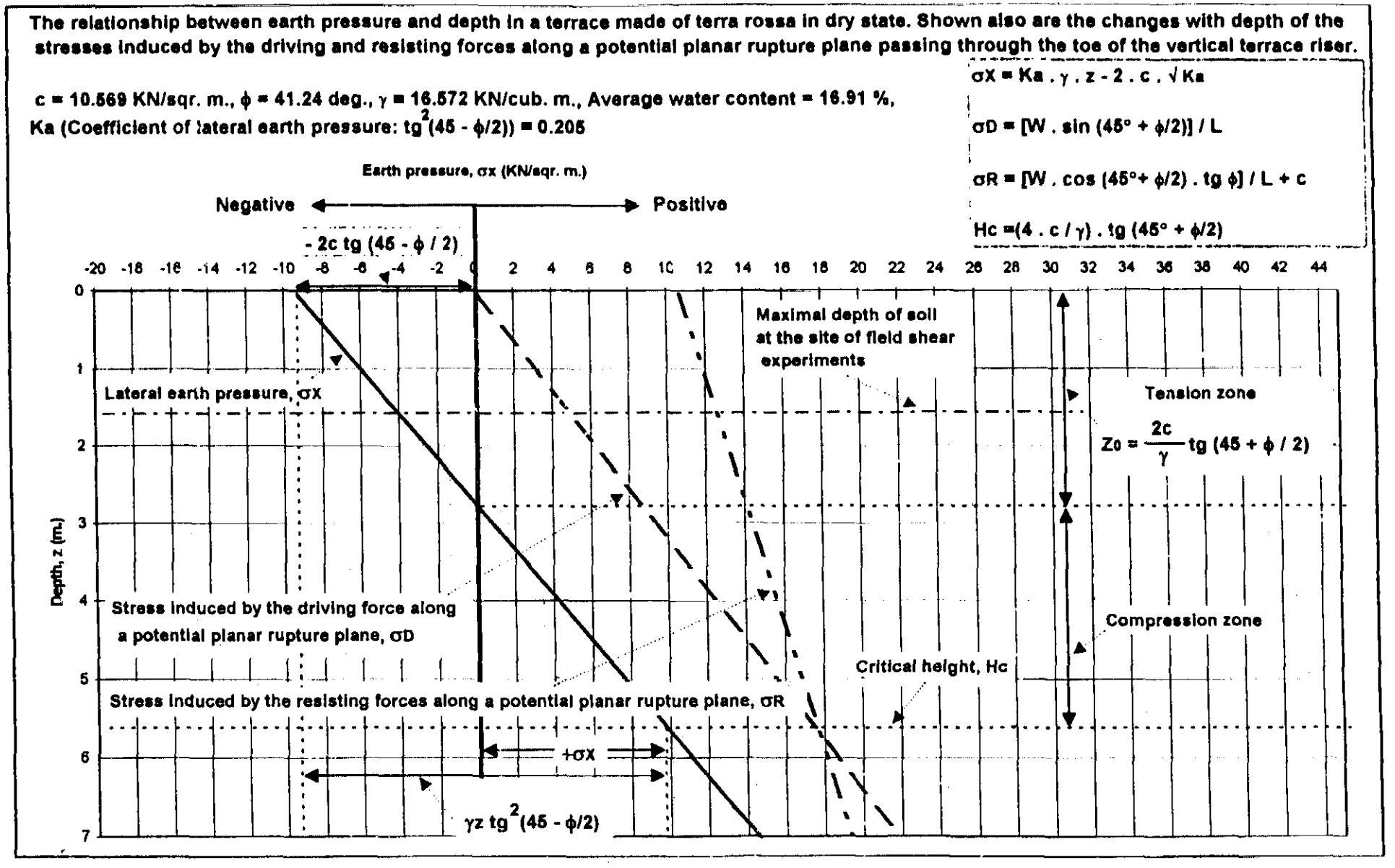


Figure 9. The change of earth pressure with depth in a terrace made of dry terra rosa. Shown also are the changes with depth of the stresses induced by the driving and resisting forces along a potential planar rapture plane passing through the vertical terrace riser.

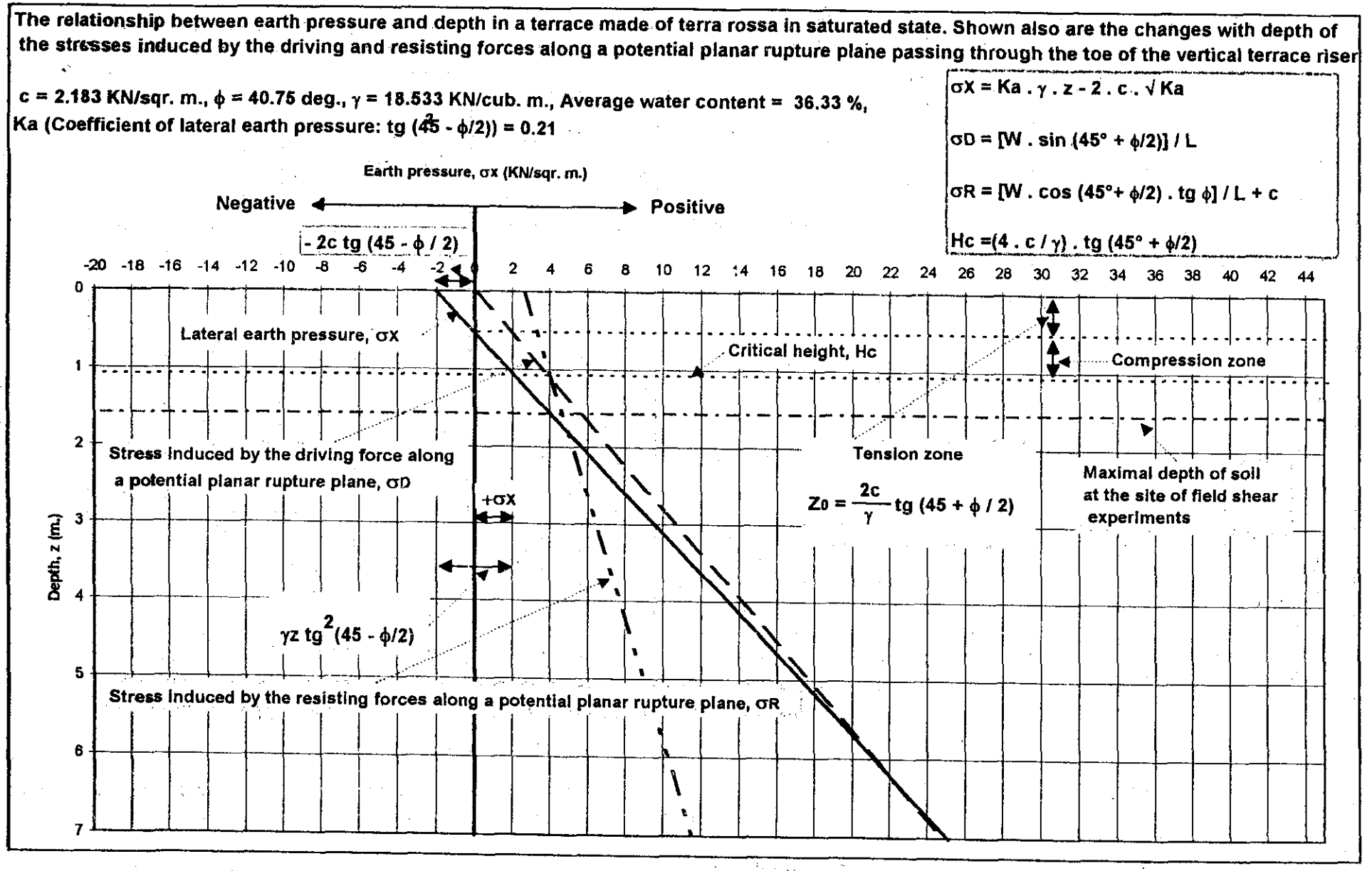


Figure 10. The change of earth pressure with depth in a terrace made of saturated terra rosa. Shown also are the changes with depth of the stresses induced by the driving and resisting forces along a potential planar rapture plane passing through the vertical terrace riser.

The relationship between earth pressure and depth in a terrace made of rendzina in dry state. Shown also are the changes with depth of the stresses induced by the driving and resisting forces along a potential planar rupture plane passing through the toe of the vertical terrace riser.

$c = 10.722$ KN/sqr. m., $\phi = 42.34$ deg., $\gamma = 16.18$ KN/cub. m., Average water content = 11.07 %,
Ka (Coefficient of lateral earth pressure: $tg^2(45 - \phi/2)$) = 0.195

$\sigma X = Ka \cdot \gamma \cdot z - 2 \cdot c \cdot \sqrt{Ka}$

$\sigma D = [W \cdot \sin(45° + \phi/2)] / L$

$\sigma R = [W \cdot \cos(45° + \phi/2) \cdot tg\,\phi] / L + c$

$Hc = (4 \cdot c / \gamma) \cdot tg(45° + \phi/2)$

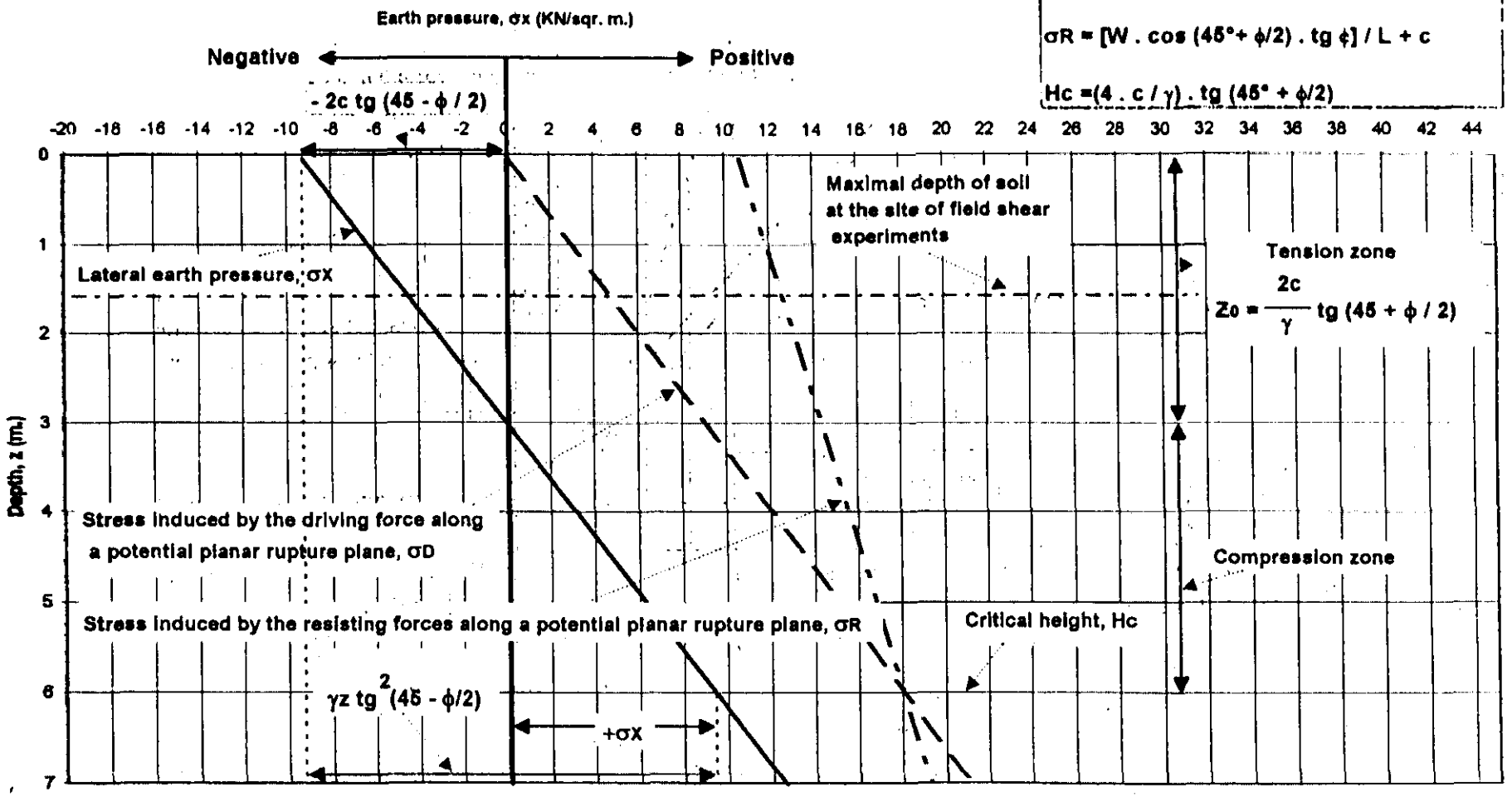


Figure 11. The change of earth pressure with depth in a terrace made of dry rendzina. Shown also are the changes with depth of the stresses induced by the driving and resisting forces along a potential planar rapture plane passing through the vertical terrace riser.

The relationship between earth pressure and depth in a terrace made of rendzina in saturated state. Shown also are the changes with depth of the stresses induced by the driving and resisting forces along a potential planar rupture plane passing through the toe of the vertical terrace riser.

c = 5.242 KN/sqr. m., ϕ = 39.03 deg., γ = 19.024 KN/cub. m., Average water content = 31.35 %,
Ka (Coefficient of lateral earth pressure: $tg^2(45 - \phi/2)$) = 0.227

$\sigma X = Ka \cdot \gamma \cdot z - 2 \cdot c \cdot \sqrt{Ka}$

$\sigma D = [W \cdot \sin(45° + \phi/2)] / L$

$\sigma R = [W \cdot \cos(45° + \phi/2) \cdot tg\,\phi] / L + c$

$Hc = (4 \cdot c / \gamma) \cdot tg(45° + \phi/2)$

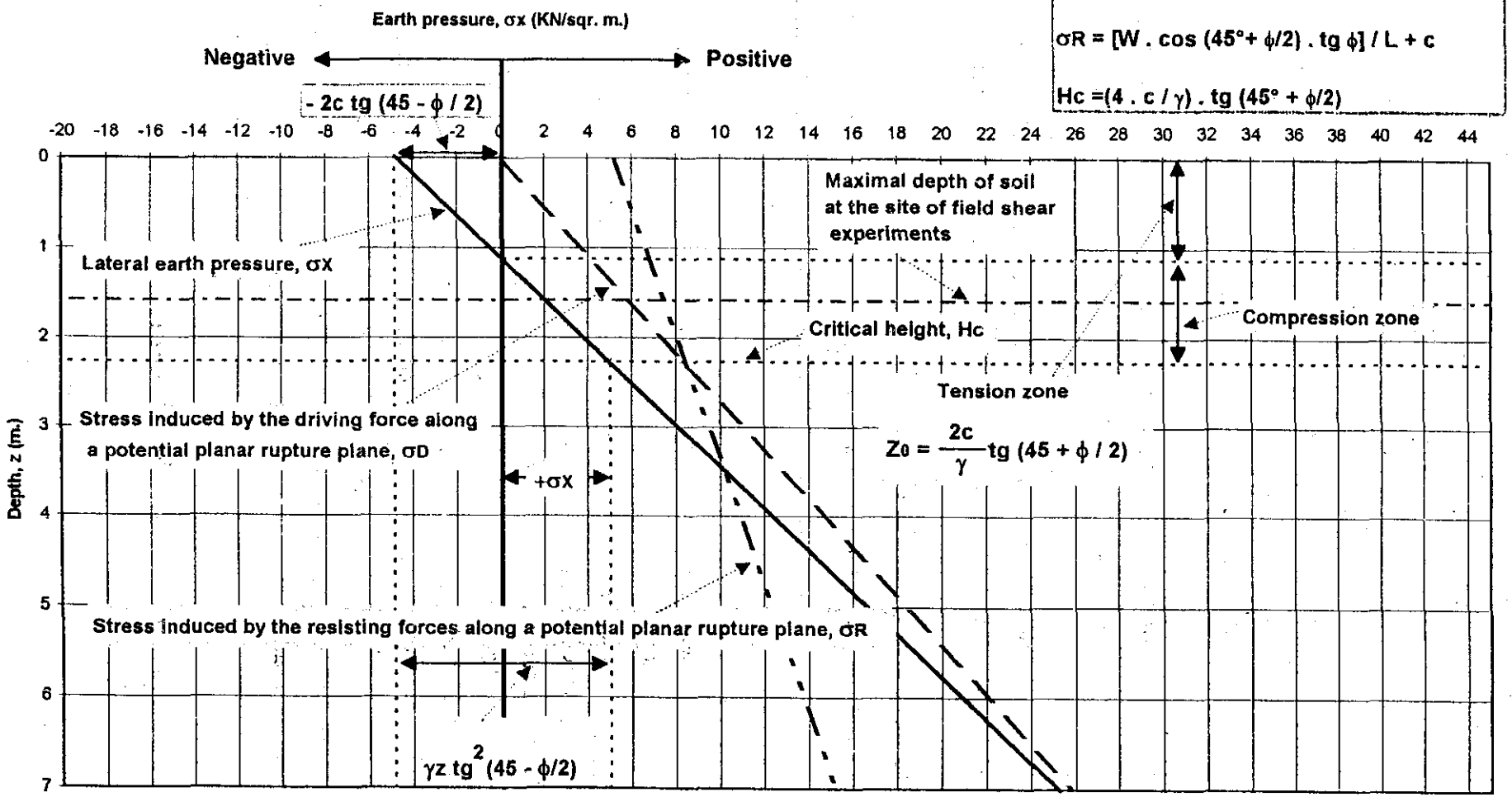


Figure 12. The change of earth pressure with depth in a terrace made of saturated rendzina. Shown also are the changes with depth of the stresses induced by the driving and resisting forces along a potential planar rapture plane passing through the vertical terrace riser.

Appendix 8

קביעת מידת היציבות של טרסות חקלאיות על סמך הגיאומטריה של קירותיהן התומכים

עלי זגייר ומשה ענבר, החוג לגיאוגרפיה - אוניברסיטת חיפה

מבוא

הטרסות החקלאיות היו הנוף השולט בהרי הגליל, שומרון ויהודה במשך תקופות היסטוריות ארוכות. בניית הטרסות באזורים אלה החלה לפני כ- 5000 שנה - בתקופת הברונזה הקדומה (1991 Gibson et al.,), התקופה בה התחולל החלק המאוחר של המהפכה הטכנולוגית החקלאית, אשר בנוסף לבניית טרסות על מדרונות ההרים כללה גם ביות בעלי חיים וזריעה של גידולים חקלאיים. בניית הטרסות יצרה את הקרקע כאמצעי צור עיקרי באזורים הרריים.

בניית המדרגות החקלאיות באה להשיג מספר מטרות:

1. יישור השטח במטרה לאפשר עיבוד חקלאי.
2. צבירת קרקע באזור המדרוני.
3. הגברת כושר אגירת המים באזור המדרוני ע"י הגדלת מאגר הקרקע, והתאמת פני השטח להשקיית אזורים הזקוקים לכך.
4. מניעת סחיפת הקרקע. החקלאי לא היה מודע למטרה זו, אך היא היתה תוצאה לואי של בניית הטרסות.

התבוננות בנופים של הרי יהודה והגליל מראה שמרבית הטרסות כבר ננטשו, ועם נטישתן חל תהליך של הרס וסחיפת קרקע. תהליך נטישת הטרסות בארץ החל לפני כ - 1500 שנים, אך הוא התגבר ביתר שאת ב-50 השנים האחרונות - עם הירידה במעמד החקלאות ההררית בארץ (תמונה 1).

הבנת תהליך הסחיפה ושיעורו חיונית למדיניות של שימור הנוף, הקרקע והמים והתכנון החקלאי והאזורי. נטישת הטרסות מאיימת על איבוד אחד מנכסי התרבות הראשונים של האדם, שאפשרו פיתוח וקיום תרבות אנושית מפותחת. תהליכי הסחיפה הם בלתי הפיכים. תהליכים כאלה מתרחשים באזורים רבים בעולם, כגון האמדים בפרו (Inbar and Llerena, 1997) והרי ההימלאיה (1995 Ahmad,). המערכות האקולוגיות ההרריות הן רגישות וכל שינוי הוא לעתים הרסני ובלתי הפיך.

תהליך הגלישה מהווה אחד מתהליכי ההרס החשובים של הטרסות החקלאיות המסורתיות (Gallart and Clotet-Perarnau, 1988; Caine and Mool ,1982). תהליך זה פעיל בחורף כתוצאה מגשמים חזקים וממושכים. בטרסות אשר נתמכות ע"י קירות אבן, פוגעות הגלישות הן בקירות התומכים והן בקרקעות הנתמכות על ידיהם. תצפיות שדה בשטחי טרסות באזורים רבים בארץ מראות שהגיאומטריה המקורית של הקירות התומכים משתנה במהלך הזמן, מרגע בנייתם עד לקריסתם, כאשר השינוי הבולט ביותר הוא התפתחות של בליטות בהם (תמונה 2). הבליטות גורמות ע"י הלחץ הצדדי של הקרקע אשר גורם לגזירת הקיר התומך לשני קטעים. התפתחות הבליטות בקירות התומכים גורמת לשינוי בזוית ההטיה המקורית של הקיר ומהווה בדרך כלל סימן לערעור שיווי המשקל

91

Appendix 9

EROSIONAL PROCESSES ON ABANDONED HILLSLOPE AGRICULTURAL TERRACES UNDER MEDITERRANEAN CLIMATIC CONDITIONS, YERCA - WESTERN GALILEE

By: Ali Zgaier

Supervised by: Prof. Moshe Inbar

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE "DOCTOR OF PHILOSOPHY"

Volume 1

UNIVERSITY OF HAIFA

GRADUATE STUDIES

THE COMMITTEE FOR DOCTORAL STUDIES

July 2000

Appendix 10