

**Holozäne Landschaftsentwicklung im Einzugsgebiet des Río  
Yavi  
(Jujuy / Argentinien)**

**Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades**

**der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften**

**der Universität Bayreuth**

**vorgelegt von  
Julio José Kulemeyer  
aus Argentinien**

**Bayreuth 2005**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth genehmigten Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. Nat.).

Die Vorliegende Arbeit wurde von Oktober 1998 bis März 2005 am Lehrstuhl Geomorphologie der Universität Bayreuth unter der Anleitung von Prof. Dr. Helmut Stingl angefertigt.

Promotionsgesuch eingereicht am:  
Tag des wissenschaftlichen Kolloquiums

13. April 2005  
27. Juni 2005

Erster Gutachter:  
Zweiter Gutachter:

Prof. Dr. Helmut Stingl  
Prof. Dr. Ludwig Zöller

*Dedicado a Liliana,  
María Clara  
Guillermo Manuel  
y Damaris Leonor*

*y  
a  
Leonor y Enrique*

## **DANKSAGUNG**

Ich danke den vielen Personen und Organisationen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Helmut Stingl, für seine motivierende Betreuung und seine ständige, hilfreiche Diskussionsbereitschaft, wie auch dem Laborleiter des Lehrstuhls für Geomorphologie, Herrn Dipl. Geol. Radu Schill, für die Durchführung der Schwermineralanalysen und für seine freundliche, uneingeschränkte Unterstützung.

Sehr zum Dank verpflichtet bin ich Prof. Dr. Karsten Garleff, Lehrstuhl für Physische Geographie der Universität Bamberg. Zusammen mit seinen Mitarbeitern gewährte er mir nicht nur fachliche Unterstützung, sondern erleichterte mir und meiner Familie den Aufenthalt in Deutschland auf der Basis einer freundschaftlichen Zusammenarbeit.

Prof. Dr. Frank Schäbitz und Dr. Helga Liebricht bin ich für das entgegengebrachte Interesse und für die gute Zusammenarbeit sehr dankbar. Ich bedanke mich auch beim Laborleiter des Lehrstuhls, Herrn Roland Beer, für die Durchführung von Laboranalysen.

Mein Dank geht auch an Prof. Dr. L. Zöller, der mir für meine Arbeit freundlicherweise einen Büroraum zur Verfügung stellte.

Dr. Andreas Schellenberger, Dipl. Geoök. Matthias Zipprich, Dipl. Geoök. Bernd Reizner und Dipl. Geogr. Jan Hendrick May danke ich für ihre Anmerkungen und wertvollen Zusammenarbeit.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gilt mein Dank für die im Rahmen des Forschungsprojektes "Jungquartäre Paläoökologie, Landschafts- und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas" geleitet von Prof. Dr. H. Stingl, Prof. Dr. K. Garleff, W. Zech und H. Veit (Universitäten Bamberg und Bayreuth)



gewährte finanzielle Unterstützung, wie auch der Universität Bayreuth durch Vermittlung ihres Präsidenten Herrn Prof. Dr. Ruppert bereit gestellten Mittel.

Ich danke auch den Mitarbeitern der Grupo Yavi de Investigaciones Científicas und der Universidad Nacional de Jujuy, die mir während vieler Diskussionen und Geländekampagnen wertvolle Unterstützung entgegenbrachten –dem Direktor Dr. Jorge Alberto Kulemeyer, Dr. Liliana Lupo, Dipl. Anthr. Luis Laguna, Dipl. Anthr. Mónica Echenique sowie den an den Geländearbeiten beteiligten Studenten.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	7
1.1	Problemstellung	7
1.2	Lage des Untersuchungsraumes	10
2	Untersuchungsmethoden	14
3	Die Grundzüge der aktuellen Landschaft:	18
3.1	Geologie	18
3.2	Relief	23
3.2.1	Reliefeinheiten	23
3.2.2	Pleistozäne Landschaftsentwicklung	24
3.3	Vegetation	30
3.3.1	Phytogeographische Provinz Altoandina	30
3.3.2	Phytogeographische Provinz Puna	31
3.3.3	Anthropogener Einfluß	32
3.4	Klima	34
4	Zum Forschungsstand der holozänen Landschaftsentwicklung und zur Siedlungsgeschichte in Nordwestargentinien und angrenzenden Gebieten	39
4.1	Landschaftsentwicklung	39
4.2	Siedlungsgeschichte	41
5	Untersuchung holozäner Sedimente und Reliefformen in ausgewählten Teilgebieten des Río-Yavi-Systems	48
5.1	Äolische Reliefformen und Sedimente auf der Punahochfläche	48
5.2	Grundzüge des holozänen sedimentologischen Aufbaus der Täler	49
5.2.1	Untersuchungsgebiet 1, Yavi Chico	50
5.2.2	Untersuchungsgebiet 2, La Palca	60
5.2.3	Untersuchungsgebiet 3, Yavi	67
5.2.4	Untersuchungsgebiet 4, Casti	73
5.2.5	Untersuchungsgebiet 5, Chalhualmayoc	80
5.3	Granulometrische, morphoskopische und schwermineralanalytische Untersuchungen ausgewählter Profile	84
5.3.1	Profil Yavi 3	84
5.3.2	Profil Palca 5	88
5.3.3	Profil Palca 9	89

5.3.4	Probenvergleich der plio-pleistozänen Sandsteine mit holozänen Decksedimenten der Punahochfläche	90
5.3.5	Interpretation der Paläo-Umweltbedingungen der Profile	92
6	Die Tendenzen der holozänen Landschaftsentwicklung - Ergebnisse und Diskussion	95
7	Die Gliederung der holozänen Landschaftsgeschichte im Río-Yavi-Einzugsgebiet	105
7.1	Phase I (10500 - 8300 yr B.P.)	107
7.2	Phase II (8300 - 2000/1500 yr B.P.)	108
7.3	Phase III (2000/1500 yr B.P. - Gegenwart)	109
8	Zusammenfassung / Abstract / Resumen	113
9	Literaturverzeichnis	123

## **ANHANG**

1	Tabelle der <sup>14</sup> C-Daten	141
2	Profilbeschreibung Yavi 3	143
3	Tabelle der Schwerminerale im Profil Yavi 3	145
4	Profilbeschreibung Palca 5	146
5	Tabelle der Schwerminerale und Corg-Gehalte im Profil Palca 5	147
6	Profilbeschreibung Palca 9	148
7	Tabelle der Schwerminerale und Corg-Gehalte im Profil Palca 9	150
8	Tabelle der granulometrischen Analyse der Profilssequenz Palca 9	151
9	Tabelle der granulometrischen Analyse der plio-pleistozänen Proben	152
10	Tabelle der Schwerminerale der plio-pleistozänen Proben	153
11	Tabelle der granulometrischen Analyse äolischer Sedimente der Punahochfläche	154
12	Tabelle der Schwermineralanalyse äolischer Sedimente der Punahochfläche	155

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Problemstellung

Die vorliegende Arbeit untersucht die holozäne Landschaftsgeschichte, d.h. die Entwicklung der Landschaft in den letzten rund 10.000 Jahren im Einzugsbereich des Río Yavi, Provinz Jujuy, in Nordwestargentinien. Dabei wird „Landschaftsgeschichte“ hier vorrangig im Sinne von Veränderung und Effekten der Morphodynamik und daraus folgender Reliefentwicklung verstanden; erst in zweiter Linie im Sinne der Veränderung der jeweiligen Vegetation. Die Arbeit ist Teil eines größeren Forschungsprojektes „Jungquartäre Paläoökologie, Landschafts- und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas“ (DFG-Projekt Ga 184/9-2), das von 1996 bis 1998 von den Lehrstühlen Geomorphologie (Prof. Dr. Stingl) und Bodenkunde (Prof. Dr. Zech) der Universität Bayreuth sowie dem Lehrstuhl Physische Geographie der Universität Bamberg (Prof. Dr. Garleff) betrieben wurde, in enger Kooperation mit der archäologisch und geowissenschaftlich arbeitenden Grupo Yavi de Investigaciones Científicas der Universidad Nacional de Jujuy, Argentinien.

Die Arbeiten des Projektes konzentrierten sich auf geomorphologisch - geoarchäologische sowie paläoökologisch - paläoklimatische Untersuchungen zum jüngeren Quartär im Trockengebiet NW - Argentinien, mit regionalen Schwerpunkten im Bereich der Sierra de Santa Victoria sowie ihrem westlichen Vorland, unter Einschluß der Punahochfläche.

Untersuchungen zur Landschaftsgeschichte gehen von einem multidisziplinären Forschungsansatz aus. Die Indikatoren für paläoökologische Verhältnisse und deren Veränderungen ergeben sich aus geomorphologischen, geologischen, sedimentologischen, pedologischen, paläontologischen, insbesondere palynologischen und anderen geowissenschaftlichen Forschungen und Befunden. Für das jüngere Quartär können auch archäologische und historische Quellen von

großer Bedeutung sein, deren Informationswert im Bezug auf die Landschaftsentwicklung in Argentinien bisher kaum genutzt worden ist.

Derartige Untersuchungen sind u.a. im Rahmen des Problems von Global Change von großer Relevanz. In Europa und im Umkreis der Alpen sind die entsprechenden Forschungen weit fortgeschritten, in Südamerika, insbesondere in den nordwestargentinischen Anden dagegen vergleichsweise in einem Pionierstadium. Erst in den allerletzten Jahren ist die holozäne Entwicklung in Nordchile und Bolivien in das wissenschaftliche Blickfeld geraten (Argollo & Mourguiart 1998; Bobst et al. 2001; Geyh 2000; Geyh et al. 1998, 1999; Grosjean 1998, 2001; Grosjean et al. 1997, 2001, 2003; Kull & Grosjean, 1998; Kull 1999, Messerli et al. 1993, 1998; Nuñez et al. 1995-1996; Paduano et al. 2003; Quade et al. 2001; Servant & Servant-Vildary 2001, 2003; Silvestre et al. 1999; Veit 1991, 1992, 1993, 1996, 1998; Veit et al. 1998; Wirrmann & Mourguiart 1995; Wolfe et al. 2001, u.a.). Die vorliegende Arbeit kann hier einen notwendigen Beitrag vom nordwestargentinischen Andenbereich liefern. Kenntnisse über die Geschichte der Natur- und Kulturlandschaft bilden außerdem die notwendige Basis für den Erfolg von Forschungsprojekten, die auf die nachhaltige Entwicklung arider Gebiete abzielen, wie sie in Argentinien z.B. von dem argentinischen Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) und der deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) durchgeführt werden.

Im Untersuchungsraum und seiner weiteren Umgebung, d.h. dem südöstlichen Teil des südamerikanischen Altiplano, beruhen die allgemeinen Kenntnisse des Quartärs vorrangig auf Untersuchungen von Paläoböden in den unteren Gebirgslagen und im Piedmontbereich, von glazialen und periglazialen Formen in den Gebirgen sowie auf sedimentologischen und palynologischen Befunden in den Tälern und abflußlosen Becken mit Seen oder Salaren. Ein wesentliches Problem für die Korrelation der Befunde und damit für die Rekonstruktion der Klima- und Umweltveränderungen in der Vergangenheit liegt in der Schwierigkeit einer präzisen zeitlichen Einordnung, d.h. in der Seltenheit exakter Datierungen (Garleff et al. 1991). Diese Schwierigkeiten beruhen vorrangig auf dem in Trockengebieten allgemein auftretenden Mangel an organischen Sedimenten, die mit der Radiokarbonmethode,

der gängigsten absoluten Datierungsmethode für jungquartäre Sedimente, datiert werden könnten.

Die klimatisch bedingt sehr langsame Bodenentwicklung im Trockengebiet der Anden sowie die räumliche und zeitliche Vorherrschaft einerseits von Erosionsprozessen andererseits der Akkumulation vorwiegend grobklastischen Materials, sind Bedingungen, die generell für die Erhaltung datierbarer und paläoökologisch auswertbarer organogener Sedimente wenig geeignet sind.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die detaillierte Untersuchung der Holozänablagerungen in den Tälern, die häufig humose Schichten enthalten und dadurch Gelegenheiten zu  $^{14}\text{C}$ -Datierungen bieten. Weiterhin sind aus diesen häufig mehrere Meter mächtigen Talfüllungen zahlreiche gut erhaltene archäologische Funde bekannt, so daß insgesamt Möglichkeiten zur Erstellung einer absoluten und von verschiedenen Seiten abgesicherten Chronologie gegeben sind.

Derartige Sedimente bzw. Talfüllungen sind in den Kleintälern der Zentralanden weit verbreitet. Sie bieten häufig kontinuierliche Sedimentationsfolgen über das gesamte Holozän und sind in einem weiten Spektrum von Klima- und Landschafts-Szenarien vertreten, die die Bedingungen unterschiedlicher hygrischer Prägungen von subhumiden bis ariden Verhältnissen sowie die Höhenstufen zwischen etwa 2000 und 4500 m ü.M. - Prepuna, Puna und Altoandino - umfassen.

Die Untersuchung der holozänen Landschaftsgeschichte schließt den gravierenden Faktor Klimaentwicklung ein und das Problem der Beziehung zwischen holozänen Klimaphasen und vorzeitlich - holozänen Umwelten. Darüberhinaus ist die Frage nach dem eventuellen Einfluß der Landschafts- und Klimageschichte auf die Entwicklung der Kulturen zu stellen, ebenso die Frage, welchen Einfluß umgekehrt die Kulturen auf die Landschaft und ihre Entwicklung genommen haben.

## 1.2 Lage des Untersuchungsraumes

Die Zentralanden Südamerikas erstrecken sich durch Peru, Bolivien, den Norden von Chile und Nordwestargentinien und schließen in ihrem südlichen Teil eine ausgedehnte Hochfläche ein, in die z.T. großflächige Seen, Lagunen und Salare geringfügig eingetieft sind. Die auch unter den Namen „Puna“ oder „Altiplano“ bekannte Hochfläche wird im Osten von annähernd meridional streichenden tektonisch gehobenen Blöcken bzw. Gebirgsketten, im Westen von Vulkanbauten begrenzt (Abb. 1).

Das Einzugsgebiet des Río Yavi liegt im nordöstlichen Teil der argentinischen Puna zwischen  $22^{\circ}5'$  und  $22^{\circ}21'$  S sowie  $65^{\circ}29'$  und  $65^{\circ}14'$  W und umfaßt eine Fläche von etwa  $433 \text{ km}^2$ . Die Hauptentwässerungsbahnen des Einzugsgebietes entspringen in der Sierra de Santa Victoria in Höhen zwischen 4700 und 5000 m ü.M. Im Piedmontbereich (d.h. unter etwa 4000 m ü.M.) ist die Morphographie von einer Hochfläche beherrscht, die sich mit mittlerem Gefälle von etwa 2% von den Gebirgsketten der „Cordillera Oriental“ (Ostkordilliere), in diesem Falle der Sierra de Santa Victoria, in westlicher Richtung abdacht. Die Täler zerschneiden die Hochfläche mit zunehmender Tiefe von der Sierra de Quirquinchos in nordwestlicher Richtung und sind in der Nähe der argentinisch-bolivianischen Grenze etwa 250m eingetieft (Abb. 2). Einige kleinere Gebirgszüge erheben sich wenige Hundert Meter über die Hochebene: die Sierra de Cajas, die Sierra de Quirquinchos und der Cordón de Siete Hermanos.

Der Untersuchungsraum wird durch die Wasserscheide gegen die benachbarten Einzugsgebiete abgegrenzt; mit Ausnahme des nordwestlichen Bereichs, in dem der Río Yavi in einer Höhenlage von etwa 3250 m ü.M. das argentinische Staatsgebiet verläßt und die Bearbeitungsgrenze der argentinisch-bolivianischen Grenze folgt. Der Untersuchungsraum gehört ebenso wie die benachbarten hydrographischen Systeme der Puna des nördlichen Jujuy, z.B. des Río Grande de San Juan und des Río de La Quiaca, zum oberen Einzugsgebiet des Río Pilcomayo und ist damit dem Río de la Plata tributär.

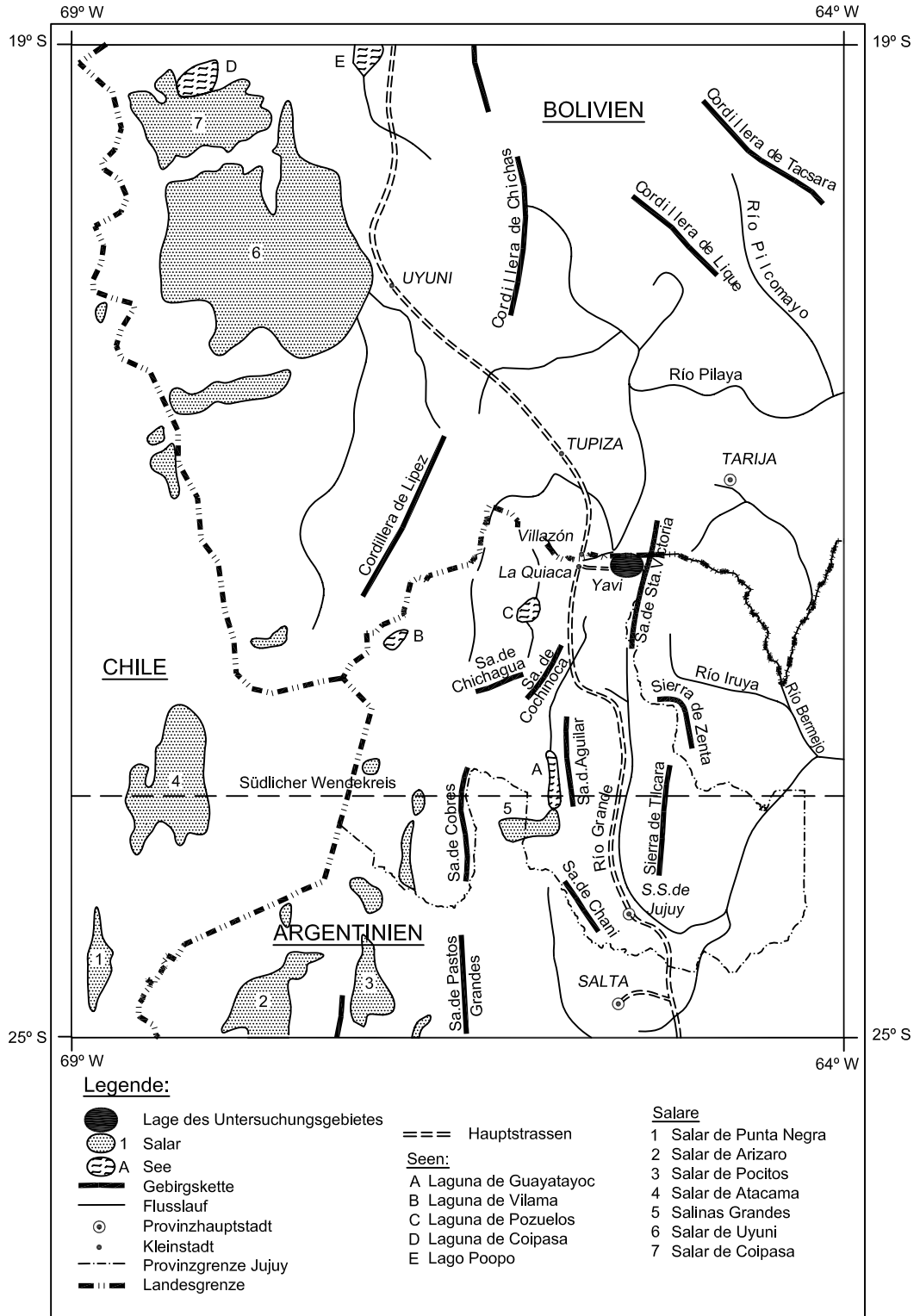


Abb. 1. Lage des Untersuchungsgebietes



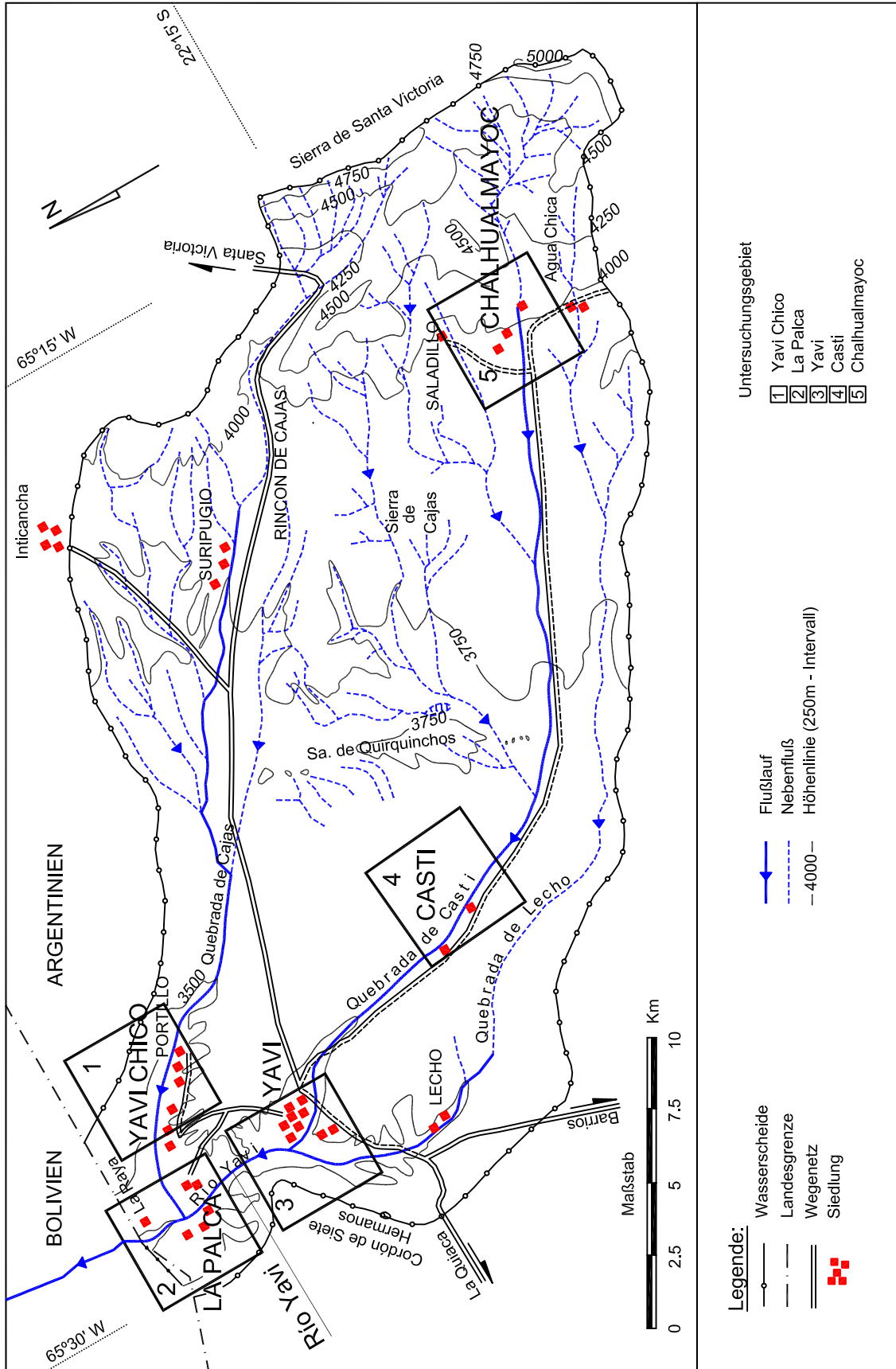


Abb. 2: Übersichtskarte des Beckens von Rio Yavi (Topographie, Entwässerung, Wegenetz und Untersuchungsgebiete)

Die wichtigste Siedlung im Untersuchungsraum, der Ort Yavi, ist etwa 16 km von der Grenzstadt La Quiaca und 320km von der Provinzhauptstadt San Salvador de Jujuy entfernt. Von der Grenzstadt La Quiaca an der argentinisch-bolivianischen Grenze ist Yavi über die Provinzstraße N° 5 zu erreichen. Innerhalb des Untersuchungsraumes existiert ein Wegenetz aus Schotterstraßen, die von Yavi in verschiedenen Richtungen zu den Weilern und Einzelhöfen führen.

## 2 UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Zur Aufnahme, zeitlichen Einordnung und zur Interpretation der Beziehungen zwischen holozänen Formen, Prozessen und Sedimenten wurden Geländeuntersuchungen, insbesondere Profilaufnahmen in den Tälern, Laborarbeiten und Literaturstudien durchgeführt. Dabei wurden die wesentlichen Komponenten der aktuellen, aber auch der präholozänen Landschaft zusammengestellt, analysiert und charakterisiert. Angesichts ihres großen Einflusses auf die morphodynamischen Prozesse konzentrierte sich die Untersuchung zunächst auf die Erfassung der geologischen Verhältnisse, der Reliefeinheiten, des aktuellen Klimas und der Vegetation sowie auf die Entwicklung der menschlichen Siedlung und Nutzung.

Als Basis für die geologische und geomorphologische Untersuchung dienten die Geologische Karte 1:200.000 Blatt 2c, Santa Victoria, und die zugehörigen Erläuterungen von Turner (1964), sowie die Aktualisierung und partielle Modifikation dieser Grundlage mit Hilfe jüngeren Schrifttums und eigener Aufnahmen im engeren Untersuchungsraum. Auf diesen Grundlagen und der Auswertung von Luftbildern im Maßstab 1:75.000 des Instituto Geográfico Militar Argentino wurden die geologische und die geomorphologische Karte des Untersuchungsraumes entwickelt.

Die aktuellen klimatischen Verhältnisse werden durch das räumliche Muster der atmosphärischen Zirkulation und die Analyse der klimatischen Parameter, insbesondere der Niederschläge und Temperatur und ihres Jahresganges sowie ihrer räumlichen Verteilung einschließlich ihrer hypsometrischen Abwandlung, im Norden der Puna von Jujuy charakterisiert (Weischet, 1988, 1996; Troll & Paffen, 1964; Müller, 1980 und Bianchi & Yañez, 1992, u.a.).

Die sedimentologische Untersuchung der Talfüllungen bildet ein zentrales Thema dieser Arbeit. Diese Talfüllungen bilden im Bereich des Untersuchungsraumes die einzigen Ablagerungen mit zeitlicher Kontinuität durch das gesamte Holozän und bieten viele Möglichkeiten zur relativen und absoluten Altersbestimmung der

Sedimente. Sie stellen damit wichtige Archive zur Gewinnung holozäner paläoökologischer Daten dar. Dank der aktuellen Einschneidung der Gerinne in diese Talfüllungen bieten sich zahlreiche umfangreiche Aufschlüsse, die Einblicke in den dreidimensionalen Aufbau der Akkumulationen gewähren. Insgesamt wurden 30 ausgewählte Aufschlussprofile in verschiedenen Teilbereichen des Einzugsgebietes aufgenommen und durch eine Bohrung im Talboden ergänzt. Die Profile wurden detailliert beschrieben, im Maßstab 1:10 oder 1:20 gezeichnet, fotografiert und in erfolversprechenden Fällen für Laboruntersuchungen beprobt. Darüber hinaus wurde jeder Profilstandort auch in Bezug auf seine Umgebung und lokalen Einzugsgebiete geomorphologisch untersucht, um die Korrelation der Profile zu erleichtern und die geomorphologische Interpretation abzusichern.

Die besten Aufschlüsse der Talsedimente findet man in Höhenlagen unter 3600 m ü.M, wo man mächtigere Holozänprofile aufnehmen kann. Außerdem bieten zahlreiche Aufschlüsse die Möglichkeit einer Ansprache der lateralen Abwandlung der Talsedimente. Zur Untersuchung der Fazies-Differenzierung verschiedener Sedimentationsphasen wurden 5 Teilbereiche des Einzugsgebietes (in unmittelbarer Umgebung der Lokalitäten Yavi Chico, La Palca, Yavi, Casti und Chalhualmayoc) ausgewählt, in denen Morphographie und sedimentäre Strukturen detailliert aufgenommen wurden (vgl. Abb. 2). Diese Profile sind z.T. nur einige Dekameter oder wenige hundert Meter voneinander entfernt; sie wurden durch morphographische Skizzen hinsichtlich ihrer Korrelationen ergänzt. Für einige Profile konnten Sedimentationsraten kalkuliert und als indirekte Indikatoren ehemaliger Abflussbedingungen gewertet werden. Die Korrelation zwischen den Profilen bzw. Sedimentfolgen wurde lithostratigraphisch und mit Hilfe absoluter und relativer Datierungen vorgenommen; dabei wurden für die notwendigen Interpolationen die kalkulierten Sedimentationsraten für die jeweiligen Zeitintervalle herangezogen. Auf der Basis der gewonnenen Informationen wurde versucht, die Paläo-Umwelt und Landschaftsentwicklung in jedem der 5 Teilbereiche zu rekonstruieren und für den gesamten Einzugsbereich des Río Yavi zu interpretieren.

Für besonders detaillierte sedimentologische Analysen wurden drei Profile ausgewählt, die in Bayreuth (Lehrstuhl Geomorphologie) und Bamberg (Lehrstuhl

Physische Geographie) untersucht wurden. Diese Untersuchung sollte der Überprüfung der Geländebefunde, der Kennzeichnung der Paläo-Umweltbedingungen sowie der Erleichterung der chronostratigraphischen Einordnung und Korrelation dienen. Die Profile enthalten jeweils mehrere  $^{14}\text{C}$ -Datierungen, so dass genaue Altersangaben vorliegen. Die Laboruntersuchungen erfassen jeweils eine Probe aus jeder Schicht <30cm Mächtigkeit; Schichten größerer Mächtigkeit wurden in etwa 20cm - Abständen beprobt. Die Proben wurden mit folgenden Verfahren untersucht:

- a - Korngrößenanalyse nach DIN 19683;
- b - Schwermineralanalyse der Fraktion 0,25-0,1 mm;
- c - Humusbestimmung nach W. Harre (1968) bzw. nach DIN 19684 (Teil 2, 1977) in  $\%C_{\text{org}}$ ;
- d - Morphoskopie von Quarzkörnern der Mittelsandfraktion.

Zur zeitlichen Einordnung der Sedimente konnten 28  $^{14}\text{C}$ -Datierungen durchgeführt werden ( $^{14}\text{C}$ -Laboratorium des Nieders. LA für Bodenforschung, Hannover, und Beta Analytic Inc. in Miami, USA). Weitere Datierungen standen von anderen Arbeiten der Projektgruppe zur Verfügung (J.A. Kulemeyer, 1998 und pers. Mitteilung; Lupo 1998; Reizner 1998; Zipprich 1998; Schäbitz 1998, 2000). Der stratigraphischen Einordnung und landschaftschronologischen Auswertung können somit in der vorliegenden Arbeit relativ viele Absolutdatierungen zugrunde gelegt werden, mehr als dies in vergleichbaren Untersuchungen im südlichen Südamerika bisher möglich war. Eine vollständige Liste der Datierungen befindet sich im Anhang Nr. 1. Die angegebenen Altersdaten stellen konventionelle  $^{14}\text{C}$ -Alter dar.

Zur Untersuchung der Bedeutung äolischer Prozesse wurden 14 nach dem Zufallsprinzip ausgewählte Sandproben oberflächlicher und oberflächennaher Substrate auf der Puna analysiert, im Vergleich dazu weitere Proben aus Ausbissen plio-pleistozäner Sedimente. Sie wurden mit den o.g. Verfahren (Morphoskopie, Korngrößen- und Schwermineralanalyse) untersucht, zur Charakterisierung aktueller äolischer Sedimente und zu deren Abgrenzung gegenüber äolischen vorzeitlichen Sedimenten in den holozänen Talfüllungen.

Die Untersuchung der Siedlungs- und Nutzungsgeschichte im Einzugsgebiet des Río Yavi bildet die Grundlage für die Diskussion der gegenseitigen Beeinflussung der Landschafts- und Kulturgeschichte. Zur Vervollständigung dieser Informationen und um sie mit den sedimentologischen Aufnahmen verknüpfen zu können, wurden die zahlreichen Kulturreste innerhalb der Talfüllungen im Rahmen einer Übersichtsaufnahme erfaßt.

### 3 DIE GRUNDZÜGE DER AKTUELLEN LANDSCHAFT

#### 3.1 Geologie

Der Untersuchungsraum liegt am südöstlichen Rand der Puna (in Bolivien „Altiplano“), einer ausgedehnten Hochfläche zwischen ca. 14° - 27° S in den Anden, die Höhenlagen von 3400 - 4000 m ü.M. aufweist. Diese Hochfläche wird im Inneren vor allem aber am Ostrand von submeridional streichenden Gebirgsketten überragt. Am Ostrand der Puna ist es die Cordillera Oriental, im engen Untersuchungsraum die Sierra de Santa Victoria. Die Puna bildet in Nordwestargentinien eine geologisch-tektonische Einheit, die als „Provincia geológica Puna“ bezeichnet wird.

Die geologisch-tektonische Situation des Untersuchungsraumes ist durch die Lage im Grenzbereich der geologischen Einheiten Puna und Cordillera Oriental gekennzeichnet, wie von Turner & Mon (1979), Amengual et al. (1979), Aceñolaza & Toselli (1981) und Bianucci et al. (1987) im Einzelnen dargelegt wird.

Die meso-känozoische andine Orogenese erreichte ihren Höhepunkt mit charakteristischer Einengungs-Tektonik im Bereich der Puna im oberen Miozän (Cladouhos et al. 1994) und hinterließ eine Struktur mit endorheischen, meist relativ flachen Becken, die in verschiedenen Sedimentationszyklen mit fluvialen, lakustrischen und evaporitischen Sedimenten angefüllt wurden.

Für das engere Untersuchungsraum wurde auf der Grundlage verschiedener Arbeiten (Turner 1964; Kulemeyer, J.J. 1988; Muruaga 1990) sowie auf der Basis von Luftbildern (Maßstab 1:75.000) eine geologische Karte im Maßstab 1:200.000 erarbeitet (Abb. 3). Alle im Einzugsgebiet des Río Yavi anstehenden Gesteine sind Sedimente die nur z.T. leicht metamorph überprägt sind. Die paläozoischen Gesteine des westlichen Teils der Sierra de Santa Victoria weisen vorwiegend West-vergente Falten großer Amplitude auf, die durch inverse submeridional streichende Verwerfungen begrenzt werden. Weiter im W, im Bereich der

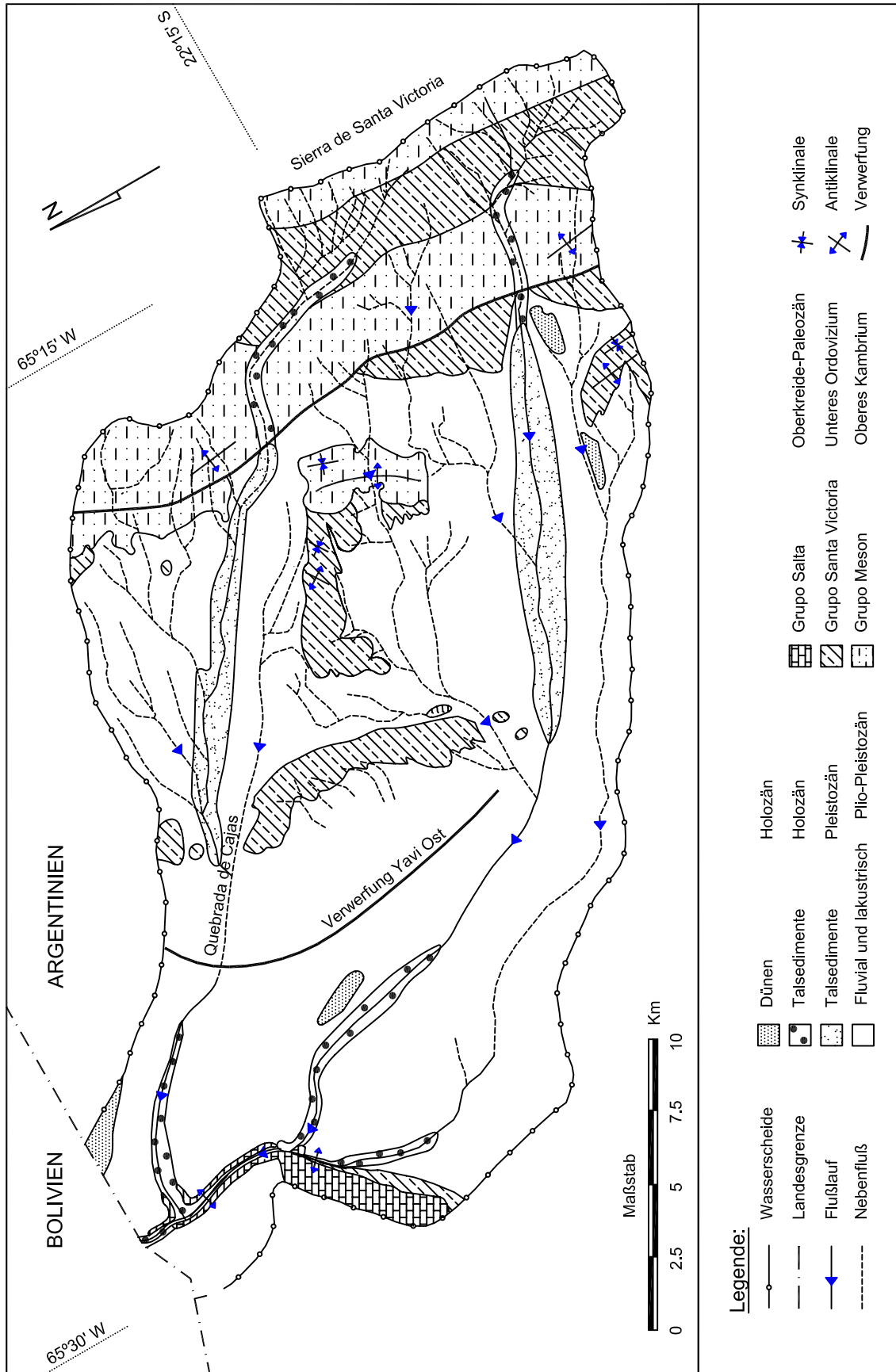


Abb. 3. Geologische Karte des Beckens von Rio Yavi



Hochfläche, sind die Gebirgszüge kleiner. Der Cordón de Siete Hermanos, in unmittelbarer Nähe dreier Arbeitsgebiete (vgl. Abb. 2) stellt eine asymmetrische rampenartige Antiklinale dar (Bianucci et al. 1987).

Für die Frage nach holozäner Tektonik ist die Verwerfung „Yavi Ost“ (Bianucci et al. 1987) von besonderer Bedeutung, da es sich nach der Frische der Form um die jüngste Verwerfung handelt. Sie wird von Cladouhos et al. (1994) ins Quartär gestellt. Die Phase der Zerrungstektonik mit submeridional streichenden normalen Verwerfungen, ist älter als die Bildung der gegenwärtigen Abflußsysteme, d.h. > 42.000 yr B.P. (vgl. Tab. 2). Das ist besonders am Schnittpunkt der Verwerfung „Yavi Ost“ und der Quebrada de Cajas deutlich; dort erkennt man daß weder Talboden noch Talhänge, von jüngeren tektonischen Bewegungen beeinflusst sind. Daraus ergibt sich das für die weitere Untersuchung wichtige Ergebnis, daß für die Landschafts- bzw. Reliefentwicklung im Holozän ein tektonischer Einfluß außer Acht gelassen werden kann.

Die Merkmale der im Untersuchungsraum ausstreichenden geologischen Einheiten werden im folgenden zusammengestellt (vgl. auch Tab. 1):

**Grupo Mesón** (Turner 1960): Oberkambrischen Alters. Wird durch die Formaciones Campanario und Chalhualmayoc vertreten. Die erste besteht aus rötlichen und dunkelvioletten Quarziten mit Einschaltungen geringmächtiger Tonschiefer, während die zweite sich aus weißen Quarziten ebenfalls mit Einschaltungen geringmächtiger Tonschiefer zusammensetzt. Die Gesteine streichen in der Sierra de Santa Victoria und im östlichen Teil der Sierra de Cajas aus.

ALTER	GRUPO	FORMACIÓN	LITHOLOGISCHE MERKMALE	BESONDERE FOSSILIEN
Jungquartär	keine formale Einheit		Fluviale, äolische, glaziale und periglaziale Ablagerung (klastische Sedimente)	Archäologische Reste
-----Diskordanz----- -				
Altpleistozän-Oberpliozän	keine formale Einheit		Lakustrische und fluviale Ablagerung (klastische Sedimente)	Glyptodonten
-----Diskordanz----- -				
Paläozän	Salta	Mealla	Sandsteine	
Kreide		Yacoraite	Kalksteine	Mollusken, Fische, Reptilien,
		Lecho	Sandsteine	Mollusken
		Los Blanquitos	Sandsteine	Tetrapoden
-----Diskordanz----- -				
Unterordovicium	Santa	Acoite	Tonschiefer	Trilobiten und Graptolithen
	Victoria	Santa Rosita	Tonschiefer	Trilobiten und Graptolithen
Oberes Kambrium	Mesón	Chalhualmayoc	Quarzite	
		Campanario	Quarzite	Skolithus

**Tabelle 1:** Stratigraphisches Schema für das Einzugsgebiet des Río Yavi

**Grupo Santa Victoria** (Turner 1960): Unterordovicischen Alters. Ist ebenfalls in zwei Formaciones gegliedert, Santa Rosita und Acoite. Beide bestehen hauptsächlich aus grauen, grünlichen und braunen Tonschiefern. Die Gesteine streichen in der Sierra de Santa Victoria, im westlichen Teil der Sierra de Cajas, in der Sierra de Quirquinchos und im Cordón de Siete Hermanos aus.

**Grupo Salta** (Turner 1959): Oberkretazischen bis paleozänen Alters. In der Umgebung von Yavi ist sie durch die Formación Los Blanquitos (braune bis rötliche Konglomerate und Sandsteine), die Formación Lecho (weißgraue quarzitische Sandsteine mit hohem Kalkanteil), die Formación Yacoraite (oolithische- und fossilführende Kalke mit feinen Sand- und Siltsteinen sowie mit

Stromatholiten-Horizonten) und durch die Formación Mealla (rötliche fein- bis mittelkörnige Sandsteine) vertreten.

**Plio-Pleistozän:** Mit Winkeldiskordanz folgen fluviolakustrische Sedimente bislang ohne eigene stratigraphische Bezeichnung. Die besten Aufschlüsse dieser Schichten liegen in der Umgebung von Yavi und Yavi Chico, wo sie mit Mächtigkeiten bis über 150m gut geschichtet subhorizontal ausbeißten. Der Fund von Glyptodonten-Resten (*Paraglyptodon* sp. und *Neothoracophorini*) in der Nachbarschaft von La Quiaca Vieja sowie die geomorphologischen Lagebeziehungen gestatten, die Folge in den Zeitraum Oberpliozän - Altpleistozän zu datieren (Kulemeyer, J.J. 1988).

**Jungquartär:** Die jungquartären Sedimente des Untersuchungsraumes bestehen hauptsächlich aus klastischen Sedimenten unterschiedlicher Genese. Holozäne Ablagerungen sind Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, und zwar die fluvialen Sedimente in den Tälern und die Flugsande auf der Puna. Detaillierte Untersuchungen ihrer Lagebeziehungen und der Möglichkeiten ihrer Datierung sind Ziel dieser Arbeit und werden in den folgenden Kapiteln erörtert.

Für die Interpretation der holozänen Sedimente, besonders der schwermineralanalytischen Ergebnisse ist die Zusammensetzung und räumliche Verteilung der Gesteine von entscheidender Bedeutung.

## 3.2 Relief

### 3.2.1 Reliefeinheiten

Der östliche Teil und der Rand der Puna in der Nachbarschaft der argentinisch-bolivianischen Grenze bei 22°S bilden aufgrund ihrer exorheischen Entwässerung und ihres relativ humiden Klimas im Rahmen des Altiplano eine spezielle Landschaftsausprägung. Diese Besonderheit geht auf die relativ geringe Höhe der Cordillera Oriental im südöstlichen Bolivien zurück. Die Depression der Gebirgshöhe erlaubt einerseits das Vordringen feuchter Luftmassen aus dem Osten bis auf den Altiplano; andererseits ermöglichte sie in diesem Teil der Puna die Umstellung der endorheischen Hochbecken in exorheische Entwässerungssysteme. Seit etwa 1,5 Millionen Jahren kappten die Flüsse der Ostabdachung und der subandinen Region durch rückschreitende Erosion die auf hochgelegene Binnenbecken gerichteten Entwässerungssysteme der Cordillera Oriental und des Altiplano (Kennan et al. 1995). Diese rückschreitende Erosion erreichte wahrscheinlich während des jüngeren Pleistozäns den nördlichen Teil der Puna von Jujuy und gab Anlaß zur Entwicklung des aktuellen Abfluß-Systems, das dem Río Pilcomayo - Paraná - Río de la Plata-System tributär ist. Die neuen Bedingungen bzw. Gefällsverhältnisse schufen die aktuelle Landschaft mit ihren markanten orographischen Kontrasten und der Vorherrschaft kräftiger erosiver Prozesse und entsprechender Taleintiefung.

Unter regionalem Aspekt lassen sich im Einzugsgebiet des Río Yavi 2 große orographische Einheiten bzw. Komplexe ausgliedern: Die Sierra de Santa Victoria mit Höhen zwischen 4000 und 5000 m ü.M. und das Puna-Plateau mit Höhenlagen zwischen 4000 und 3500 m ü.M.

Die Gipfelbereiche der Sierra de Santa Victoria weisen vorwiegend Formen auf, die durch selektive Abtragung unter Vorherrschaft glazialer und periglazialer Morphodynamik entstanden. Sowohl auf der Ostabdachung, wie auf der Westflanke der Sierra de Santa Victoria sind Kare und Moränen verbreitet, die verschiedene Vergletscherungsphasen dokumentieren.

Die Hochfläche der Puna wird durch Pedimente geprägt, im Einzugsgebiet des Río Yavi lokal unter dem Namen „Pampa de Yavi“ bekannt (Foto 1). Über diese Hochfläche ragen einige kleinere Gebirgszüge auf, wie die Sierra de Cajas, die Sierra de Quirquinchos und der Cordón de Siete Hermanos. Die Hochfläche ist meist leicht gewellt, steinig oder von geringmächtigen sandigen Deckschichten überzogen und hat insgesamt eine Abdachung von ESE nach WNW.

### **3.2.2 Pleistozäne Landschaftsentwicklung**

Kenntnisse der wichtigsten Landschaftseinheiten und der geomorphologischen Prozesse, die diese während des Pleistozäns prägten, bilden eine wesentliche Grundlage für das Verständnis der Ursachen und räumlichen Verteilung holozäner Prozesse, Formen und Sedimente. Die während der geologischen Vergangenheit, insbesondere während des Pleistozäns geschaffenen Rahmenbedingungen, wie z.B. das hydrographische System, bestimmen weitgehend die räumliche Verteilung und Dynamik der holozänen Landschaftseinheiten.

Die geomorphologische Karte (Abb. 4) zeigt die wesentlichen Landschaftseinheiten des Untersuchungsraumes. Angesichts des Maßstabs konnten dabei die verschiedenen Gletschervorstöße und periglazialen Erscheinungen nicht dargestellt werden. Detaillierte Glazialmorphologische Karten 1:50.000 der Sierra de Santa Victoria im Einzugsgebiet des Río Yavi findet man bei Zipprich, 1998 (Kartiergebiete Las Cajas und Chalhualmayoc).

In Tab. 2 werden die Phasen der pleistozänen Landschaftsentwicklung in den Hochlagen der Sierra de Santa Victoria (nach Reizner 1998, Zipprich 1998, Zipprich et al. 2000) und auf der Puna (nach eigenen Untersuchungen) zusammengefaßt. In den Hochlagen der Sierra de Santa Victoria können Glazial- und Periglazialformen, insbesondere Kare, Moränenstände und Blockgletscher erfaßt werden. Sie

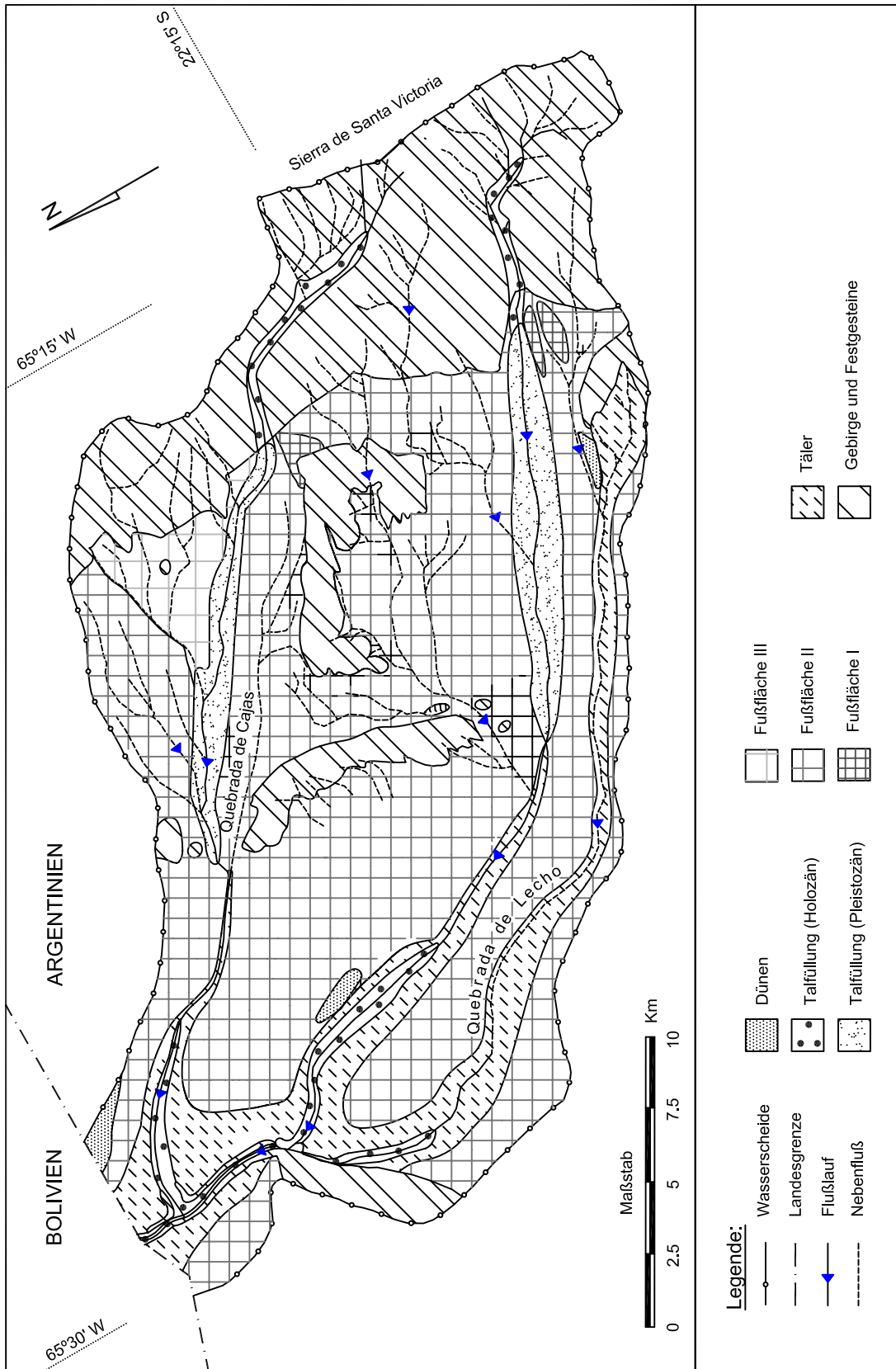


Abb. 4. Geomorphologische Karte des Beckens von Río Yavi

umfassen 5 Gletschervorstöße, deren ältester bis auf den Altiplano in Höhenlagen um 3800 m ü.M. vordrang. Demgegenüber reichten sämtliche jüngeren Gletschervorstöße nicht über die Glazialtäler des Gebirges ins Vorland auf die Puna hinaus.

Im Untersuchungsraum im Bereich der Puna wurden drei Fußflächen-Stockwerke gefunden. Das älteste (Fußfläche I) ist nur in spärlichen Resten in der Nähe der Quebradas Chalhualmayoc und Cajas in Höhenlagen von etwa 3900 m ü.M. verbreitet. Die Fußfläche II hat die größte räumliche Verbreitung, weist mittlere Neigungswerte von 1,9% auf, und liegt in Höhenlagen zwischen 3850 und 3500 m ü.M. Die Fußfläche III findet sich zwischen Suripugio und Inticancha in Höhenlagen zwischen 3800 und 3700 m ü.M. und hat mittlere Gefällswerte von 1,7%.

ALTER	MORPHOLOGISCHE AKTIVITÄT	
	SIERRA DE SANTA VICTORIA (Reizner, 1998; Zipprich, 1998; Zipprich et al., 2000)	PUNA
Ende des Pleistozän	Blockgletscher I	Reduzierte glazifluviale Sedimentation, Beginn der Akkumulation unter 3600 m ü.M. (?)
Um 16.000 yr B.P.	Vergletscherung IV;V + Bodenbildung	Bodenbildung, glazifluviale Sedimentation, See bei Barrios, Eintiefung unter 3600 m ü.M. (?)
LGTM	Periglazialformung	Fußfläche III (?)
Um 30.000 yr B.P.	Vergletscherung III + Bodenbildung	Glazifluviale Sedimentation, Bodenbildung, See bei Barrios (?)
30000 - 42000 yr B.P.		Talfüllung Quebrada de Farfán
>42.000 yr B.P.	Vergletscherung II	Talbildung, glazifluviale Sedimentation, See bei Barrios (?)
		Bruchtektonik
		Fußfläche II (?)
	Vergletscherung I	
		Fußfläche I (?)

**Tabelle 2:** Pleistozäne Reliefentwicklungsphasen in der Sierra de Santa Victoria und auf der Puna.

Zwischen der Sierra de Santa Victoria und der Sierra de Quirquinchos weisen die Quebradas de Cajas und de Casti Talfüllungen auf mit einer maximalen Breite von 1

km, die vorwiegend aus Schottern bestehen. Diese Täler haben zahlreiche funktionslos gewordene Abflußbahnen und wurzeln in den ehemals vergletscherten Hochlagen der Sierra de Santa Victoria. Die Moränen der Gebirgsvergletscherung sind mit den im zentralen bis südlichen Bereich des Untersuchungsraumes glazifluvial akkumulierten Sedimenten, korrelat. Dasselbe gilt für Sedimente eines vorzeitlichen Sees in der Umgebung der Lokalität Barrios, etwa 5km südlich der Grenze des Untersuchungsraumes.

Unterhalb 3700 m ü.M. weisen die Täler in der Puna zunehmende Eintiefung auf, die, auf das Niveau der Fußfläche II bezogen, von etwa 10m in der Umgebung der Sierra de Quirquinchos auf über 200m in der Umgebung von La Palca anwächst. Notwendigerweise wächst mit dieser Eintiefung auch die Zerschneidungsintensität der Talflanken. Die in den Tälern ein- oder mehrphasig akkumulierten Sedimente wurden mit Ausnahme geringer Vorkommen fast völlig am Ende des Pleistozäns wieder erodiert. In der Quebrada de Farfán, einem Seitental der Quebrada de Cajas nahe Yavi Chico, konnten Reste einer jungpleistozänen Sedimentationsphase gefunden und datiert werden. Das folgende Schema (Abb. 5) zeigt den Aufbau der Akkumulationskörper in der Quebrada de Farfán; von S nach N ist folgende Abfolge zu erkennen:

1. Die plio-pleistozänen Sedimente, vorwiegend Kiese und Sande.
2. Eine Erosionsdiskordanz, die wahrscheinlich die Phase der Talbildung und Taleintiefung repräsentiert.
3. Fluviale Sedimente des Jungpleistozäns, in denen das folgende Profil aufgenommen wurde (Foto 2):
  - 0-50cm: Gekappter Boden (Kalkkruste in Abb. 5). Es handelt sich um einen weiß-grauen Cc-Horizont. Er wird hier mit jener Parabraunerde korreliert, die weithin an der Puna-Oberfläche ausgebildet ist und die auf die zweite und dritte Phase der Bodenentwicklung nach Zipprich (1998) zurückgehen dürfte.
  - 50-500cm: Fluvialer Mittelsand mit Einschaltung von Kieslinsen. Insgesamt zunehmende Korngrößen.
  - 500-520cm: Grauer Tuff, stark verwittert (in Abb. 5 nicht dargestellt).



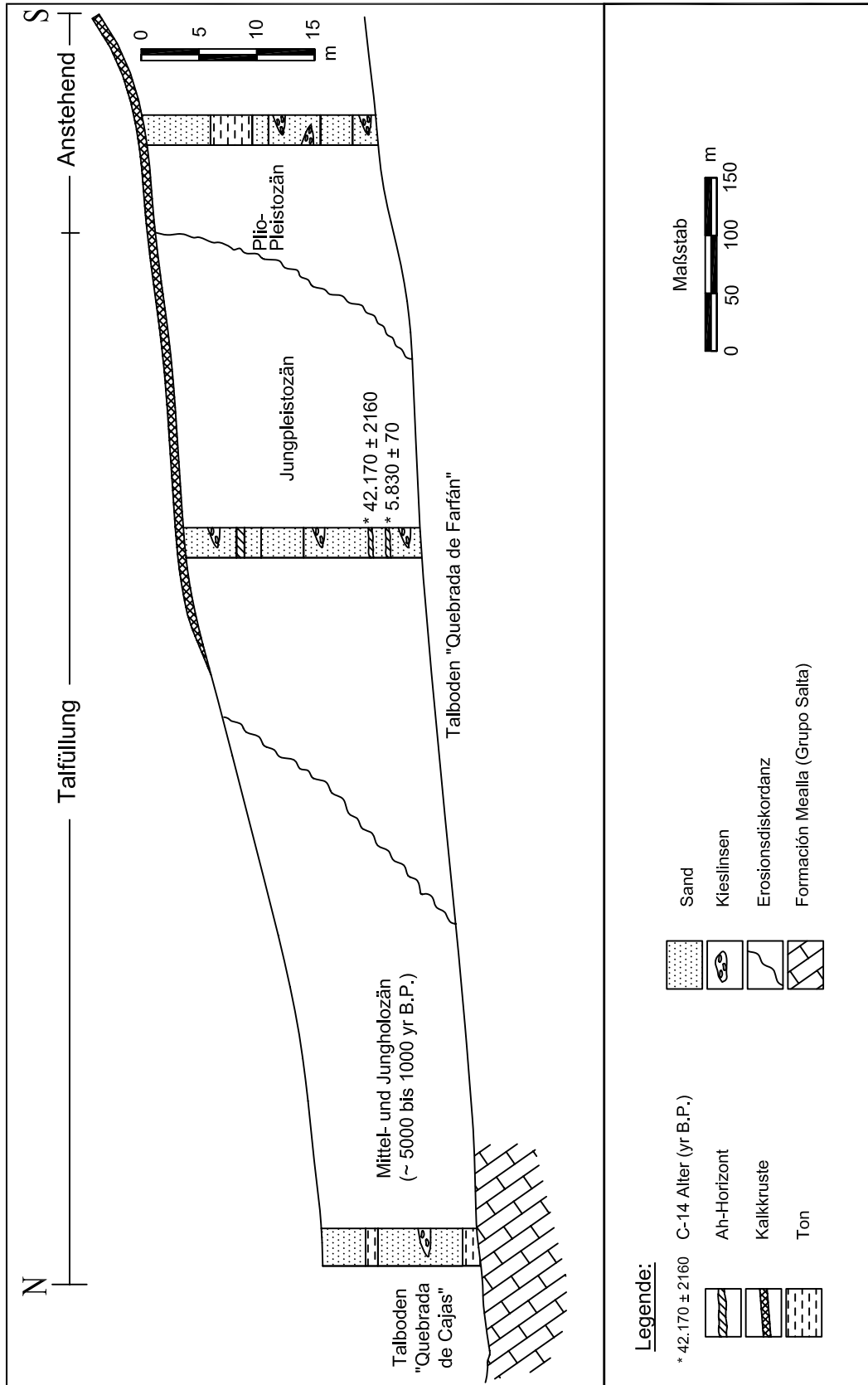


Abb. 5. Schematisches Längsprofil "Quebrada de Farfán"

520-1000cm: Fluvialer Mittelsand mit Kieslinsen.

1000-1580cm: Fluvialer Kies mit Grobsandlinsen.

1580-1740cm: Fluvialer Mittelsand mit fossilen Ah-Horizonten in 1635 und 1730cm Tiefe, deren höher gelegener ein  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $42,170 \pm 2160$  yr B.P. (Beta 104247) aufweist, während der tiefer gelegene ein  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $5980 \pm 70$  yr B.P. (Beta 104248) liefert. Beide Datierungen sind offenkundig invers bzw. widersprechen sich. Angesichts des Auftretens der beiden datierten Ah-Horizonte im geschichteten Sediment unterhalb eines oberflächennahen Cc-Horizontes (zwischen 0 und 50cm) und unter Berücksichtigung des Befundes, daß im weiteren Umkreis datierte Caliche-Horizonte generell Alter über 12,000 yr B.P. aufweisen, wird das ältere der beiden  $^{14}\text{C}$ -Daten, d.h. rund 42,000 yr B.P. als zutreffend gewertet.

17,4-21 m: Wechsellagerung von Kiesen und fluvialen Sanden.

4. Von der beschriebenen jungpleistozänen Sedimentfolge ist eine jüngere Talfüllung durch eine Erosionsdiskordanz getrennt. Die Untersuchung solcher junger, holozäner Talfüllungen ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Die mittlere, jungpleistozäne fluviale Sedimentfolge wurde seit mindestens 42.000 yr B.P. mit Unterbrechung durch Phasen der Stabilität und Bodenbildung, akkumuliert und endete mit der Bildung eines Bodens. Diesen Boden, entwickelt unter feuchteren Bedingungen, kann man mit einer der zwei für die Nordpuna bekannten jungpleistozänen Bodenbildungsphasen korrelieren. Die ältere davon wurde auf  $27.970 \pm 190$  yr B.P. bei Humahuaca datiert (Zipprich et al., 2000). Unter diesen humideren Verhältnissen bildete sich auf der Puna eine 20m über dem aktuellen Stand der Laguna de los Pozuelos liegende Terrasse, die einen dementsprechenden Wasserhochstand anzeigt. Sie wurde mit der  $^{14}\text{C}$ -Methode auf 27.000 yr B.P. datiert (Igarzábal 1993). Für die jüngere Bodenbildungsphase ergaben sich ein  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $15.840 \pm 90$  yr B.P. bei Humahuaca (Zipprich et al., 2000) und von  $12.400 \pm 100$  yr B.P. im Bolsón de la Laguna de Los Pozuelos (Camacho 2000). Diese Bodenbildungsphase fällt also ins Spätglazial.

### 3.3 Vegetation

Das Einzugsgebiet des Río Yavi gehört pflanzengeographisch zur Andino-Patagonischen Region und umfaßt die phytogeographischen Provinzen Puna und Altoandina (Cabrera, 1976). Ruthsatz (1974, 1977) sowie Ruthsatz & Movia (1975) kartierten die Vegetation des Nordostens der Provinz Jujuy auf der Grundlage ihrer physiognomischen Charakteristika, ihrer floristischen Zusammensetzung sowie nach den Böden und den charakteristischen klimatischen Bedingungen.

#### 3.3.1 Phytogeographische Provinz Altoandina

Die Provinz Altoandina erstreckt sich oberhalb 4000 m ü.M. bis zu den Gipfeln der Sierra de Santa Victoria. Zwei Haupteinheiten, die hochandinen Grassteppen (pastizales altoandinos) und die hochandinen Feuchtwiesen (vegas altoandinas) werden unterschieden:

Die altoandinen Grassteppen haben einen Deckungsgrad zwischen 20 und 40% und sind aus Horsten verschiedener niedrigwüchsiger Gräser mit harten und stacheligen Blättern wie *Festuca* spp., *Stipa* spp. und *Poa* spp. zusammengesetzt. Unter den kräutigen Arten sind *Azorella compacta*, *Senecio adenophyllus*, *Pycnophyllum molle* und *Calceolaria glacialis* charakteristisch. An ihrer Untergrenze, in der sich Sträucher wie *Baccharis boliviensis* und *Fabiana densa* hinzumischen, zeigen die altoandinen Grassteppen Übergänge zur Zwergstrauchsteppe der Puna.

Die altoandinen Feuchtwiesen liegen in den hochgelegenen Quellfluren, sowohl in hängiger als auch in ebener Lage. Sie setzen sich aus Rhizompflanzen zusammen, die einen niedrigwüchsigen dichten und harten Rasen bilden. Charakteristische Arten sind *Plantago tubulosa*, *Werneria pygmaea*, *Juncus* spp., *Carex* spp. und *Scirpus* spp..

### 3.3.2 Phytogeographische Provinz Puna

Strauchsteppen bilden im Einzugsgebiet des Río Yavi unterhalb von 4000-4100 m ü.M. die vorherrschende Vegetationseinheit, in der die Zwergsträucher *Baccharis boliviensis* und *Fabiana densa* dominieren. Geringere Verbreitung weisen Gebüschformationen (matorrales), Grassteppen (pastizales puneños), Feuchtwiesen (vegas puneñas) und die Vegetation der Felsstandorte auf.

Die Strauchsteppen der Puna, *Baccharis boliviensis*- und *Baccharis boliviensis*-*Fabiana densa*- Steppen nach Ruthsatz (1977), sind sowohl auf der Hochebene als auch im hügeligen Gelände entwickelt und nur durch Bachläufe unterbrochen. Die Deckung erreicht Werte zwischen 15 und 20% und weist in der Krautschicht eine hohe Artenvielfalt auf. Die Böden sind typischerweise skelettreich oder sandig.

Die an die lokal erhöhte Feuchte gebundene flußbegleitende Vegetation zwischen 3500 und 4000 m ü.M. besteht aus *Parastrephia lepidophylla*-Gebüsch (matorrales), die im Volksmund als „Tolares“ bezeichnet werden und Deckungsgrade bis 60% erreichen.

Verschiedene Pflanzengesellschaften, deren Verteilung von den Substrateigenschaften und den örtlichen Feuchtebedingungen abhängt, bilden die Vegetation der Tallagen unterhalb 3500 m ü.M.. Auf periodisch überfluteten Standorten der holozänen Terrassen nahe der Flußläufe sind Grassteppen (pastizales puneños) entwickelt, in denen *Pennisetum chilense* dominiert; daneben sind auch Sträucher wie z.B. *Adesmia horridiuscula* und *Tetraglochin cristatum* und Kräuter wie z.B. *Astragalus garbancillo*, *Heterosperma nana* etc. charakteristisch. Die Feuchtwiesen der Puna (vegas puneñas) sind in der Quebrada de Lecho ausgebildet. Die charakteristische Vegetation ist ein niedrigwüchsiger harter Rasen, der sich unter anderem aus *Werneria pygmaea*, *Plantago tubulosa* und *Festuca* spp. zusammensetzt. Gebüschformationen (matorrales) sehr verschiedener floristischer Zusammensetzung sind für die Standorte auf Fels typisch, der z.B. auf beiden Talseiten des Río Yavi im Bereich des Cordón de Siete Hermanos und seiner

Verlängerung nach Norden ansteht; charakteristisch sind unter anderem die Kakteen *Oreocereus neocelsianus*, *Trichocereus poco*, Sträucher wie *Adesmia cytisoides*, *Fabiana densa*, *Proustia cuneifolia* und Kräuter wie *Tagetes andina* und *Oxalis* spp..

### 3.3.3 Anthropogener Einfluß

Die Vegetation spielt eine wichtige Rolle in der Entwicklung und Erhaltung von Böden: je dichter sie ist, desto größer ist die Infiltration und desto geringer der Oberflächenabfluss und damit die Bodenerosion. Die obengenannte Pflanzenbedeckung der Strauchsteppen der Puna (15-20%), bedeutet für die Böden der Punahochfläche unter den heutigen Klimabedingungen ein großes Abtragungs- und Deflationsrisiko. In diesem Kontext sind Kenntnisse über das Ausmaß der Veränderung, der die Pflanzendecke unter dem Einfluß des Menschen unterworfen war, für das Studium der Landschaftsentwicklung im Laufe des Holozäns von großer Bedeutung.

Die Weidewirtschaft ist im gesamten Gebiet sehr intensiv, sie stellt einen bedeutenden Umweltfaktor für die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften dar. Die weite Hochebene der Puna wird praktisch ausschließlich als Weidefläche für Schafe, Cameliden und Ziegen genutzt. Darüber hinaus werden Esel, Rinder, Maultiere und Pferde gehalten. Die besten Weideflächen der Feuchtwiesen (vegas) und Moore (ciénagas) entlang der Flußläufe sind den Rindern vorbehalten, die Lamas weiden in Herden auf den Grassteppen (pastizales) und Mooren (ciénagas) der Puna und des Gebirges und die Schaf- und Ziegenherden schließlich auf den weniger produktiven Flächen mit überwiegend strauchiger Vegetation.

Ackerbau ist nur in den Tälern möglich und wird vorwiegend unterhalb 3600 m ü.M. wie z.B. in unmittelbarer Umgebung der Ortschaften Yavi Chico, La Palca, Yavi und Casti ausgeübt; vereinzelt werden aber auch am Fuß der Sierra de Santa Victoria bis auf Höhen nahe 3900 m ü.M. Felder bewirtschaftet, z.B. in Chalhualmayoc und Rincón de Cajas. Der Ackerbau wird meist unter Bewässerung und auf kleinen Parzellen hauptsächlich im Frühjahr und Sommer betrieben. Die

wichtigsten Anbaufrüchte sind Kartoffeln (*Solanum tuberosum*), Mais (*Zea mays*), Gerste (*Hordeum vulgare*), Luzerne (*Medicago sativa*), Zwiebel (*Allium cepa*) und Saubohne (*Faba vulgaris*). Hinzu kommt Obstanbau, Birne (*Pyrus communis*) und Pfirsiche (*Prunus persica*).

Lupo & Echenique (1995) beschreiben die Verwendung der natürlichen Ressourcen durch die Einheimischen als Arznei, Brennstoff, Nahrungsmittel und für Getränke, als Baumaterial und im Handwerk. Von allen obengenannten Nutzungen der Pflanzen übt die Ausbeutung der Zwergsträucherarten als Brennstoff (z.B. *Chuquiragua acantophylla*, *Baccharis boliviensis*, *Prosopis ferox*, *Baccharis grisebachii* und *Fabiana densa*) den größten Einfluß auf die Zusammensetzung der Vegetation aus.

Untersuchungen auf der Puna von Jujuy (Ruthsatz 1983) und auf dem Altiplano in Bolivien (Ruthsatz & Fisel 1984) zeigen, daß sich in Gebieten, die aus der Weidenutzung genommen wurden, die kräutigen Arten auf Kosten der Sträucher ausbreiten. Daraus kann man schließen, daß unter Weidedruck strauchige gegenüber krautigen Arten begünstigt sind und daß erst dadurch die aktuelle strauchige Steppenvegetation entstand. Mit dieser Vegetationsdegradation ist eine deutliche Verringerung des Bedeckungsgrades der Böden auf der Hochfläche verbunden und damit eine erhöhte Erosionsanfälligkeit.

Ruthsatz (1983) nimmt an, daß der aktuelle Zustand der Pflanzendecke in den argentinisch-bolivianischen Anden das Ergebnis jahrtausendelanger Nutzung ist, daß aber die Vegetationsdegradation vor allem seit der Eroberung durch die Spanier verstärkt wurde: „Die europäischen Haustiere Schaf, Ziege, Rind u.a. vervielfachten den Weidedruck im gesamten Hochland, die Einführung des rindergezogenen Hakenpflugs dürfte die Erosionsanfälligkeit der Ackerflächen verstärkt haben und die Intensivierung des Bergbaus konzentrierte den Verbrauch riesiger Mengen an Brennmaterial (Lamamist, Holzkohle) und menschlicher Arbeitskraft“. „Während der Ackerbau alle einigermaßen tiefgründigen nicht zu stark frost-, überflutungs- und versalzungsgefährdeten Flächen bis in das semiaride Gebiet hinein tiefgreifend und anhaltend verändert hat, hat die Weidewirtschaft besonders die azonalen

Feuchtstandorte überprägt, weil die Hochgebirgs-„bofedales“ (Hartpolstermoore) genauso wie die bachbegleitenden und die Ebenen deckenden „ciénagas“ mit ihrer Glyco- und Halophytenvegetation die ergiebigsten Weidegründe darstellen. Insgesamt muß man vermuten, daß der hohe Anteil an starrblättrigen Horstgräsern, dem Boden anliegenden Zwerggräsern und Rosettenpflanzen, an Kakteen und harten Polsterpflanzen sowie an vom Vieh gemiedenen Sträuchern die Folge der jahrhundertelangen Überweidung ist (Ruthsatz, 1983, S. 570f.)“.

Lupo (1998) vergleicht das aktuelle Pollenspektrum mit den Pollen holozäner Schichtfolgen zwischen 8000 und 2000 yr B.P. im Einzugsgebiet des Río Yavi: Die fossilen Proben weisen im Vergleich zu den aktuellen - infolge des heutigen Weidedrucks - einen erhöhten Gehalt an Poaceen auf. Wenn man berücksichtigt, daß parallel dazu der Anteil von Zwergsträuchern der Steppe zunimmt (Baccharis, Fabiana, etc.), ist eine merkliche Verringerung des Deckungsgrades die direkte Folge der Landschaftsveränderung durch Überweidung.

Im benachbarten Tarija am Ostabfall der bolivianischen Anden spiegelt sich laut Gerold (1981; 1983) der anthropogene Einfluß auf die Vegetation, der gegen Ende des 16. Jahrhunderts begann oder zumindest deutlich intensiviert wurde, in einer Artenarmut und einer Verringerung des Bodenbedeckungsgrades besonders der krautigen Arten sowie in einer Zunahme der Kakteen wider. Diese Degradation der natürlichen Vegetation löste Bodenerosion aus, die ihrerseits bis zur Badland-Bildung geführt hat.

### **3.4 Klima**

Die untersuchte Region liegt nahe dem südlichen Wendekreis und befindet sich klimatisch im Einzugsbereich der subtropischen Antizyklone und des subtropisch-randtropischen Monsunsystems. Niederschläge fallen überwiegend im Sommer und sind an die Süd-Verlagerung der ITCZ (innertropische Konvergenzzone)

gebunden. Das sommerliche Niederschlagsmaximum ist um so ausgeprägter, je mehr die Aridität zunimmt.

Nach Weischet (1996) ist das Klima der gesamten Puna arid, wobei die Trockenheit von Norden nach Süden und von Osten nach Westen zunimmt. Die Ostkordilliere wirkt als Klimascheide; an ihrer Ostseite regnen sich -insbesondere zwischen 300 und 2000 m ü.M.- die feuchten aus dem Amazonasraum kommenden Luftmassen im Sommer ab. Die Puna im Lee der Ostkordilliere erhält dementsprechend nach W immer weniger Niederschlag (Ruthsatz, 1983).

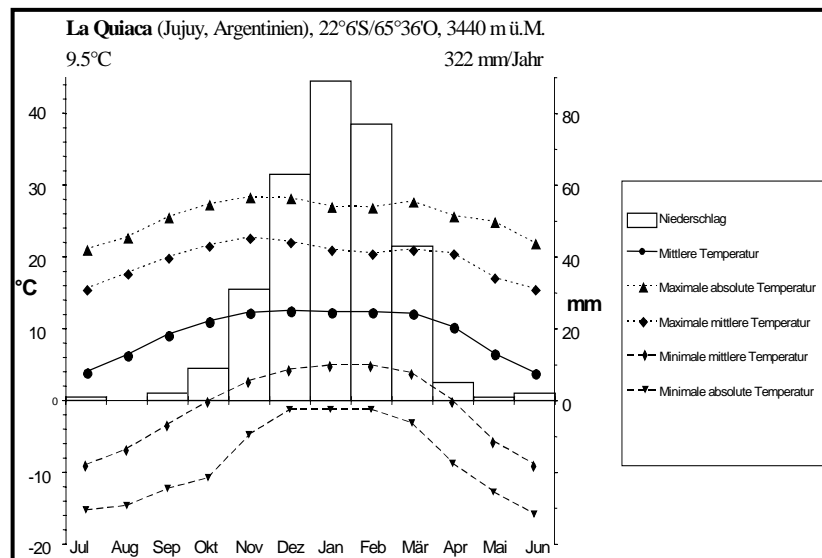
Die wichtigste meteorologische Station in der Umgebung des Untersuchungsraumes befindet sich in La Quiaca auf 3440 m ü.M.; die Messungen umfassen einen Zeitraum von mehr als 90 Jahren. Anhand dieser Station werden die Klimabedingungen der tiefergelegenen Gebiete der Puna im Folgenden zusammenfassend beschrieben. Das Klima von La Quiaca kann in der Einteilung Köppens als BSk-Klima, „kalte Trockensteppe“ oder nach Troll & Paffen (1964) als „tropisches Trockenklima“ (V4) klassifiziert werden.

Abbildung 6 zeigt ein Klimadiagramm von La Quiaca (Schäbitz 2000). Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,5°C; die tiefsten Monatsmitteltemperaturen, nahe 4°C, werden im Juni und Juli gemessen, während die maximalen Monatsmitteltemperaturen mit Werten zwischen 12,2 und 12,6°C in den Monaten November bis März erreicht werden. Die Station La Quiaca weist eine starke Tagestemperaturschwankung auf, die zwischen 17°C im Sommer und 23°C im Winter beträgt. Die absoluten Extremtemperaturen betragen -18°C beziehungsweise 30,7°C.

Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 322 mm von denen bis zu 90% in den Sommermonaten (November bis März) fallen. Die Niederschläge fallen vor allem als sommerliche Gewitter, zum Teil als Hagel und sind von kurzer Dauer (normalerweise nicht länger als 2 Stunden) aber von großer Intensität, d.h. es handelt sich überwiegend um Starkniederschläge. Auf Grund der allgemein geringen



Vegetationsdichte führen die Starkniederschläge zu einem großen Oberflächenabfluß mit Bodenerosion an Hängen und auf Flächen aber auch zu Tiefenerosion in den Tälern. Diese geomorphologische Aktivität tritt besonders in trockenen Jahren auf, in denen das Pflanzenwachstum gering ist und in denen sich deshalb die zusätzliche Überweidung hinsichtlich der Vegetationsschäden besonders negativ auswirkt.



**Abbildung 6:** Klimadiagramm von La Quiaca (Schäbitz 2000)

Müller (1980) errechnete die potentielle Evapotranspiration zu 591 mm/a; dieser Wert ist deutlich höher als die jährlichen Niederschläge; nur in den Monaten Januar und Februar (im Hochsommer) übersteigen die Niederschläge die berechneten Werte für die potentielle Evaporation.

Die Hochgebirge sind im allgemeinen durch eine im Vergleich zum Vorland (hier: Puna) geringere Jahres- und Tagestemperaturamplitude charakterisiert. In der Sierra de Santa Victoria gibt es jedoch keine Klimastation. Zipprich (1998 sowie Zipprich et al. 2000) erschließt aus der Untergrenze aktiver Blockgletscher in 4650 m ü.M. eine Jahresmitteltemperatur von -2°C in dieser Höhe. Unter Berücksichtigung der Klimadaten der Station La Quiaca, ergibt sich daraus für die Westseite der Sierra de Santa Victoria ein thermischer Höhengradient von ca. 0,9°C bis 1°C/100m. Dieser Wert kann aber nur als Anhaltspunkt dienen, da er auf der Information zweier

qualitativ verschiedener Quellen, der meteorologischen Statistik und der Untergrenze der Höhenstufe diskontinuierlichen Permafrostes, basiert.

Im Tageszeitenrhythmus wechseln durch die intensive Solarstrahlung verursachte Tal- und Bergwinde einander ab; tagsüber sind über der Hochebene der Puna häufig Staubwirbel („remolinos“) zu beobachten. Im Jahreszeitenrhythmus wechselt die Hauptwindrichtung: Im Winter (Mai bis Dezember) dominieren typischerweise trockene Winde aus West, während im Sommer (zwischen Oktober und April) feuchte Winde aus nordöstlicher Richtung vorherrschen.

Die relativ geringe Höhe der Ostkordilliere der Anden im Süden Boliviens erlaubt ein besseres Vordringen der feuchten sommerlichen Luftmassen aus Nordosten, wodurch die Niederschläge im Vergleich mit den nördlich und südlich anschließenden Gebieten des Altiplano erhöht sind. Der Norden der Puna von Jujuy erhält auf diese Weise relativ viel Niederschlag. In Abb. 7 sind die Niederschlagsdaten von 15 Stationen der Puna nach Bianchi & Yañez (1992) auf einer einfachen topographischen Grundlage (Äquidistanz 1000 m) dargestellt. Aus der räumlichen Verteilung der mittleren Jahresniederschläge wird folgendes geschlossen:

1. Die Niederschläge fallen bevorzugt an den ost- und nordost-exponierten Hängen. Dies ist bei den Stationen, die sich westlich der Linie Sierra de Cochino-Cordón de Escaya-Tafna befinden, der Fall, die im allgemeinen mehr als 400 mm/a Niederschlag erhalten.
2. Ein Streifen erhöhter Trockenheit, der durch die Ortschaften Yavi, La Quiaca, Barrios, Pumahuasi und Puesto del Marqués gebildet wird, verläuft parallel zu den Gebirgszügen. Er ist im Regenschatten der Sierra de Santa Victoria ausgebildet, und tritt in den tiefergelegenen Ortschaften des Plateaus (3400 bis 3600 m ü.M.) besonders deutlich hervor.
3. Von den Tallagen der Puna bis in eine Höhe von mindestens 4000 m ü.M. wird eine Tendenz zur Zunahme der Niederschläge mit der Höhe beobachtet.

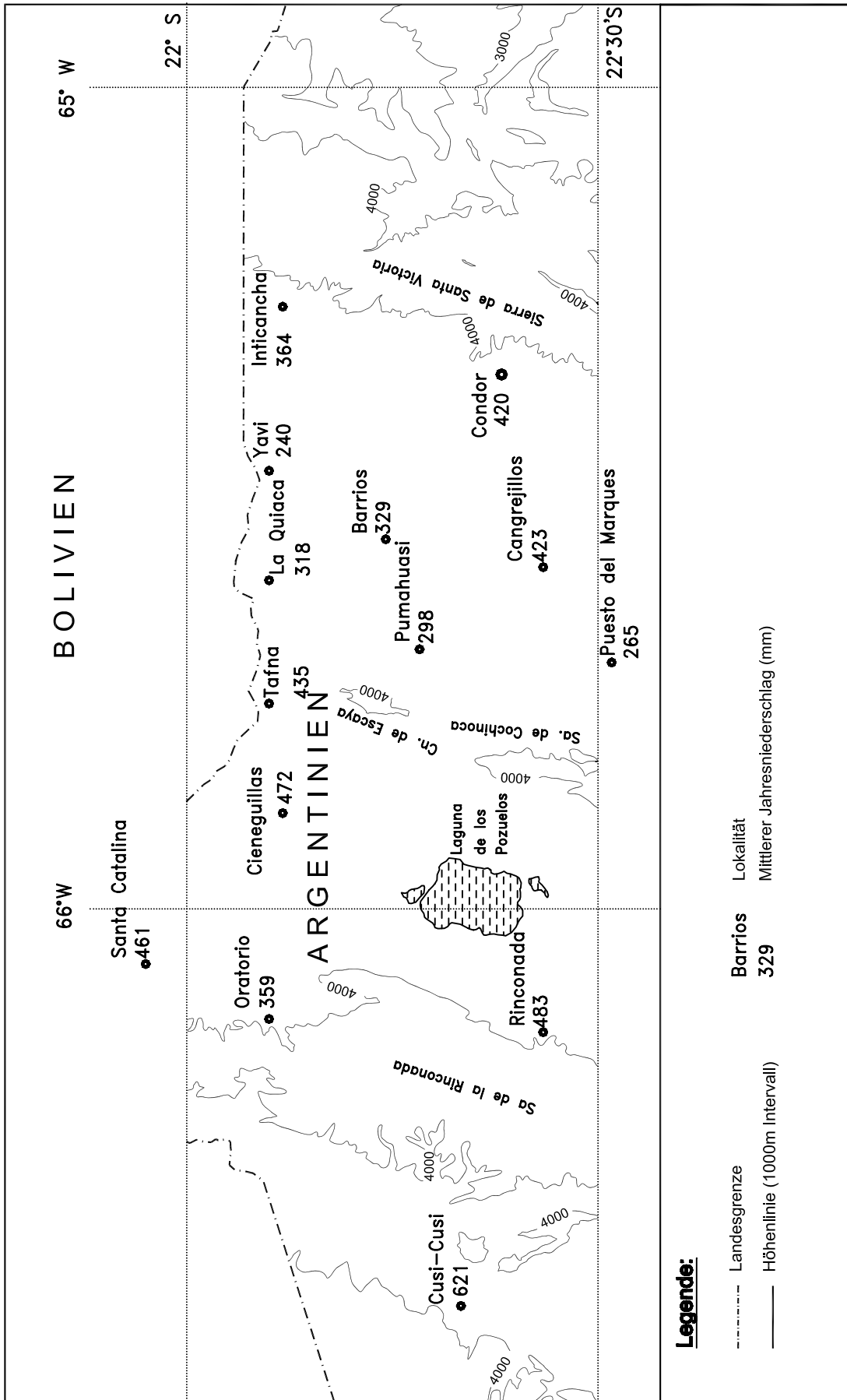


Abb. 7. Mittlerer Jahresniederschlag in ausgewählten Lokalitäten der Nordpuna

## **4 ZUM FORSCHUNGSSTAND DER HOLOZÄNEN LANDSCHAFTSENTWICKLUNG UND ZUR SIEDLUNGSGESCHICHTE IN NORDWEST-ARGENTINIEN UND ANGRENZENDEN GEBIETEN**

Die Rekonstruktion der holozänen Landschaftsgeschichte im Einzugsgebiet des Río Yavi stützt sich vor allem auf die Untersuchung der Sedimente der Täler der Puna und der daran gebundenen Formen. Im Hinblick auf die Diskussion des möglichen Einflusses der verschiedenen Kulturen auf die Umweltgeschichte wurden archäologische und historische Belege und Untersuchungen besonders berücksichtigt. Wegen ihrer Relevanz für die Diskussion der Landschaftsgenese, sind im folgenden die Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammengefaßt:

### **4.1 Landschaftsentwicklung**

Die in der Sierra de Santa Victoria durchgeführten bisherigen Untersuchungen (Reizner, 1998; Zipprich, 1998; Zipprich et al. 2000; Schäbitz, 2000) ermöglichen - basierend auf der Kartierung und Untersuchung der Oberflächenformen (vor allem solcher glazialer und periglazialer Genese) und auf Pollenanalysen von Bohrkernen eine Chronologie der Klimaschwankungen im Holozän.

Im Frühholozän kommt es zu einem Gletschervorstoß, parallel dazu werden in den hochgelegenen Tälern Schotter abgelagert. Für diese Phase werden niedrigere Temperaturen und deutlich feuchtere Bedingungen als heute angenommen. Im Mittelholozän unter einem trockeneren und/oder wärmeren Klima kommt es in den Tälern zu einer zunehmenden Austrocknung der Moore. Im Spätholozän, dominieren etwas feuchtere Bedingungen als heute und wahrscheinlich Temperaturen ähnlich den aktuellen. Zu dieser Zeit gehören u.a. eine Phase mit Bodenbildung und ein neuerlicher Gletschervorstoß, die Bildung von Blockgletschern und Quellmooren; in den Tälern erfolgte Einschneidung, die als Folge des verstärkten anthropogenen Einflusses interpretiert wird.

Auf der Grundlage pollenanalytischer Untersuchungen holozäner Schichtenfolgen in der Umgebung der Ortschaft Yavi und deren Vergleich mit dem aktuellen Pollenniederschlag und den aktuellen Vegetationsformationen rekonstruiert Lupo (1998) die holozäne Landschaftsgeschichte unter dem Einfluß von Klima und Mensch. Die untersuchten Profile sind in dieser Arbeit beschrieben; es handelt sich um die Profile Palca 9 und Yavi 3. Folgende Phasen der Landschafts- und Klimaentwicklung werden unterschieden:

Für das Mittelholozän wird aufgrund der Anwesenheit von Pollen der Familien Chenopodiaceae - Amaranthaceae sowie Asteraceae subfam. Tubuliflorae und aufgrund des Fehlens jeglicher Elemente des höheren Bergwaldes auf ein arides bis semiarides Klima geschlossen. Eingeschaltet sind Maxima von Cyperaceae- und Juncaceae-Pollen, die Phasen erhöhter lokaler Feuchte anzeigen. Das Spätholozän wird aufgrund der Anwesenheit von Waldelementen wie Podocarpus und Farnsporen im Vergleich zur vorhergehenden Phase als feuchter interpretiert.

Im Nordwesten Argentiniens und in benachbarten Regionen sind Talsedimente mit z.T. beachtlicher Mächtigkeit weit verbreitet. Besonders zu erwähnen sind die palynologischen Arbeiten in El Aguilar (Provinz Jujuy; Markgraf 1985) und im Valle de Tafí (Provinz Tucumán; Lupo 1990) sowie die Untersuchungen zur Rekonstruktion der sedimentologischen und paläoökologischen Bedingungen in der Umgebung der Ortschaft Tres Cruces (Fernández, 1984, Fernández et al. 1991). Ähnliche Talfüllungen wurden auch im Norte Chico (Chile) gefunden, wo die Ablagerung feinen Materials mit Phasen der Schwemmfächeraktivität korreliert wird (Veit 1993, 1994, 1995, u.a.) und auf dem Altiplano in Bolivien (Servant & Servant-Vildary, 2001, 2003).

Es bestehen Versuche, die Talsedimente mit Formations-Namen zu benennen. Aufgrund der ungenauen zeitlichen Einordnung der Ablagerungen und der Komplexität und Variabilität der Fazies dieses Sedimentationsmilieus erfuhren diese Benennungen jedoch im allgemeinen keine größere Akzeptanz in der wissenschaftlichen Diskussion. Als Beispiel werden die Formationen El Mudadero an der Westabdachung der Sierra de Narváez im Südwesten der Provinz Tucumán, die Formación Esquinas Blancas in der Provinz Jujuy (Fernández 1973) und die

Formación El Chañar, in der Nähe von Tastil, Salta (Fernández & Farías 1985) genannt.

Der Beginn der Sedimentation von Feinsedimenten in Nordwest-Argentinien wird, in Übereinstimmung mit den Belegen aus Barro Negro, Jujuy, ins ausgehende Pleistozän gestellt. Dort ergaben 10  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an Talsedimenten, die Reste einer ausgestorbenen Pferdeart enthalten (*Hippidium* sp.), Alter zwischen  $13400 \pm 400$  und  $9120 \pm 130$  yr B.P. (Fernández et al. 1991). Den aktuellen Kenntnisstand bezüglich des Alters der Talfüllungen zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, daß ihre Ablagerung gegen Ende der spätglazialen Feuchtphase begann.

Die allgemeine Charakterisierung der paläoklimatischen Rahmenbedingungen, unter denen sich diese Ablagerungen gebildet haben ist z. T. ein wesentlicher Bestandteil der Diskussion über die Klimabedingungen im Mittelholozän in der Westabdachung der Zentralanden. Grosjean (2001) ist der Meinung, daß die Ablagerung von Feinsedimenten in hochliegenden Tälern nur unter trockenen Bedingungen mit reduziertem Abfluß und ruhigem Sedimentationsmilieu möglich ist. Quade et al. (2001) sind der Meinung, daß regional Hydrologie und Klima die Verteilung von Feuchtstandorten bedingen; unter feuchteren Bedingungen und ansteigendem Wasserspiegel bildet sich eine dichte phreatophytische Vegetation, die den Boden vor Erosion schützt. Eine Stellungnahme zur Diskussion über die paläoklimatische Bedeutung der Talfüllungen erfolgt im Kapitel 6.

## 4.2 Siedlungsgeschichte

Die Kulturgeschichte der Puna von Jujuy weist Übereinstimmungen mit derjenigen Nordwest-Argentiniens, Nordchiles und Südboliviens auf. Dies spiegelt sich nicht nur in der Ähnlichkeit kultureller Charakteristika wider, sondern auch in der zeitlichen Übereinstimmung der Besiedlungsphasen. Aus der großen Zahl und dem überwiegend guten Erhaltungszustand der archäologischen Funde aus dieser Region kann auf die Art und Weise der Nutzung des Lebensraumes Altiplano durch verschiedene Kulturen während der letzten 11000 Jahre geschlossen werden.

Der archäologische Kenntnisstand in dieser Region ermöglicht einen Überblick über die verschiedenen Kulturen, ihre räumliche Verbreitung und, in einigen Fällen, über die Beziehungen verschiedener Kulturen zueinander. Es gibt jedoch nur wenige Untersuchungen, die sich mit den Beziehungen zwischen den prähistorischen Kulturen und ihrer natürlichen Umgebung beschäftigen, insbesondere den Wechselwirkungen zwischen Mensch, Landschaft, Paläoklima, der Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen, etc.

Die Entwicklung von Ackerbau und Viehzucht in den zentralen Anden fand in verschiedenen Regionen zu unterschiedlichen Zeiten und mit unterschiedlichen Charakteristika statt. Der Pflanzenbau und die Tierhaltung begannen schon in der Kulturstufe des Precerámico. So tauchen z.B. in der Fundstätte Alero de Telarmachay (Junín, Peru) die ersten Vorläufer der Domestikation von Cameliden vor 6000 yr B.P. auf, während diese in der Region Atacama (Nordchile) erst nach 4800 yr B.P. belegt sind (Grosjean & Nuñez, 1994). In der Fundstätte Huachichocana CH III (Provinz Jujuy), sind Reste von *Lagenaria siceraria* (Kürbis), *Phaseolus* sp. (Bohne), *Capsicum* sp. (Chili-Pfeffer) und *Zea mays* (Mais) zwischen 9600 und 8900 yr B.P. belegt. Fernández Distel (1986) sieht darin ein Anzeichen für beginnenden Ackerbau, während J.A. Kulemeyer (1998) dies mit intensivem Sammeln der natürlichen Ressourcen erklärt. Hansen & Rodbell (1995) nehmen aufgrund von Pollenanalysen die Existenz von Kulturpflanzen der Familien Chenopodiaceae/ Amaranthaceae und der Gattung *Ambrosia* in Nordperu zwischen 5600 und 4000 yr B.P. an.

Der Beginn des Ackerbaus bei Yavi schon vor ca. 4000 yr B.P. wird aufgrund deutlicher Maxima an Chenopodiaceae-Amaranthaceae-Pollen (möglicherweise der Nutzpflanze Quinoa) sowie kulturgeschichtlicher Belege, die ebenfalls auf dieses frühe Datum hinweisen, diskutiert. Der anthropogene Einfluß zeigt sich in einer durch die Weidewirtschaft bedingten Abnahme der natürlichen Grassteppen und in einer Zunahme von Pflanzen, die menschlichen Einfluß anzeigen (Lupo 1998).

Das Unterscheidungskriterium zwischen den Precerámico- und Agroalfarero-Kulturen ist die Anwesenheit von Keramik. Nach dem aktuellen Forschungsstand begann die Verwendung von Keramik in der Puna vor ca. 3000 yr B.P. (García, 1995), während im Osten der Provinz Jujuy Keramik in einer auf  $3460 \pm 110$  yr B.P. datierten Schicht gefunden wurde (Fernández Distel, 1988/89). Mit der Eroberung der Region durch die Spanier in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts beginnt die historische Zeit.

Im Norden der Provinz Jujuy und benachbarten Regionen werden folgende Kulturstufen unterschieden (González & Perez 1972):

1. **Precerámico** (Vorkeramische Zeit): Das Precerámico ist unter anderem durch die Verwendung von Steinartefakten und den Nomadismus charakterisiert. Die Mehrheit der bislang untersuchten Fundstätten des Precerámico sind Höhlen und Felsnischen am Ostrand der Puna (J.A. Kulemeyer, 1998). Daneben sind Funde an der Oberfläche sehr häufig. Im Precerámico werden zwei kulturelle Perioden unterschieden:

a- Protoarcaico (10800 bis 6000 yr B.P.): Das Protoarcaico umfaßt nicht weiter untergliederte Jäger- und Sammler-Kulturen, die möglicherweise mit Ackerbau und Viehzucht experimentierten. Die Fundstätten Inca Cueva 4, Huachichocana CH III und La Cueva de Yavi sind repräsentative Beispiele dieser Periode in der Provinz Jujuy.

b- Arcaico (6000 bis 3500/3000 yr B.P.): Das Arcaico ist durch beginnenden Ackerbau und Viehzucht charakterisiert. Zwei Gebiete in den Zentralen Anden kommen als Zentrum der Domestikation von Cameliden in Betracht: die Gegend um Junín in Peru und das Einzugsgebiet des Titicaca-Sees. Die Domestikation der Cameliden begann um 6000 yr B.P. mit einer Versuchsphase, die sich etwas über 2000 Jahre hingezogen haben dürfte; die Handhabung und absolute Kontrolle der Herden (Weidewirtschaft) ist in den Zentren der Domestikation für die Zeit um 4000 yr B.P. belegt (Lavalleé



et al., 1982). Die wichtigsten Fundorte in der Provinz Jujuy sind Inca Cueva 7, Huachichocana CH III und Río Grande (bei El Aguilar).

2. **„Agroalfarero“** (Ackerbauperiode): Die Agroalfarero-Kulturen sind durch die Verwendung der Keramik, dauerhafte Siedlungen und durch eine auf Ackerbau und Viehzucht basierende Wirtschaft charakterisiert. Man unterscheidet folgende kulturelle Perioden:

a- **Temprano oder Formativo Inferior** (Frühes Agroalfarero, zwischen 3500/3000 und 1250 yr B.P.): Im frühen Agroalfarero wurden die ersten Volksgruppen, die überwiegend Ackerbau und Viehzucht betrieben, sesshaft. Nach 2000 yr B.P. gab es Ethnien, z.B. der Phase La Quiaca Vieja der Yavi-Kultur, die einen hohen Entwicklungsstand im Kunsthandwerk und in den Ackerbautechniken erreichten. Im Norden der Puna gibt es folgende wichtige Fundorte: Cerro Colorado S II, La Quiaca Vieja, Inca Cueva Alero I, Alero de Tomayoc.

b- **Medio oder Formativo Superior** (Mittleres Agroalfarero, zwischen 1250 und 950 yr B.P.): Das mittlere Agroalfarero ist durch den Ausbau der bislang kleinen Weiler zu größeren Dörfern gekennzeichnet. Diese Periode wird in der Provinz Jujuy unter anderem durch die archäologischen Stätten Antigal de Yavi Chico, Casti, Pueblo Viejo de La Cueva und Alfarcito repräsentiert.

c- **Tardío oder Desarrollos Regionales** (Spätes Agroalfarero, 950 bis 480 yr B.P.): Das späte Agroalfarero ist durch die politische Expansion einiger Dörfer („señoríos“) gekennzeichnet; charakteristisch ist die Konstruktion von Befestigungsanlagen (bekannt als „Pucará“). In Jujuy sind folgende archäologische Stätten aus dieser Periode bekannt: Pucará de Volcán, Pucará de Tilcara, Ciénaga Grande, Bajo La Viña, Antigal de Yavi Chico, etc.

d- **Incaico** (Periode der Eroberung durch die Inkas, 1470-1536 AD): Diese Periode ist durch das Auftreten von Elementen der Inkakultur in der Region

charakterisiert. In der Provinz Jujuy können die Fundstätten Calahoyo, Casabindo, Coctaca, Cerro Colorado S1, Antigal de Yavi Chico, u.a. erwähnt werden.

Krapovickas (1973; 1977; 1987-1988) unterscheidet im nordöstlichen Teil der Puna folgende Phasen der Kulturstufe des Agroalfarero: La Quiaca Vieja, Cerro Colorado, Yavi Chico und Incaico. Die einzelnen Phasen folgten zwischen 1800 yr B.P. und der Ankunft der spanischen Eroberer aufeinander. Die ersten drei bilden die Yavi-Kultur, die der Ethnie der Chichas zugeordnet wird, die den Norden der Provinz Jujuy und den Süden Boliviens besiedelten.

3. **„Historische Zeit“**: Seit der Eroberung durch die Spanier fanden in der Region strukturelle Veränderungen statt, die anfänglich zu einem wirtschaftlichen und politischen Aufschwung führten, später jedoch im nördlichen Teil der Puna von Jujuy einen bis heute andauernden wirtschaftlichen Zerfall und gesellschaftliche Marginalisierung bewirkten. Auf regionaler Ebene werden folgende Perioden unterschieden:

a- Hispano-Indígena zwischen 1536-1600 AD: Es handelt sich um die Kultur, die sich in der Region aus dem ersten Kontakt zwischen den Eroberern und den Indigenas der Region entwickelte. Aus dieser Zeit stammen die Fundorte La Falda, Pintoscayoc, Doncellas und San Salvador de Jujuy.

b- Colonial (Kolonialzeit), zwischen 1600-1810 AD: Während dieser Periode findet die koloniale politische und soziale Umstrukturierung durch die Vergabe von Encomiendas durch die spanische Krone statt; der Besitz der Encomiendas bestand aus Land und der Arbeitskraft der indigenen Bevölkerung. In der Provinz Jujuy wurden unter anderen die Encomiendas Casabindo, Cochino, Paypaya geschaffen und die Marquesado (Grafschaft) de Yavi y Tojo gegründet.

c- Independiente (Unabhängigkeit), seit 1810 AD: In den letzten zwei Jahrhunderten kam es im Norden der Region zu einem zunehmenden wirtschaftlichen und sozialen Verfall, der zur Abwanderung großer Bevölkerungsteile in die großen Städte des Landes führte. Dieser Trend dauert bis heute an; daneben arbeitet ein Teil der Bevölkerung als Saisonarbeiter („trabajadores golondrina“) z.B. in den Zuckerrohrplantagen. Außerdem wird die traditionelle Erwerbsquelle Landwirtschaft teilweise durch Arbeitsplätze im Handel und öffentlichen Dienst ersetzt (Echenique, pers. Mitt.).

Während des 17. und 18. sowie Teilen des 19. Jahrhunderts waren der Norden der Puna, ein Großteil der Sierra de Santa Victoria sowie Teile Südbolivians unter der Herrschaft des Marqués von Yavi y Tojo. Yavi war während dieser Zeit ein bedeutendes Verwaltungszentrum sowie Station der Viehkarawanen aus verschiedenen Regionen des Vizekönigreichs Río de la Plata auf der Strecke nach Alto Perú. Mit mehr als 2000 Einwohnern war Yavi damals die wichtigste Siedlung im Gebiet der heutigen Provinz Jujuy. Die Kolonisation stellte im Vergleich zur Periode des Agroalfarero einen abrupten Wandel im Sozialgefüge und der Nutzung der natürlichen Ressourcen dar. Die Subsistenzwirtschaft, die auf Ackerbau und Viehzucht basierte und durch Jagd ergänzt wurde, wurde durch eine intensive Viehzucht (vor allem Esel und Schafe) für den Export in die Bergbauregion nach Potosí ersetzt.

Der Niedergang des Bergbaus in Alto Perú und die daraus resultierende Schwächung der regionalen Wirtschaft verursachten den Verfall der Region, ein Prozeß, der bis zum heutigen Tag andauert. Die Konsequenz waren und sind Landflucht, in jüngerer Zeit auch staatlich geförderte Arbeitsmöglichkeiten im öffentlichen Dienst, die gemeinsam zu einer Abnahme der Intensität der Landnutzung führten. Im speziellen Falle von Yavi war die Verlegung der Zollstation am Anfang des XX. Jahrhunderts und damit des Import/Export-Handels nach La Quiaca an die Bahnlinie ein weiterer Faktor der politischen und wirtschaftlichen Schwächung (Echenique, 1996).

Gegenwärtig vollzieht sich auf der Puna eine wirtschaftliche und kulturelle Umwandlung, die Ackerbau und Weide vernachlässigt und eine sehr prekäre Volkswirtschaft bevorzugt. Die Arbeitsbeschaffungsmaßnahmen (u.a. Plan Trabajar) haben ältere Bräuche, wie z. B. die gegenseitige Hilfe bei der Weide und Ernte z.T. abgelöst. Der Niedergang der Landwirtschaft in der Region könnte nicht nur das Ergebnis des Eindringens der westlichen Kultur sondern auch eine Folge der zunehmenden Landschaftsdegradation und niedriger Erträge sein.

## 5 UNTERSUCHUNG HOLOZÄNER SEDIMENTE UND RELIEFFORMEN IN AUSGEWÄHLTEN TEILGEBIETEN DES RIO-YAVI-SYSTEMS

### 5.1 Äolische Reliefformen und Sedimente auf der Punahochfläche

Die holozänen Reliefformen und Sedimente der Puna sind überwiegend durch fluviale und äolische Prozesse entstanden. In mehreren Bereichen des Untersuchungsraums werden Ablagerungen äolischer Sande beobachtet, die normalerweise einen spätglazialen Paläoboden überlagern (Zipprich et al., 2000, vgl. Abb. 8, 10, 12, 18, 20 und 21). Bei der Ortschaft Chalhualmayoc befinden sich am Rand der Fußfläche I relativ gut verfestigte und größtenteils erodierte Reste ehemaliger Dünen, die zu 95% aus Sand (30% Mittelsand und 65% Feinsand) zusammengesetzt sind und Kreuzschichtung aufweisen. Die Dünen sind durch Vegetation (Strauchsteppe) stabilisiert. Nordöstlich von Casti liegt eine Dünengruppe jüngeren Aussehens: bis 1,70m hohe Nebkas sowie bis 80m lange, 15m breite und 1,80m hohe Longitudinaldünen. Die Dünen weisen eine geringe Vegetationsbedeckung auf (*Pennisetum* sp. dominiert). Ein drittes Gebiet äolischer Sedimentation befindet sich auf der Hochebene nördlich der Ortschaft Portillo. Es handelt sich um einen Komplex ungefähr West-Ost orientierter Parabeldünen, die zwischen 10 und 200m lang und bis 5m hoch und durch Vegetation fixiert sind. Nach Werner (1976), sind es fast reine Quarzsande, mit 80% bis 92% Mittel- und Feinsand mit einer Pflanzendecke in der *Fabiana densa*, *Pennisetum chilense*, *Astragalus garbancillo*, *Heliotropium microstachyum* und *Neocracca heterantha* dominieren, wobei aber keine deutlichen Bodenhorizonte entwickelt sind. Aus dem frischen Aussehen dieser Formen, ebenso wie jener bei Casti, kann auf ein relativ junges Alter der Ablagerungen geschlossen werden. Sie wurden sicherlich nach der letzten pedogenetischen Phase, die aus dem Gebiet bekannt ist, gebildet; d.h. sie sind jünger als 1500 yr B.P. (Reizner, 1998; Zipprich, 1998).

Aus der Sicht ihrer regionalen Verbreitung können diese Ablagerungen als Teil eines größeren äolischen Systems betrachtet werden, das die Region der Puna (des Altiplano) umfaßt. Äolische Sedimente sind in der Puna von Jujuy häufig anzutreffen. Dominguez (1954) beschreibt Dünen und eine sandige Deckschicht im Südosten des Departamento Yavi und nimmt deren Entstehung im Jüngeren Holozän an. Rivelli

(1993) beobachtete in der Umgebung von Abra Pampa größtenteils erodierte ältere Dünen und weiter verbreitet eine jüngere Generation von gut erhaltenen Dünen. In der Umgebung der Laguna de Pozuelos befinden sich ebenfalls Dünen holozänen Alters (Igarzábal 1993). Die Karte der regionalen Verbreitung der Dünen im Nachbarland Bolivien (Jordan 1981) belegt die Existenz äolischer Ablagerungen und Formen auf dem ganzen Altiplano, besonders südlich 18°S. Auch die Vegetationskarte des Nordostens der Provinz Jujuy (Ruthsatz & Movia 1975) belegt die weite räumliche Verbreitung der äolischen Ablagerungen. Ihre Lage vorwiegend östlich und nördlich der Flüsse, Bäche und abflußlosen Senken entspricht der Hauptwindrichtung während der Trockenzeit (Winter) aus W. In allen beschriebenen Fällen überwiegen, ebenso wie im Einzugsgebiet des Río Yavi, die durch Vegetation fixierten Dünen gegenüber den aktiven Dünen.

## **5.2 Grundzüge des holozänen sedimentologischen Aufbaus der Täler**

Die holozänen Talsedimente des Einzugsgebiets des Río Yavi treten in drei geomorphologischen Terrassen auf. Die älteste ist Terrasse I (TI), sie besteht i.w. aus drei Sedimentarten: Schuttsedimente, sandige Sedimente und tonige und humusreiche Sedimente (Foto 3). Die Schuttsedimente leiten sich aus Massenbewegungen von den angrenzenden Hängen (plio-pleistozäne Sedimente) ab. Die aufgeschlossene Mächtigkeit der Terrasse I beträgt zwischen 5 und 30m in den Untersuchungsgebieten 1 bis 4 und weniger als 2m im Untersuchungsgebiet 5. Die Terrasse I wurde nach den vorhandenen Datierungen zwischen mindestens  $9260 \pm 70$  yr B.P. (Beta 104253, Profil Casti 4) und ca. 2000-1050 yr B.P. (z. B. Profil Palca 9) abgelagert.

Die Terrasse II (TII) ist eine Schotterterrasse, allerdings nur im Untersuchungsgebiet Casti erhalten (Foto 4). Diese Terrasse hat eine Mächtigkeit von 2-4m und wurde in der Zeit von etwa 2000-1500 yr B.P. bis maximal  $1090 \pm 60$  yr B.P. (Beta 104.260, Profil Casti 3) abgelagert.

Terrasse III (TIII) ist ebenfalls eine Schotterterrasse mit einer Mächtigkeit von 1m bis maximal 4m (Foto 5). Diese jüngste Schotterakkumulation entstand -wie noch zu

zeigen sein wird- frühestens ab der spanischen Kolonialzeit, d.h. frühestens ab 450 yr B.P.

Die Terrasse I ist gegenüber den jüngeren Terrassen durch eine wesentlich größere Dimension und Mächtigkeit sowie durch auffallend feinkörnige und z.T. humusreiche Sedimente gekennzeichnet. Die Terrassen II und III lassen sich neben den Lageverhältnissen vor allem auch durch biostratigraphische und archäologische Merkmale voneinander unterscheiden. Im Vergleich zu Terrasse I können sie in sehr kurzer Zeit, als Ergebnis vielleicht von nur wenigen größeren Abflußereignissen abgelagert worden sein.

### **5.2.1 Untersuchungsgebiet 1, Yavi Chico (vgl. Abb. 2)**

In Abb. 8 sind die geologischen und topographischen Verhältnisse in der Umgebung von Yavi Chico dargestellt. Die größte Verbreitung haben die plio-pleistozänen Sedimente, die in zwei Fazies vertreten sind: eine fluviale basale, die aus Schottern und Sand zusammengesetzt ist und eine lakustrine obere, die überwiegend aus pelitischem Material besteht. Beide Fazies sind deutlich in den Aufschlüssen nördlich von Antigal de Yavi Chico zu erkennen. Nördlich des Tales treten auf dem Plateau der Puna weitflächig Dünen auf, die überwiegend durch Vegetation fixiert sind. Sie überlagern den bereits erwähnten gekappten spätglazialen Paläoboden (Zipprich et al. 2000), der in den plio-pleistozänen Sedimenten entwickelt ist.

Die Talsedimente im Gebiet von Yavi Chico sind auf der Grundlage lithofazieller und biostratigraphischer Merkmale sowie archäologischer Funde und Radiokarbonaten in 5 Profilen aufgenommen und hinsichtlich ihrer stratigraphischen Korrelation untersucht worden. Das Ergebnis zeigt Abb. 9. Die Profile spiegeln die asymmetrische Entwicklung wider, die auf beiden Seiten der Quebrada de Cajas beobachtet wird (vgl. Abb. 9 u. 10): Chico 1, 2 und 3 auf der nördlichen Talseite zeigen die beträchtliche Mächtigkeit (bis 25m) der Terrasse I und umfassen hauptsächlich holozäne Schuttsedimente die aus den anschließenden steilen Talhängen stammen, die in plio-pleistozänen Sedimenten ausgebildet sind. In die

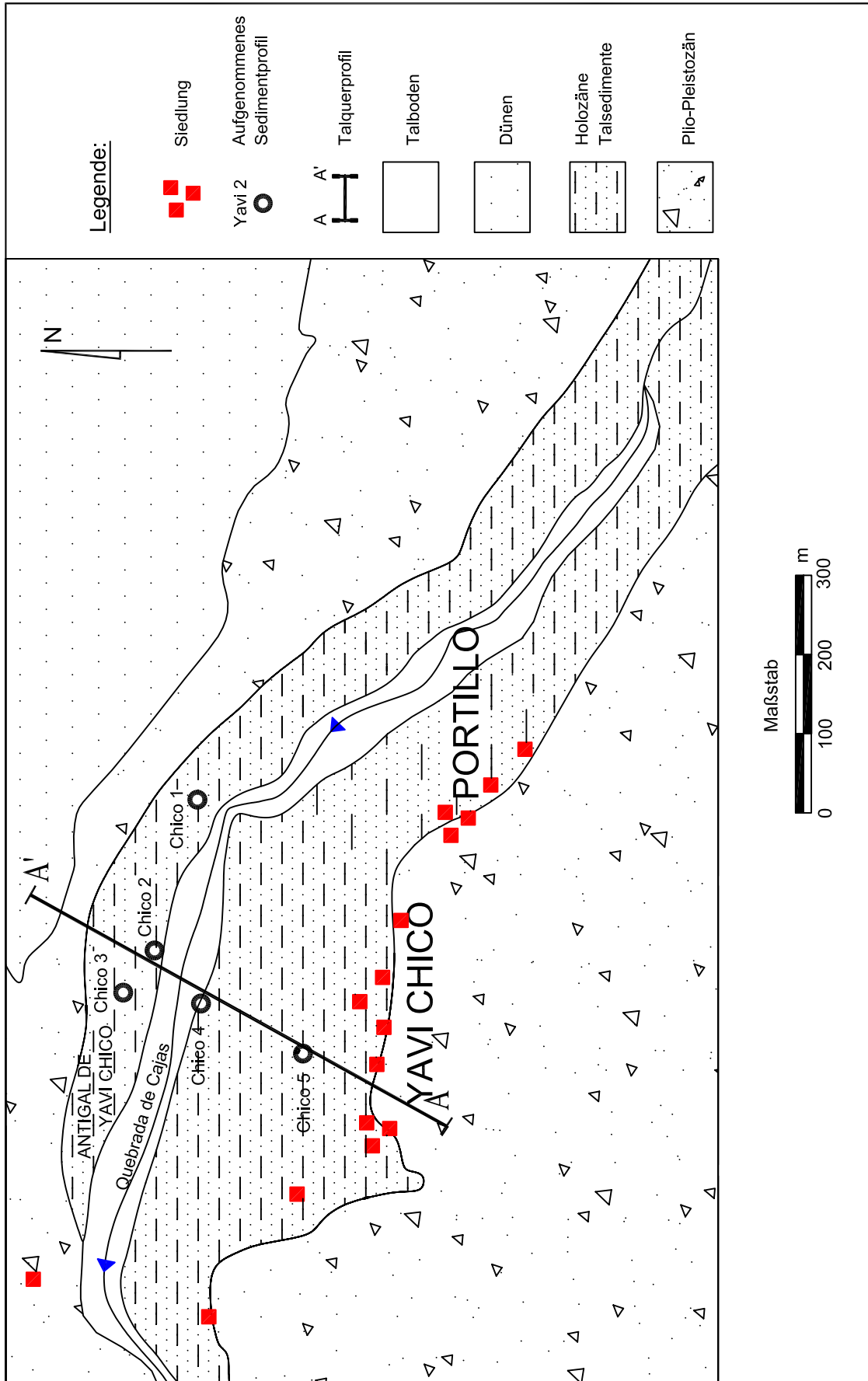


Abb. 8 Geologisch- geomorphologische Verhältnisse und Lokalisation von Untersuchungsprofilen in der Umgebung von Yavi Chico



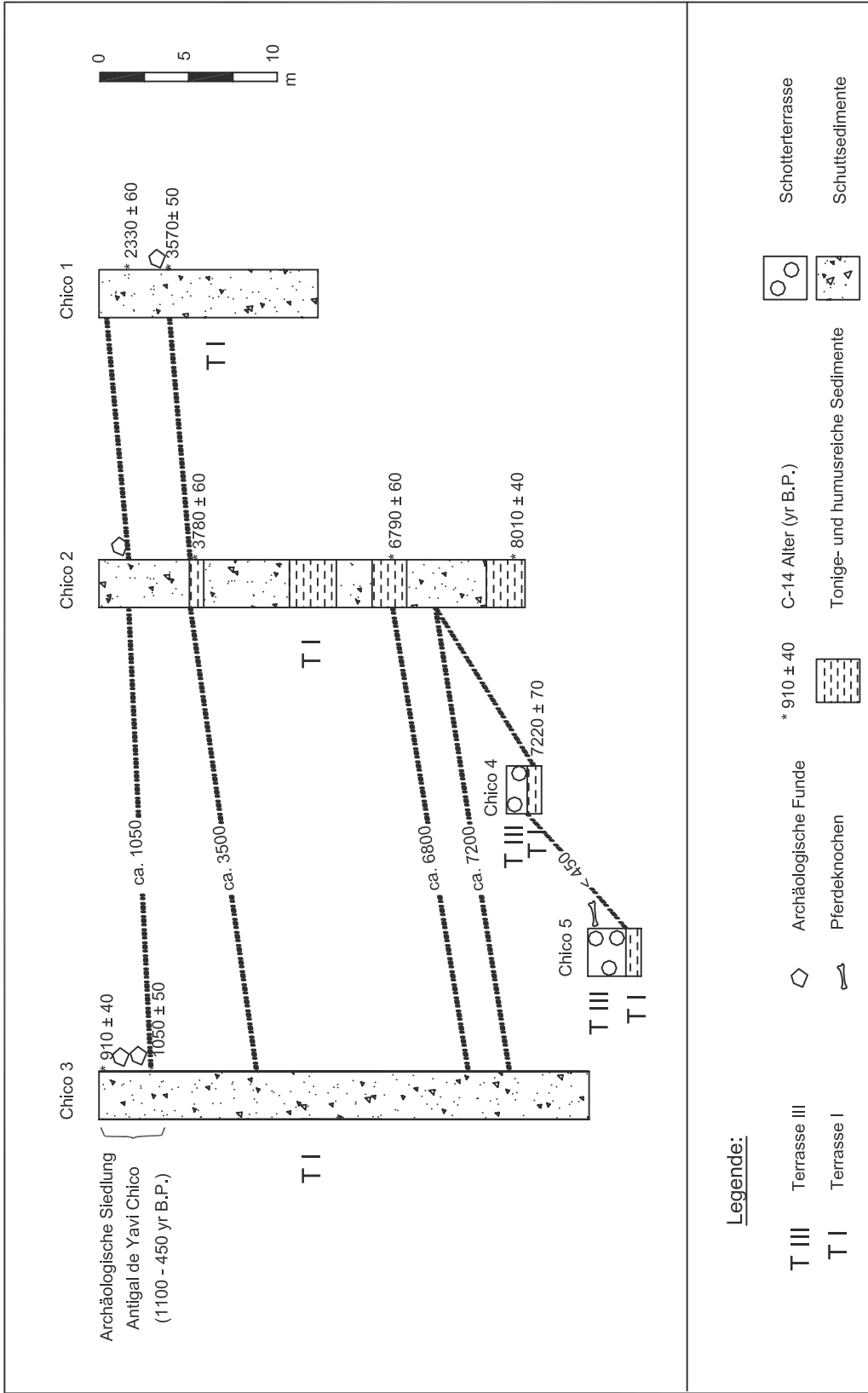


Abb. 9. Holozänstratigraphie bei Yavi Chico

Schuttsedimente sind lokal (Profil Chico 2, Foto 6) humose Feinsedimente eingelagert, die  $^{14}\text{C}$ -Datierungen erlauben. Es ergaben sich folgende Alter:  $8010 \pm 40$  yr B.P. in 23,30m Profiltiefe (Beta 104269),  $6790 \pm 60$  yr B.P. in 16,90m Profiltiefe (Beta 104268) und  $3780 \pm 60$  yr B.P. in 5,90m Profiltiefe (Beta 104267).

Das Profil Chico 1 enthält Funde der archäologischen Stätte Portillo, die sich in sandigen Schichten zwischen 3,50 und 5,10m Aufschlusstiefe befinden. Die im Profil anstehenden archäologischen Materialien schließen zahlreiche Fragmente von Steinwerkzeugen, Mahlsteine und Knochenreste von Cameliden ein. Eine  $^{14}\text{C}$ -Datierung von Holzkohle aus 4,20m Tiefe (Beta 104258) ergab ein Alter von  $3570 \pm 50$  yr B.P., wonach dieser Fundort archäologisch in den Übergang zwischen der Precerámico- und der Agroalfarero-Periode gestellt werden kann (vgl. Kap. 4.2). Die Kulturreste sprechen für den erfolgten Übergang zur Tierhaltung und möglicherweise zum Feldbau. Eine zweite Datierung von organischen Sedimenten aus demselben Profil aus einer Tiefe von 2,00 m (Beta 104257:  $2330 \pm 60$  yr B.P.) gibt das Minimalalter dieser Besiedlungsphase an.

Im oberen Teil des Profils Chico 3 befinden sich Siedlungsreste der archäologischen Stätte Antigal de Yavi Chico, der Typlokalität der Kulturphase Yavi Chico (Krapovickas 1973), die in die Zeit von ca. 1050 yr B.P. bis 450 yr B.P. einzuordnen ist. Es handelt sich um eine ehemalige Siedlung, von der Reste von Häusern, Ackerterrassen, Getreidespeichern und Pferchen erhalten sind und die eine Fläche von ungefähr 20 Hektar einnimmt. Kulturfunde sind sowohl an der Terrassenoberfläche als auch in den Profilen an den Wänden der zahlreichen Barrancos vorhanden, die sich nach der Besiedlungsphase senkrecht zum Verlauf des Vorfluters gebildet haben. Die Yavi-Chico-Kultur zeigt eine auf Feldbau und Viehzucht (Lamas) basierende Landwirtschaft. An den Hängen wurden Terrassen angelegt, auf denen Bewässerungsfeldbau betrieben und Wohnhäuser errichtet wurden. Bereits während der Besiedlungsphase kam es an den angrenzenden steilen Talhängen bis Wänden zu Bergstürzen, die offenbar eine ständige Bedrohung der Siedlung bildeten und bis heute episodisch aktiv sind. Das abgestürzte Material wurde durch Regenfälle weiter aufgelöst und als Schlammstrom oder fluvial auf der Terrassenfläche verteilt. Überschüttete Bauten, Häuser, Mauern, etc. zeugen von den katastrophentartigen Ereignissen. Ein besonders eindruckvolles Beispiel stellen

die hervorragend erhaltenen Reste eines Hauses dar, von dem sogar ein Großteil der Wände aus Lehmziegel und des Daches (Stroh und verkohlte Baumstämme) erhalten geblieben ist (Kiegel 2001).

Es wurden zwei Datierungen an Holzkohle durchgeführt: die erste an Resten eines ehemaligen Getreidespeichers in 3,80m Profiltiefe, die folgendes Resultat ergab:  $1050 \pm 50$  yr B.P. (Beta 104263). Die zweite Datierung erfasst das Alter einer Müllhalde in 1m Profiltiefe, in der reichlich Aschen und organische Reste, Keramik und Knochen vorhanden sind, und ergab folgendes Resultat:  $910 \pm 40$  yr B.P. (Beta 104262). J.A. Kulemeyer und L. Laguna (pers. Mitt.) führten vier  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an Holzkohle aus anderen Bereichen der Siedlung durch:  $1032 \pm 25$  yr B.P. (CSIC-1625);  $887 \pm 25$  yr B.P. (CSIC-1188);  $597 \pm 36$  yr B.P. (CSIC-1624) und  $528 \pm 24$  yr B.P. (CSIC-1347). Diese Ergebnisse bestätigen ältere Datierungen von Krapovickas (in Vogel & Lerman 1969 und González & Lagiglia 1973):  $490 \pm 35$  yr B.P.;  $780 \pm 40$  yr B.P. und  $1020 \pm 30$  yr B.P. Zu den jüngsten Funden in Antigal de Yavi Chico gehört Keramik aus der Inka-Periode (1470-1536 AD).

Die Aufgabe der Siedlung, wahrscheinlich um die Zeit der Ankunft der Spanier, war u.a. eine Folge der Erosionsprozesse, mit der Bildung von Erosionsschluchten, eingestellt auf den sich eintiefenden Río Cajas. Dadurch war eine Bewässerung der Ackerterrassen auf dem Antigal de Yavi Chico ab einer gewissen Eintiefung des Vorfluters nicht mehr möglich (vgl. auch Kiegel 2001).

Die Profile Chico 4 und 5 stammen von der südlichen Talseite von maximal 3m hohen Aufschlüssen aus Bacheinschnitten tributärer Seitentäler. Beide bestehen aus zwei sehr unterschiedlichen Akkumulationen, die durch eine Erosionsdiskordanz scharf getrennt werden. Die untere wird durch humose tonig-schluffige Feinsedimente gebildet mit einem  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $7220 \pm 70$  yr B.P. (Beta 104259) an der Basis von Chico 4. Sie entspricht damit in der zeitlichen Einordnung im Prinzip der Sedimentbasis auf der gegenüberliegenden Talseite im Profil Chico 2 (vgl. auch Abb. 10a), d.h. es handelt sich um die Terrasse I. Das obere Sediment besteht aus fluvialen Schottern und Sanden, die eine Mächtigkeit von 1-2 m erreichen. Aufgrund eines Oberschenkelknochens eines europäischen Pferdes im Profil Chico 5 kann es der historischen Zeit zugeordnet werden (Foto 7). Analog können ähnliche

Sedimente in verschiedenen Bereichen des Untersuchungsraumes mit Fossilien von durch die Spanier eingeführten Haustierarten (Pferde, Rinder, Schweine, Schafe usw.) datiert werden. Diese litho- und biofaziell gekennzeichneten Ablagerungen fallen in die spanische oder nachkoloniale Zeit und sind dementsprechend höchstens 450 Jahre alt. Sie bilden im Untersuchungsraum die Terrasse III.

Abb. 11 zeigt auf der Basis der Profile Chico 1, 2 und 3 (vgl. auch Abb. 9) holozäne Sedimentations- und Erosionsraten, wobei die während und nach der archäologischen Siedlung von Antigal de Yavi Chico entstandenen Ablagerungen ausgeschlossen sind<sup>1</sup>. Die Sedimente sind relativ einheitlich bezüglich ihrer petrographischen und textuellen Zusammensetzung und anscheinend lückenlos, so daß die Berechnung von Sedimentationsraten sinnvoll erscheint. Die Sedimentation erreicht maximale Werte von 6mm/Jahr zwischen ca. 8000 und 6800 yr B.P. Danach zeichnet sich ein fortlaufender Rückgang der Sedimentationsrate ab: auf 3,8mm/Jahr zwischen ca. 6800 und 3600 yr B.P., 2mm/Jahr zwischen ca. 3600 und 2300 yr B.P. und 1mm/Jahr zwischen ca. 2300 und 1050 yr B.P. In der Zeit danach erfolgt ein Umbruch in der fluvialen Morphodynamik in der Quebrada de Cajas. Die bis dahin vorherrschende Akkumulationstendenz wird von definitiver Erosion, d.h. Taleintiefung abgelöst. Zur Zeit von Antigal de Yavi Chico kann die Erosionstendenz noch nicht sehr ausgeprägt gewesen sein, da Bewässerungsfeldbau mit einem dazu notwendigen Kanalanschluß zum Vorfluter möglich war. Erst in den letzten 450 yr B.P. muß die Eintiefung und Ausräumungstendenz ständig zugenommen haben. Für diese Zeit ist mit einer durchschnittlichen Erosionsrate von 70mm/Jahr zu rechnen. Eigene Beobachtungen zwischen 1987 und 2001 bei Yavi Chico lassen auf eine gegenwärtige Erosionsrate von mehr als 100mm/Jahr schließen.

In Abb. 10 wird die rekonstruierbare Talentwicklung bei Yavi Chico an einem schematischen Talquerprofil dargestellt (vgl. Abb. 8, A-A'). Abb. 10a zeigt die heutigen Reliefverhältnisse und den Terrassenaufbau, erschlossen durch die Lithostratigraphie, archäologische/historische Kulturreste sowie <sup>14</sup>C-Datierungen. In Abb. 10b sind die Verhältnisse vor der jungholozänen Erosionsphase

---

<sup>1</sup> Die ab 1050 ± 50 yr B.P. abgelagerten Sedimente in der Umgebung von Antigal de Yavi Chico sind anthropogen entstanden bzw. beeinflusst (u.a. durch Bewässerung der Ackerflächen).

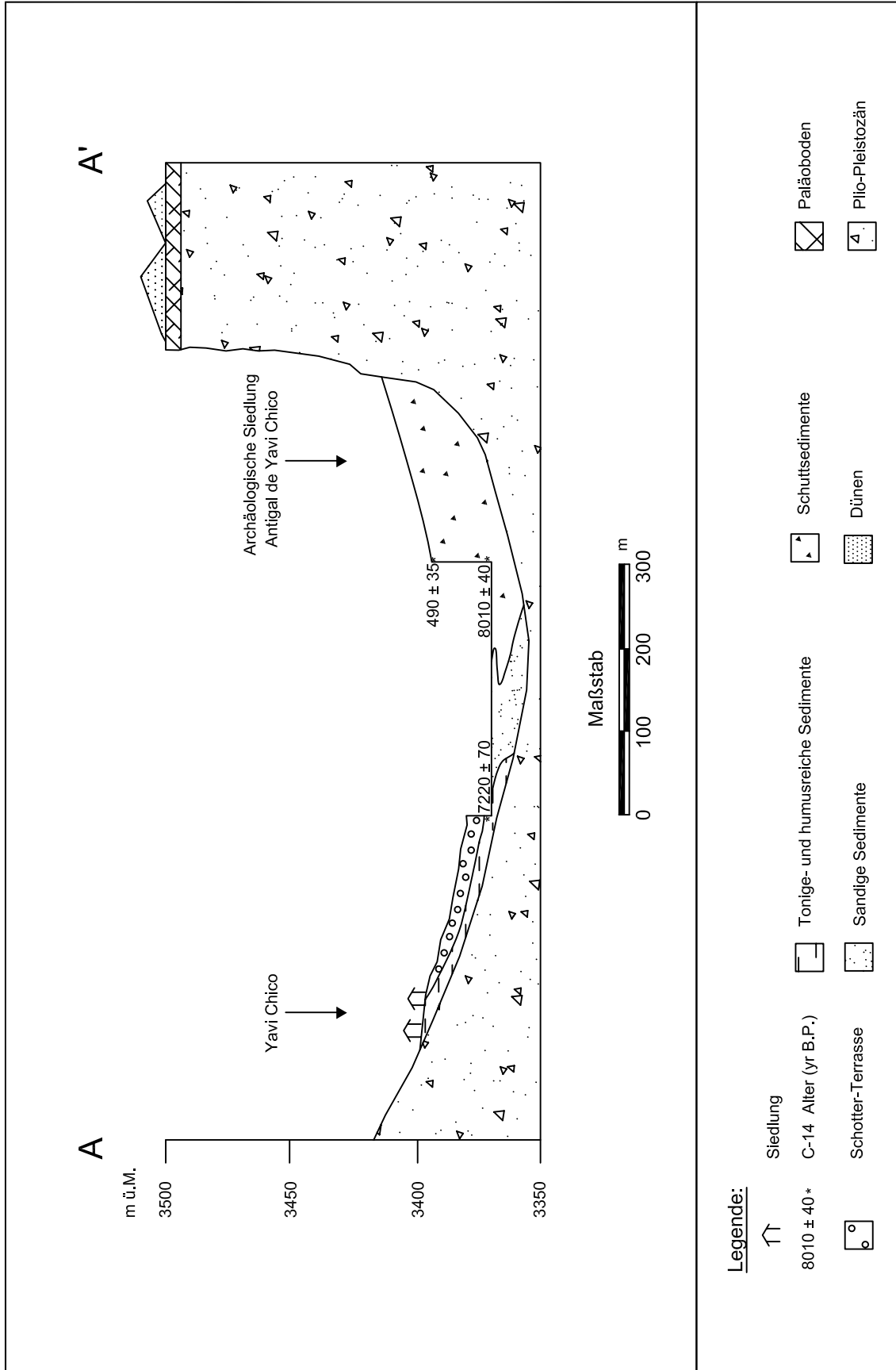


Abb. 10a. Schematisches Querprofil "Quebrada de Cajas" bei Yavi Chico. Gegenwärtiger Zustand.

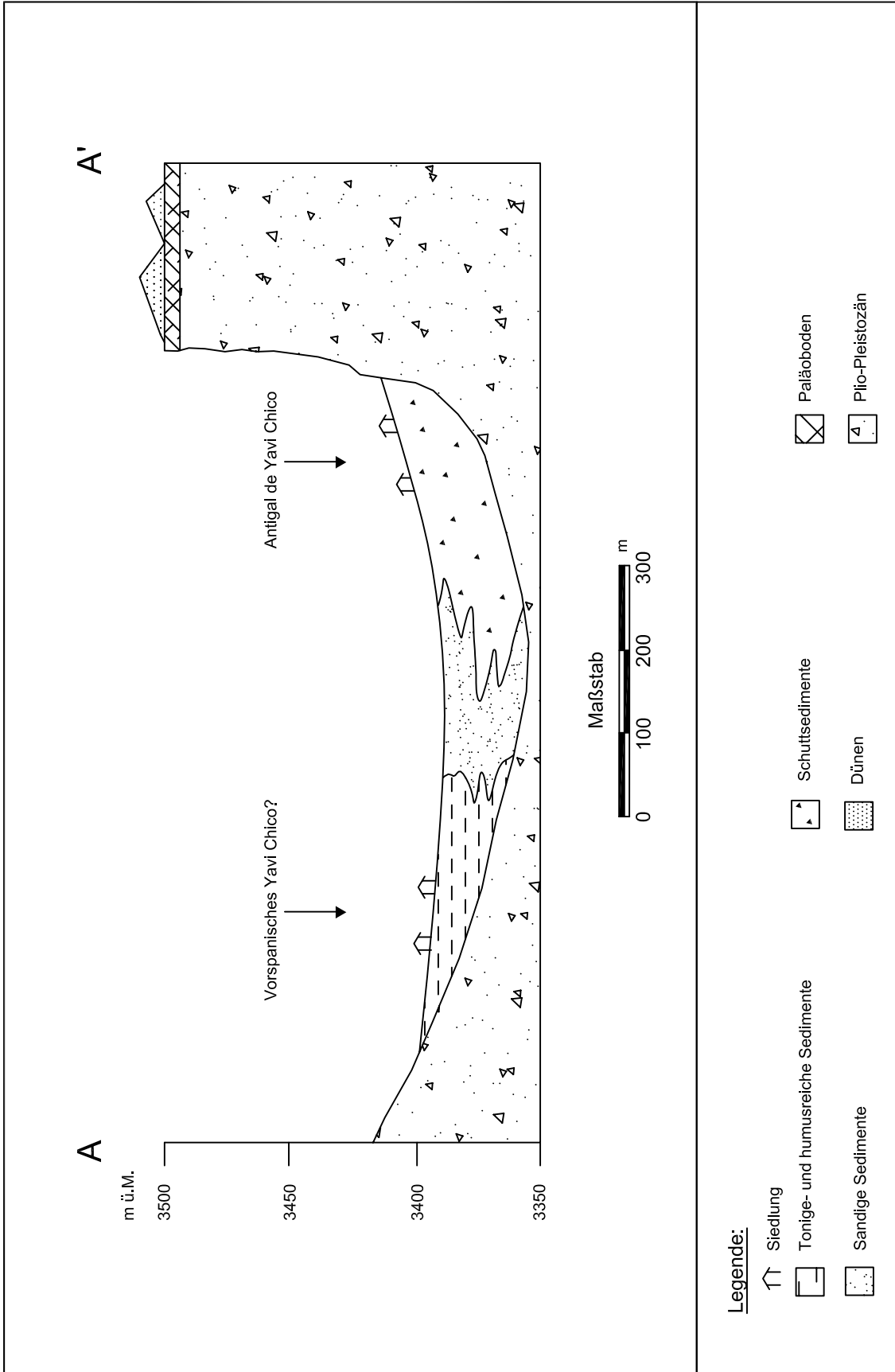


Abb. 10b. Schematisches Querprofil "Quebrada de Cajas" bei Yavi Chico. Zustand vor Beginn der jungholozänen Erosionsphase

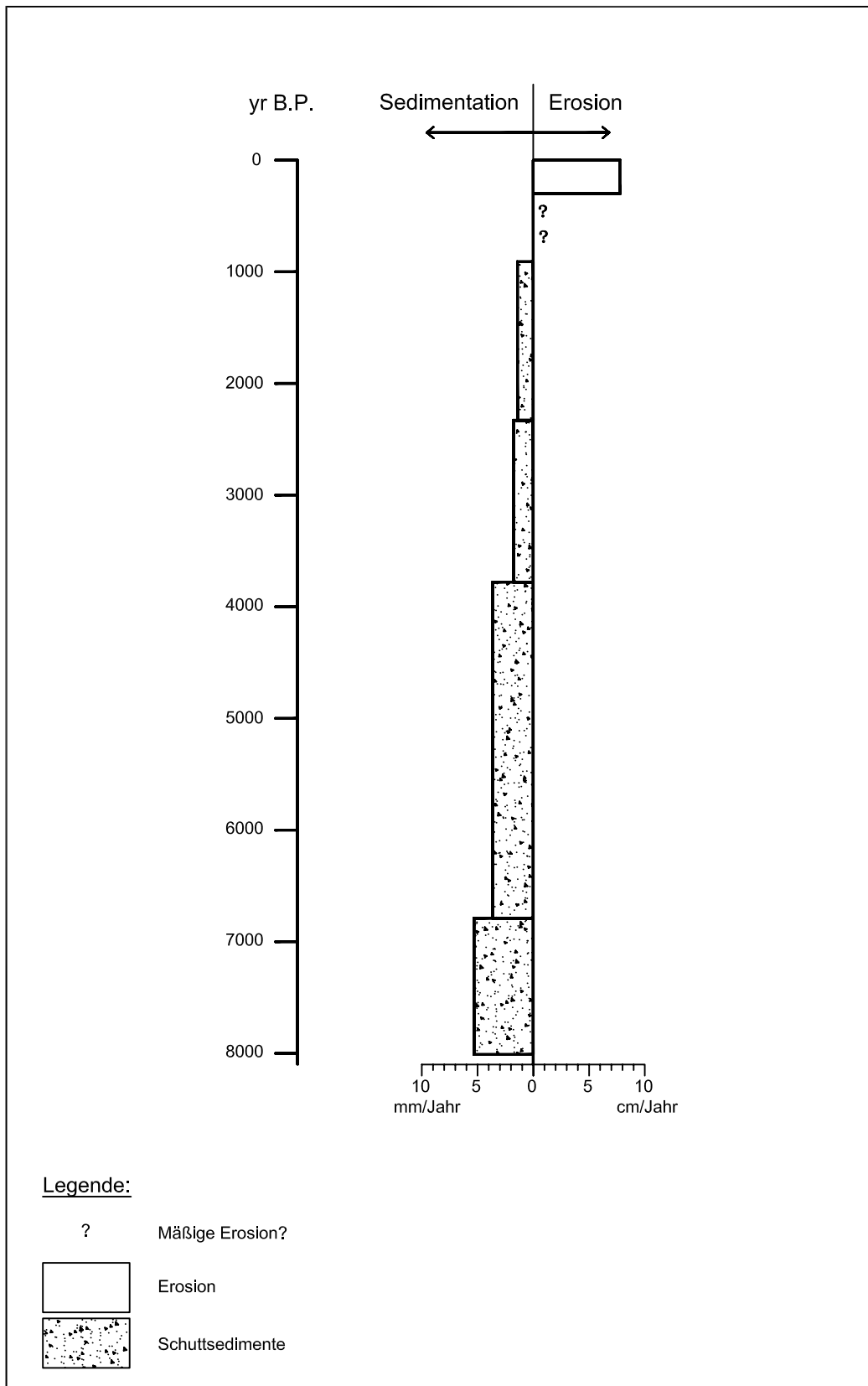


Abb. 11. Sedimentations- und Erosionsraten der Schuttsedimente bei Yavi Chico

wiedergegeben. Der Beginn der Erosionsphase im Río-Yavi-Becken generell ist nach den jüngsten Sedimentaltern im Zeitraum zwischen etwa 2000 yr B.P. (z.B. Profil Palca 9) und rund 1050 yr B.P. (Profil Chico 1) anzusetzen. Dabei war die Eintiefungsgeschwindigkeit anfangs, in verschiedenen Teilgebiete unterschiedlich lang, offenbar gering. Für das Gebiet von Yavi Chico kann man aus den oben erwähnten Gründen schlußfolgern, daß die wesentliche Tiefenerosion erst in der spanischen Kolonialzeit und später erfolgt ist, mit bis heute anscheinend zunehmender Intensität. Das geringe Alter und die gegenwärtige Aktivität der Zerschneidung gehen auch aus der Bildung von bis zu 30m tiefen Erosionsschluchten (Barrancos) hervor, die alle Anzeichen labiler Wände aufweisen und die in den gering verfestigten Sedimenten der Terrasse I ansonsten kaum erhalten wären. Der Ausgangszustand der Talentwicklung, den Abb. 10b zeigt, könnte dementsprechend noch um 1500 AD annähernd vorhanden gewesen sein.

Die Ergebnisse zur holozänen Landschaftsentwicklung bei Yavi Chico lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Seit mindestens  $8010 \pm 40$  yr B.P. bis ca. 1050 yr B.P. wurden die Sedimente der Terrasse I kontinuierlich, jedoch mit abnehmender Sedimentationsrate abgelagert (Profile Chico 1, 2 und 3; vgl. Abb. 8, Abb. 9 und Abb. 11).
2. Auf der nördlichen Talseite kamen überwiegend Schuttsedimente, auf der südlichen Talseite dominierend sandige und humusreiche Sedimente zur Ablagerung. Für den Talboden in dieser Zeit sind Anzeichen einer dichten Vegetationsdecke charakteristisch. Dies und die fluviale Ablagerung von Feinsedimenten lassen auf einen niedrigen Abfluß im damaligen Gerinnebett schließen.
3. Ein merklicher Einfluß des Menschen auf die Landschaft ist mindestens schon zur Zeit der archäologischen Siedlung „Antigal de Yavi Chico“ anzunehmen (etwa 1050-450 yr B.P.). Die schon relativ intensive Landnutzung in dieser Zeit (Beweidung, Anzapfung von Flusswasser zur Bewässerung von Anbauflächen, Anlage von Bewässerungskanälen, Auffüllung von Erosionsrinnen u.dgl.) hat die natürlichen Umweltbedingungen im Tal der



Quebrada de Cajas aber auch in der Umgebung sicher geändert. Vor allem als Folge der Beweidung und der Holznutzung ist auf einen zunehmenden Oberflächenabfluß zu schließen.

4. Die Sedimentationsphase während eines Großteils des Holozäns wurde von einer bis heute andauernden Erosionsphase im Jungholozän abgelöst. Das Maximum der Tiefenerosion erreicht 30m. Die Zerschneidung setzte bereits in prähispanischer Zeit (ca. 1050 yr B.P.) ein und hat sich seit der spanischen, der historischen Zeit intensiviert. Die Besiedlung von Antigal de Yavi Chico ging der Haupterosionsphase in der Quebrada de Cajas voraus.
5. Die allgemeine Eintiefungstendenz wurde von einer seitlichen Verlagerung des Flusses nach Norden begleitet, der dort einen 25 - 30m hohen Prallhang bildet. Die Kompetenz des Flusses nahm dabei zu, wie die Anwesenheit von Grobkies und Blöcken bis zu 30cm Größe im heutigen Flußbett zeigt. Die Terrasse III auf der südlichen Talseite der Quebrada de Cajas ist während einer kurzen Akkumulationsepisode entstanden.

### **5.2.2 Untersuchungsgebiet 2, La Palca (vgl. Abb. 2)**

Abb. 12 stellt die geologischen Verhältnisse in der Umgebung von La Palca<sup>2</sup> dar. Die ältesten Gesteine gehören zur Formación Mealla (Grupo Salta, Paläozän), die einen Teil der Antikline des Cordón de Siete Hermanos bildet, deren Achse ungefähr mit dem Verlauf des Río Yavi zusammenfällt. Flächenmäßig dominieren, ebenso wie in Yavi Chico, die Sedimentgesteine aus dem Plio-Pleistozän, die hauptsächlich in der aus Schotter und Sand zusammengesetzten fluvialen Fazies vertreten sind. Die Talablagerungen, die zur Terrasse I gehören, treten mit Mächtigkeiten auf, die normalerweise 10m überschreiten. Die Terrasse III ist auf der nördlichen Talseite der Quebrada de Cajas und z. T. auch im Mündungsbereich mit dem Río Yavi in einer Mächtigkeit bis zu 1,20m repräsentiert.

---

<sup>2</sup> La Palca bedeutet in Quechua „Mündung“, hier die Mündung der Quebrada de Cajas in den Río Yavi.

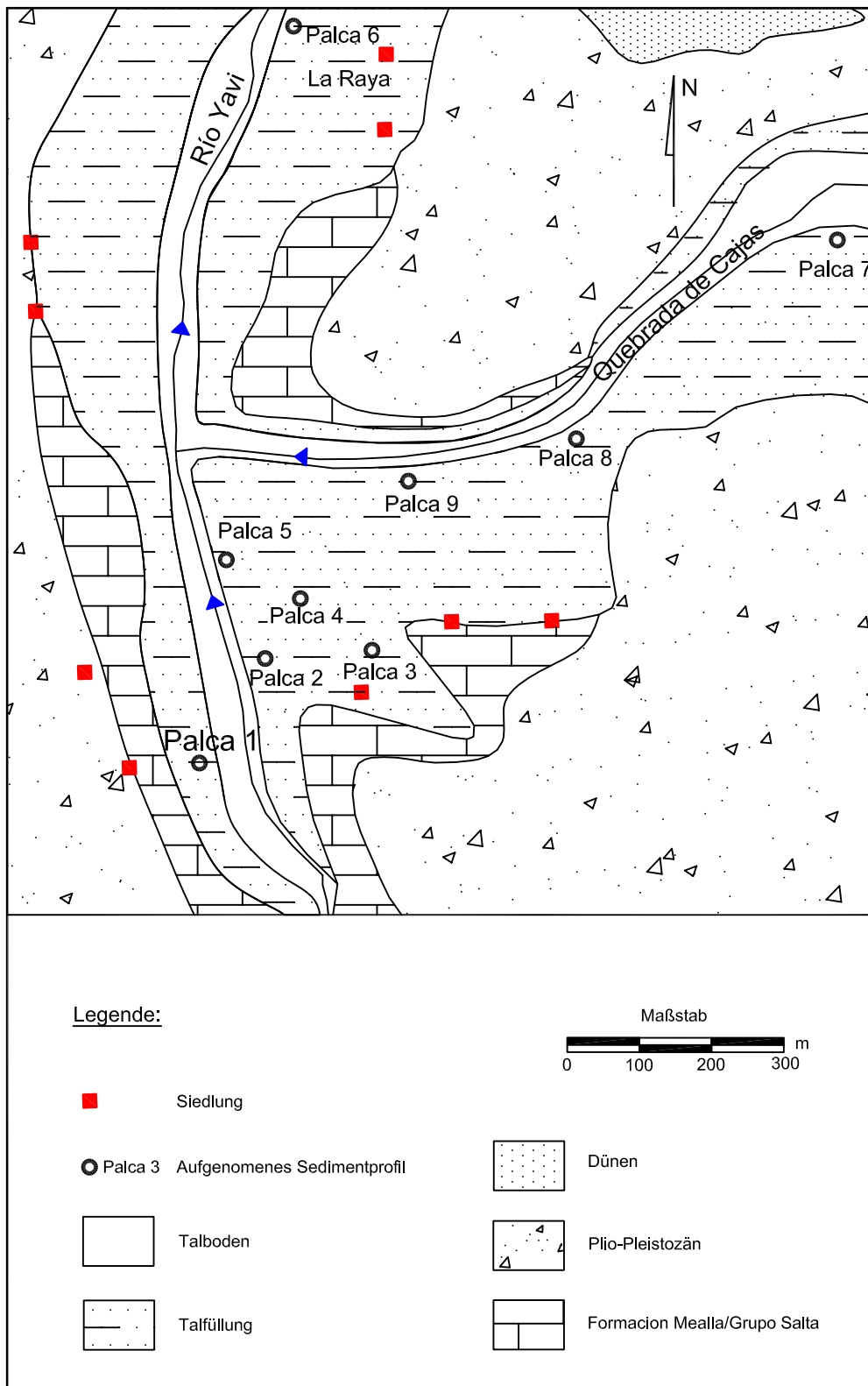


Abb. 12. Geologisch- geomorphologische Verhältnisse und Lokalisation von Untersuchungsprofilen in der Umgebung von La Palca

Die holozäne Talfüllung wurde in 9 Aufschlußprofilen analysiert (Abb.13). Die Profile Palca 1 und 2 werden überwiegend von Schuttsedimenten aufgebaut, die aus Linsen von Schutt und Sand bestehen. Im ersten Profil wurden mit der  $^{14}\text{C}$ -Methode organische Sedimente in 11,00m Profiltiefe auf  $5090\pm 70$  yr B.P. (Beta 104250) datiert, die zweite Datierung zeigte ein ähnliches Alter in 7,50m Profiltiefe:  $5240\pm 70$  yr B.P. (Beta 104266).

In der Quebrada de Cajas und nördlich ihres Zusammenflusses mit dem Río Yavi dominieren fluviale Sande im Wechsel mit tonigen humusreichen Sedimenten (Palca 6-9). Die Sequenzen in den Profilen ähneln sich sehr. Besonders charakteristisch ist das nahezu völlige Fehlen grober Sedimente sowie das massenweise Auftreten von Pflanzenresten, vorwiegend Cyperaceen, und von eisenverkrusteten Wurzelröhren, die besonders häufig in den Sandschichten zu finden sind. Die Basis dieser Sedimentfolgen, die als Mindestalter für diese Ablagerungen anzusehen ist, wurde im Profil Palca 9 auf  $4950\pm 200$  yr B.P. (Hv-20734), im Profil Palca 8 auf  $4790\pm 50$  yr B.P. (Beta 104255)  $^{14}\text{C}$ -datiert. Die Ablagerung dieser Feinsedimente erfolgte bis mindestens  $2380\pm 135$  yr B.P. (Hv-20733) nach einer  $^{14}\text{C}$ -Datierung von organischen Sedimenten in 1,40m Tiefe im Profil Palca 9 oder  $2260\pm 50$  yr B.P. (Beta 104256) nach einer  $^{14}\text{C}$ -Datierung von organischen Sedimenten in 1,80m Tiefe im Profil Palca 6.

Das Profil Palca 8 enthält diverse archäologische Funde, die eine wiederholte Besiedlung des Talbereichs in der zweiten Hälfte des Holozän belegen. Das 13,60m mächtige Profil weist drei zeitlich und stratigraphisch differenzierte archäologische Fundstellen auf. Die ältesten Funde entstammen der Período Arcaico und befinden sich 12,00m unter der Geländeoberfläche in einer Schicht aus Sand, dem feine Schotter und Holzkohlereste beigemischt sind. Unter den geborgenen Materialien sind schlecht erhaltene Fragmente von Camelidenknochen und eine Pfeilspitze bemerkenswert. Es wurde eine  $^{14}\text{C}$ -Datierung (AMS) an organischen Sedimenten der Schicht durchgeführt:  $4790\pm 50$  yr B.P. (Beta 104255). Zwischen 5,20m und 4,80m Profiltiefe befindet sich ein archäologischer Müllplatz in einer Schicht aus Mittelsand mit verstreutem Geröll und viel Holzkohle. Unter den archäologischen Funden sind Fragmente bemalter Keramik mit geometrischen Motiven, eine Pfeife und Camelidenknochen. Aufgrund der stratigraphischen Position der Funde, die der

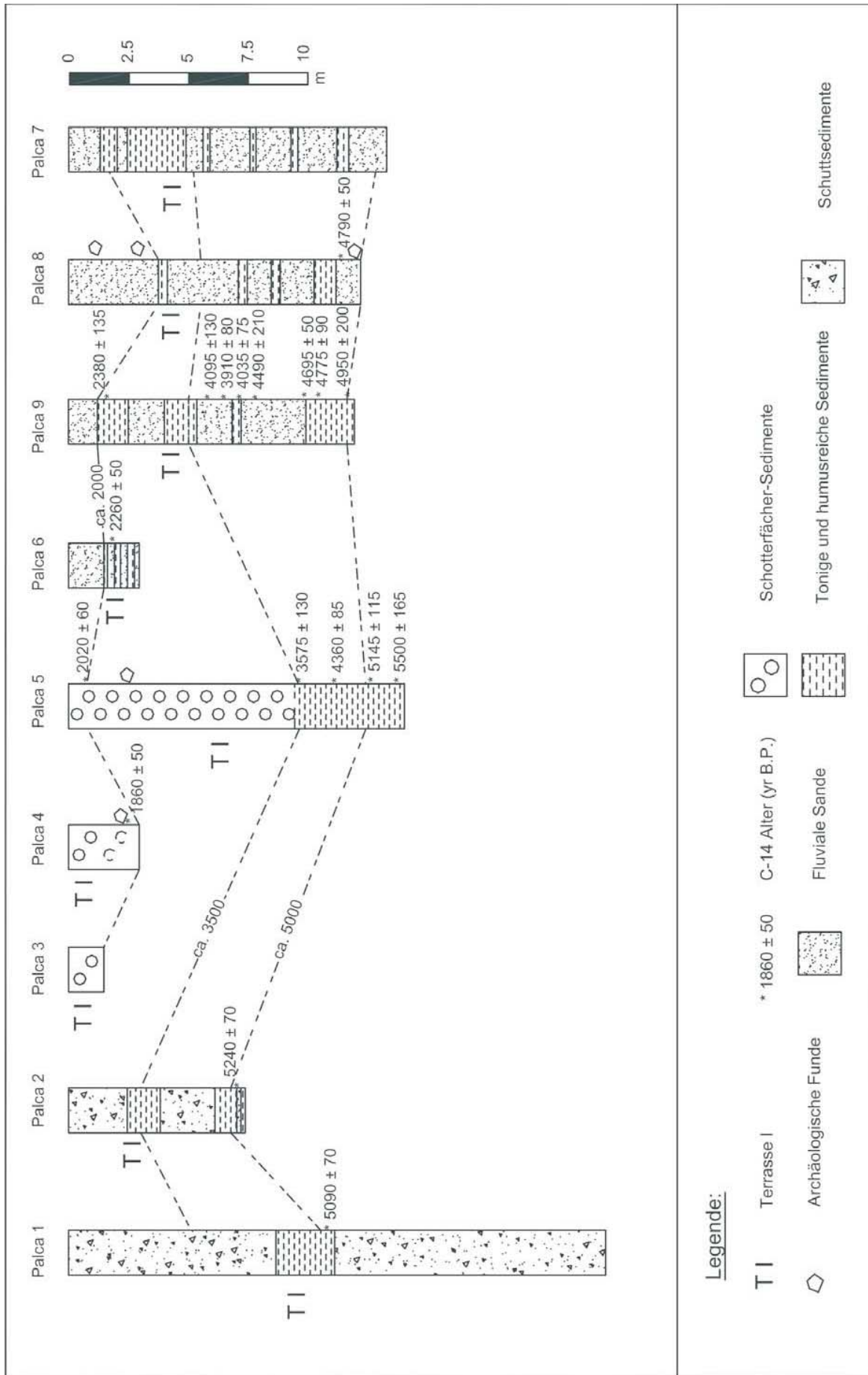


Abb. 13. Holozänstratigraphie bei La Palca

Phase La Quiaca Vieja der Yavi-Kultur entsprechen (Krapovickas 1987-88), wird ihnen ein Alter von angenähert 1800 yr B.P. zugeordnet. In 3,30m bis 1,80m Tiefe befindet sich eine dritte archäologische Fundstätte, die Reste einer Mauer, Keramik, Camelidenknochen und steinerne Artefakte enthält, welche mit Fundstücken der Kulturphase Yavi Chico (ca. 1050 - 450 yr B.P.) in Beziehung zu setzen sind.

Das Profil Palca 5 besteht in seinem unteren Drittel aus fein lamellierten dünnen Schichten aus hellem Sand und dunklen humosen Bändern mit Vegetationsresten, die sich rhythmisch abwechseln. Sie bilden Schichtpaare, die nicht immer gleichmächtig sind, aber normalerweise 4mm nicht überschreiten. Es handelt sich um zyklische Ablagerungssequenzen, die als Ergebnis eines mehr oder weniger regelmäßigen Wechsels (Jahresrhythmen?) von Regenzeiten und Trockenzeiten und den damit verbundenen insgesamt aber geringen (!) Abflussschwankungen gedeutet werden können. Die dunklen Schichten repräsentieren dabei die Trockenphasen, in denen sich i.w. nur eine im feuchten Talboden entwickelte dichte Pflanzendecke aus Cyperaceen und Juncaceen abbildet, während der Sandeintrag fehlt. Diese feingeschichteten Sedimente sind ab  $5500 \pm 165$  yr B.P. (Hv-20735) bis  $3575 \pm 130$  yr B.P. (Hv-21257) abgelagert worden. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff in diesem Profilabschnitt ist hoch (vgl. Anhang 5). Von ca. 5500 bis ca. 4100 yr B.P. werden maximale Werte von 6% bis 7% erreicht, die zwischen ca. 4100 und ca. 3575 yr B.P. auf Werte bis zu 14% anwachsen. Diese Feinsedimente werden in dem Profil von einem lokalen Schotterfächer überdeckt, welcher aus einem kleinen Bachzufluss des Río Yavi stammt, dem auch die Profile Palca 3 und 4 zuzuordnen sind. Die Schotter sind im Profil Palca 5 9,50m mächtig und weisen bei 1,20m unter der Geländeoberfläche ein  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $2020 \pm 60$  yr B.P. (Beta 104.251), im Profil Palca 4 in 2,50m Profiltiefe von  $1860 \pm 50$  yr B.P. (Beta 104.246) auf. Die Datierung im Profil Palca 4 gehört zu einem zwischen 3,20m und 2,30m unter der Geländeoberfläche liegenden archäologischen Müllplatz. Diese Schicht besitzt die Form einer Linse mit einer maximalen Dicke von 1m und einer Länge von etwa 15m. Die geborgenen Reste umfassen viel Holzkohle und Ofenasche, Keramik, Camelidenknochen, Steinwerkzeuge etc. Die Materialreste sowie die  $^{14}\text{C}$ -Datierung erlauben eine Einordnung dieser Stätte in die Anfangszeit der Phase La Quiaca Vieja der Yavi-Kultur.

In Abb. 14 sind die Sedimentationsraten der beiden Profile mit den meisten Altersdaten (Palca 9 und 5) dargestellt, die auf der Grundlage der  $^{14}\text{C}$ -Datierungen berechnet worden sind und den Zeitraum zwischen ca. 5500 und ca. 2000 yr B.P. umfassen. Es zeigt sich, dass die wichtigste Änderung im Sedimentationsablauf im Zeitraum zwischen 3500 und 4000 yr B.P. stattgefunden hat: Im Profil Palca 9 reduziert sich die Sedimentationsrate auf etwa die Hälfte. Aufschlußreich ist der Vergleich mit den Verhältnissen im Profil Palca 5, wo die Sedimentation von Feinsedimenten durch die Schotterablagerung eines lokalen Schwemmfächers abgelöst wird, wobei sich die Sedimentationsrate verdoppelt. Diese gegenläufige Entwicklung in den beiden Profilen ist als Hinweis auf eine Zunahme der Abflußintensität zu deuten, wahrscheinlich als Folge geänderter Niederschlagsverhältnisse. Palca 5 (ebenso Palca 3 und 4) gibt dabei offenbar nur die Reaktion eines untergeordneten lokalen kleinen Einzugsgebietes wieder.

Insgesamt lassen sich im Untersuchungsgebiet La Palca für die holozäne Landschaftsentwicklung in diesem Gebiet die folgenden Entwicklungstendenzen ableiten:

1. Die wahrscheinlich ältesten Sedimente sind Schuttsedimente, an der Basis von Profil Palca 1. Aufgrund ihrer stratigraphischen Stellung können sie mit ähnlichem Material vom nördlichen Talhang der Quebrada de Cajas, das ein Alter von  $8010 \pm 40$  yr B.P. erreicht, in Beziehung gesetzt werden (vgl. Kap. 5.2.1).
2. Zwischen  $>5500 \pm 165$  yr B.P. und ca.  $3575 \pm 130$  yr B.P. z.T. auch noch später werden Feinsedimente, fluviale Sande sowie tonige, humusreiche Schichten abgelagert. Zyklische Sedimentationssequenzen können als (jahreszeitliche?) Niederschlags- bzw. Abflußrhythmen interpretiert werden. Der Fossilgehalt in den Feinsedimenten spricht für Sedimentationsbedingungen eines feuchten Talbodenmilieus mit dichter Vegetationsdecke.
3. Zwischen  $3575 \pm 130$  yr B.P. und mindestens  $1860 \pm 50$  yr B.P. kommt es zur Ablagerung eines Schotterfächers in Palca 5, während in den meisten anderen Profilen (Palca 1, 2, 6, 7, 8 und 9) kein Faziesumbruch zu beobachten ist. Daraus kann man schließen, dass die Faziesänderung im Profil Palca 5 nur

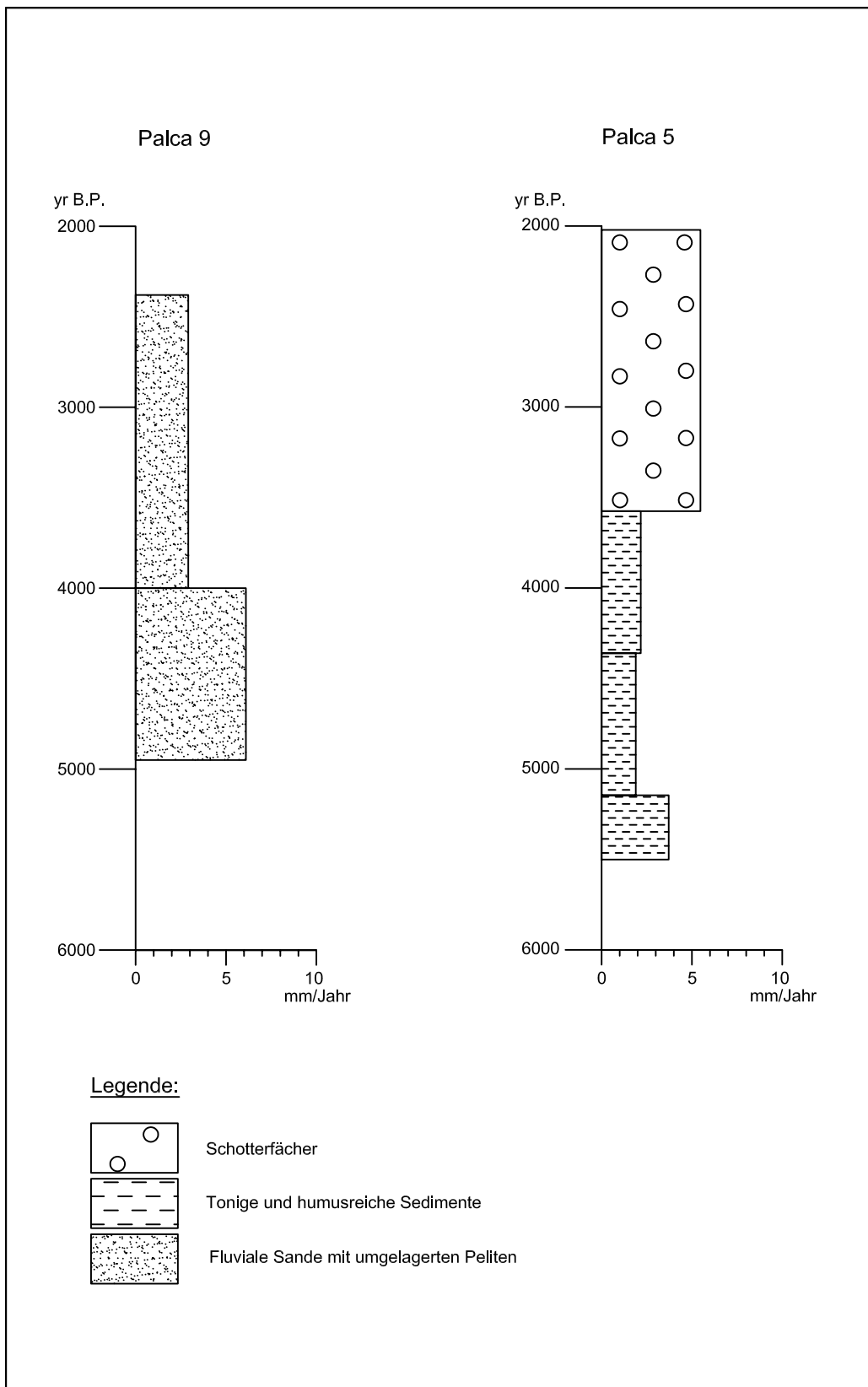


Abb. 14. Sedimentationsraten bei La Palca

lokale Bedeutung hat und dass die Rahmenbedingungen sich im Vergleich zu der Zeit zwischen  $5500 \pm 165$  yr B.P. und  $3575 \pm 130$  yr B.P. nicht grundsätzlich geändert haben.

4. In den Profilen Palca 3 und 4 setzt sich die Schotterablagerung über  $1860 \pm 50$  yr B.P. hinaus fort. Nach schätzungsweise rund 2000 yr B.P. nimmt die Sedimentation in den meisten Profilen (Palca 1, 2, 5, 6, 7, 9) ab. Ein genaueres Abschlußdatum der Akkumulationsphase der Terrasse ist nicht zu ermitteln. Die größere Profilmächtigkeit nach ca. 2000 yr B.P. in Palca 8 geht wahrscheinlich auf anthropogenen Einfluß zurück. Die archäologischen Müllplätze in La Palca entstammen dauerhaften Ansiedlungen, die seit mindestens  $1860 \pm 50$  yr B.P. Feldbau und Viehzucht betrieben. Mindestens ab dieser Zeit ist mit anthropogener Landschaftsveränderung zu rechnen, besonders bei der Vegetationszusammensetzung und -dichte in den Tälern als Folge der Beweidung und Bewässerung.
5. Innerhalb des letzten Jahrtausends ist die Einschneidung der Flussläufe und die Bildung der Terrasse III besonders bemerkenswert. Im Río Yavi nördlich der Mündung der Quebrada de Cajas und auf der nördlichen Talseite der Quebrada de Cajas sind die Talfüllungen größtenteils erodiert. Wie bei Yavi Chico fördert die bis heute andauernde Eintiefungstendenz die Bildung von Erosionsschluchten in der Terrasse I und Rutschungen auf die Terrasse III.

### **5.2.3 Untersuchungsgebiet 3, Yavi (vgl. Abb. 2)**

Die lokale geologische Situation (Abb. 15) wird durch das Auftreten der Sedimentgesteine der Grupo Santa Victoria (vorwiegend Tonschiefer) und der Grupo Salta (Kalksteine, Sandsteine und Konglomerate) charakterisiert, welche eine asymmetrische Antikline bilden, deren Achse ungefähr mit dem Richtungverlauf der Quebrada de Piscuno und des Río Yavi zusammenfällt. Außerdem treten plio-pleistozäne Sedimente auf, die in fluvialer Fazies überwiegend aus Sand und Schotter zusammengesetzt sind. Die holozänen Talverfüllungen treten von Süden nach Norden mit zunehmender Mächtigkeit zutage, von weniger als 2m in der Umgebung von Yavi bis zu 4-5m in der Umgebung von La Cueva.



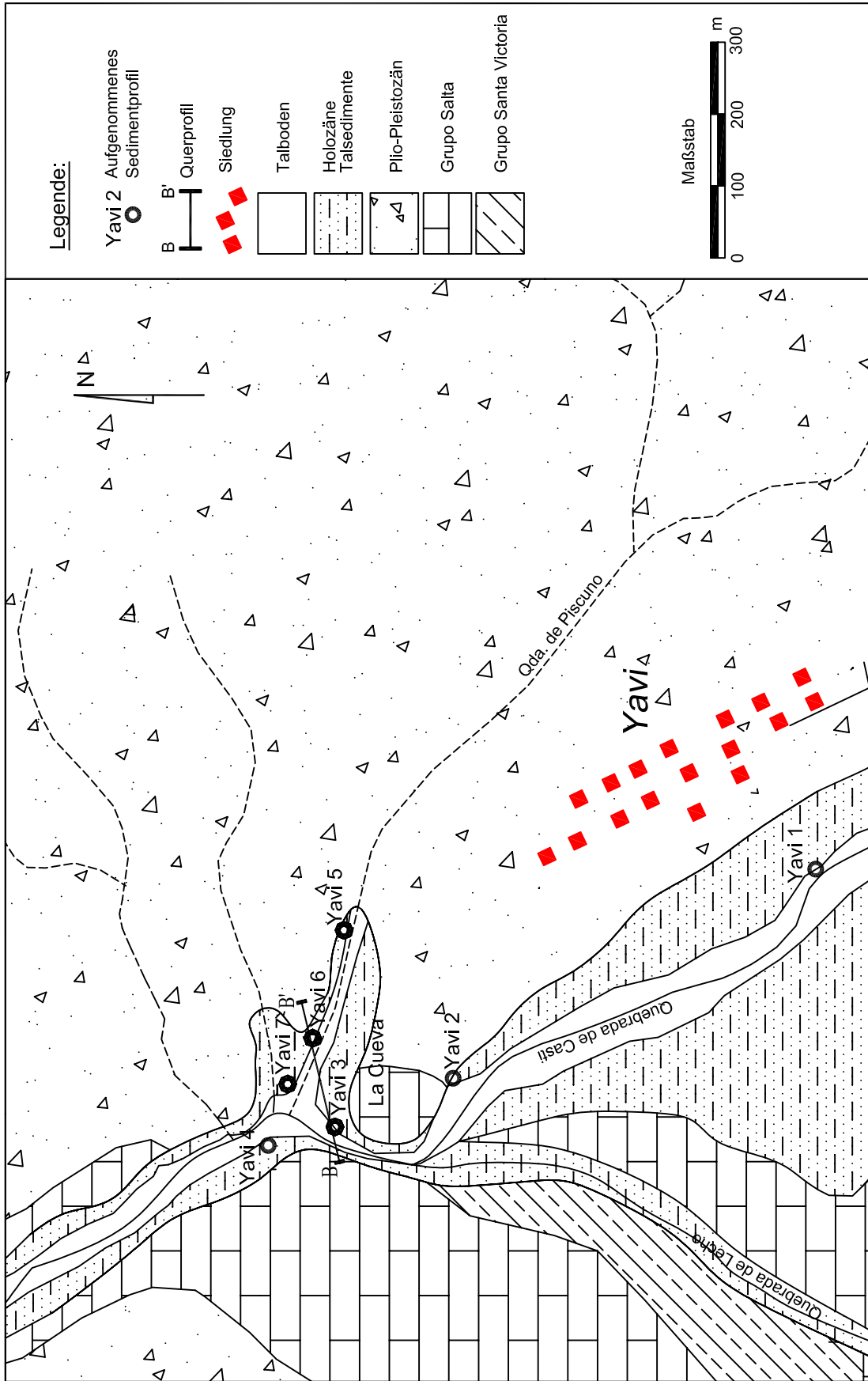


Abb. 15. Geologisch-geomorphologische Verhältnisse und Lokalisation von Untersuchungsprofilen in der Umgebung von Yavi

Die archäologische Fundstelle La Cueva (vgl. Abb. 15) ist bis jetzt die einzige Stelle, an der man den Übergang Pleistozän-Holozän belegen kann. Sie wurde von Gruppen von Jägern und Sammlern während des Precerámico Inferior besiedelt. J.A. Kulemeyer (1998) erhielt die folgenden  $^{14}\text{C}$ -Datierungen:  $10450 \pm 55$  yr B.P.;  $9790 \pm 100$  yr B.P.;  $8420 \pm 70$  yr B.P. und  $8320 \pm 260$  yr B.P. Es handelte sich um in Gruppen lebende Nomaden, die ein breites faunistisches Spektrum bejagten (z.B. Cameliden und Nagetiere) und deren besondere Kulturaktivität u.a. darin bestand, daß sie kreidezeitliche anstehende silifizierte Kalksteine und Quarzite (Grupo Salta) für die Herstellung steinerner Artefakte intensiv nutzten (Kulemeyer et al. 1989; J.J. Kulemeyer 1992; Kulemeyer & López 1995-96; Laguna, 1996; J.A. Kulemeyer 1998; J. A. Kulemeyer et al. 1999).

In Abb. 16 sind die faziellen Verhältnisse der 7 in diesem Bereich angelegten Holozänprofile wiedergegeben. Die ältesten Talsedimente sind fluviale Sande mit schluffig-toniger Einlagerung, die sich an der Basis von Profil Yavi 3 befinden. Es wurden zwei  $^{14}\text{C}$ -Datierungen vorgenommen:  $7860 \pm 220$  bei 6,40 m Profiltiefe (Hv-20732) und  $7995 \pm 130$  bei 5,85m Profiltiefe (Hv-20731). Die reverse Altersabfolge kann bei dem geringen Profilabstand wahrscheinlich vernachlässigt werden. Humose feinkörnige Sedimente dieser Art setzen sich im Profil nach oben fort, wobei sich die Profile 3, 4 und 7 weitgehend entsprechen. Kennzeichnend ist der Wechsel von tonig-schluffigen und sandigen humusreichen Ablagerungen, die viele Pflanzenreste, darunter eiseninkrustierte Wurzelröhren enthalten. Vor allem im Profil Yavi 3 zeichnet sich auch eine rhythmische Feinschichtung ab, die auch hier als Ergebnis einer wahrscheinlich saisonal wechselnden aber insgesamt geringen Wasserführung zu deuten ist. Dem Sedimentcharakter der Terrasse I entsprechen die gewonnenen Altersdaten auch in archäologischer Hinsicht. Besonders viele Steinartefakte, überwiegend Abschlüge, die denen an den Hängen und im Hangfußbereich der Umgebung ähneln, enthält Yavi 4. An der Basis der Schichtfolge wurde hier ein  $^{14}\text{C}$ -Alter (AMS) von  $6990 \pm 50$  yr B.P. (Beta 104.265) ermittelt. Bei den archäologischen Funden in den Profilen Yavi 6 und Yavi 7 handelt es sich um einzelne Steinwerkzeuge, die der Periode Arcaico zugeordnet werden können, d.h. dem Zeitraum von 6000 bis 3500/3000 yr B. P. Zum Sedimentbild der Terrasse I

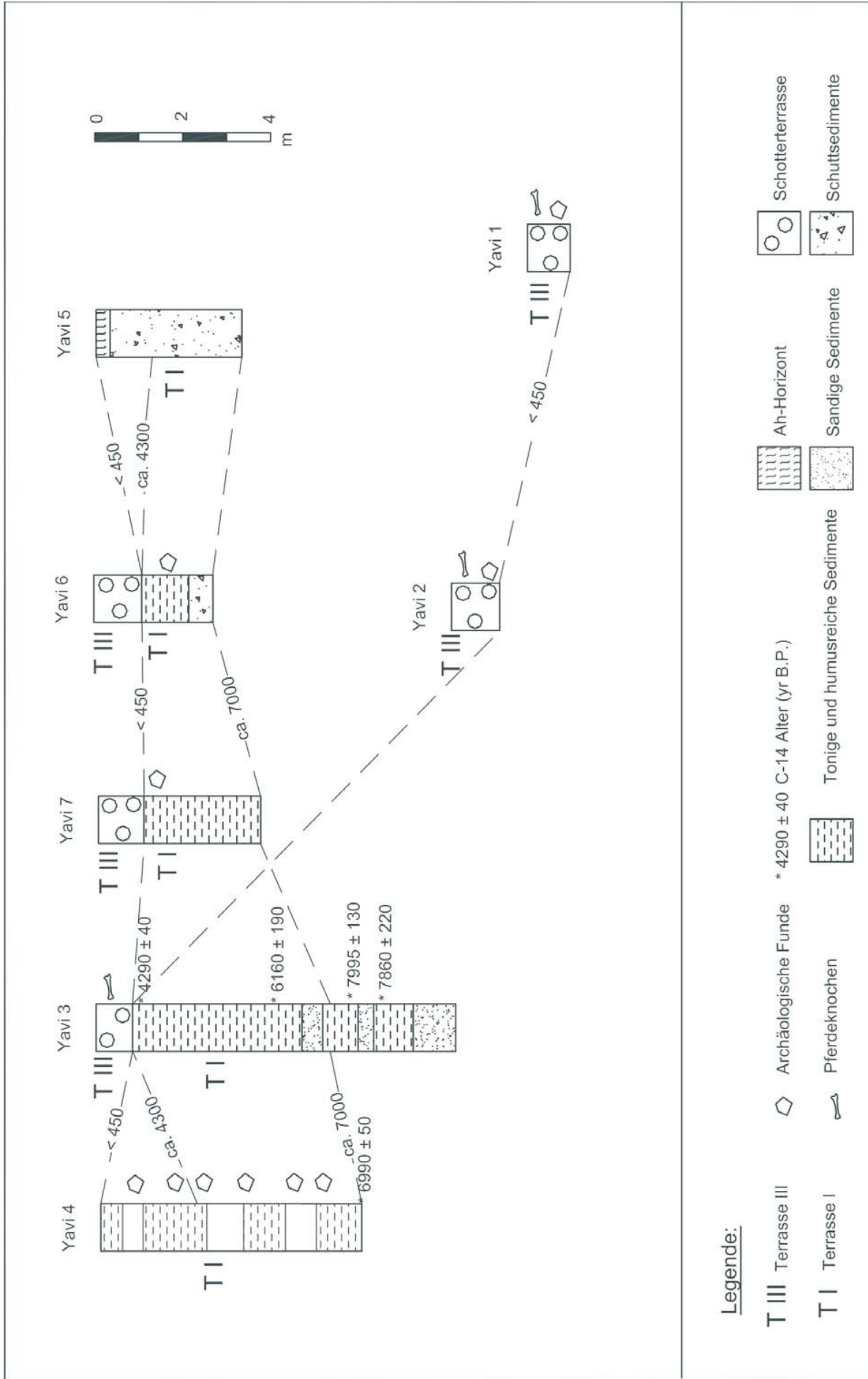


Abb. 16. Holozänstratigraphie bei Yavi

passen ebenfalls, je nach der Lage des Profils, Schuttsedimente, wie sie in Yavi 6 und vor allem im Profil Yavi 5 auftreten.

Fluviale Schotter mit Knochen von Pferden, Kühen und anderen, nicht bestimmbar Knochenfragmenten, charakterisieren die junge Terrasse III (Profile Yavi 1, 2, 3, 6 und 7). Auf dem Gelände des Fußballplatzes des Dorfes Yavi findet sich eine Ansammlung alter Knochen, die deutliche Brandspuren aufweisen. Bei der Knochenansammlung, die einen Raum von 10m Länge, 5m Breite und 1,5m Höhe einnimmt, soll es sich um Reste einer Seifenproduktion aus dem 18. Jahrhundert handeln (Echenique, freundl. mündl. Mitt.). Interessanterweise lassen sich die gebrannten Knochen fluvial transportiert flußabwärts weiterverfolgen, wo sie im Profil Yavi 3 in der Terrasse III als Gerölle auftreten.

Profil Yavi 5 wird durch eine 25cm mächtige Humusanreicherung abgeschlossen. Sie entspricht sehr ähnlichen Bildungen im Gebiet Casti, die dort auf maximal  $1860 \pm 50$  yr B.P. (Beta 104.254, Profil Casti 1) datiert werden konnten.

Das schematische Querprofil B-B' der Abb. 17 schneidet das Relief und die Sedimente in einem angenähert Ost-West verlaufenden Profil, das den Río Yavi und seinen Zufluss, die Quebrada de Piscuno, quert. Das präholozäne Gestein bilden die kretazischen Sandsteine der Formación Lecho und die plio-pleistozänen Sedimente. Die sedimentären Lagerungsverhältnisse der holozänen Substrate sind in beiden Flussläufen gleich. In den unteren Bereichen der Talhänge treten Schuttsedimente auf, in der Talmitte wurden fluviale tonige und humusreiche Sedimente mit untergeordneten Sandlinsen, akkumuliert. Die gestrichelte Linie rekonstruiert das maximale Sedimentationsniveau, das vor der jungholozänen Flusseinschneidungsphase erreicht wurde. Diese Taleintiefung mit ihrer Hauptphase in historischer Zeit dauert bis in die Gegenwart an. Sie wurde durch eine kurze Akkumulationsepisode der Terrasse III (Mächtigkeit: 0,50m - 2m) unterbrochen.

Die Untersuchungsergebnisse im Gebiet Yavi lassen sich wie folgt zusammenfassen:

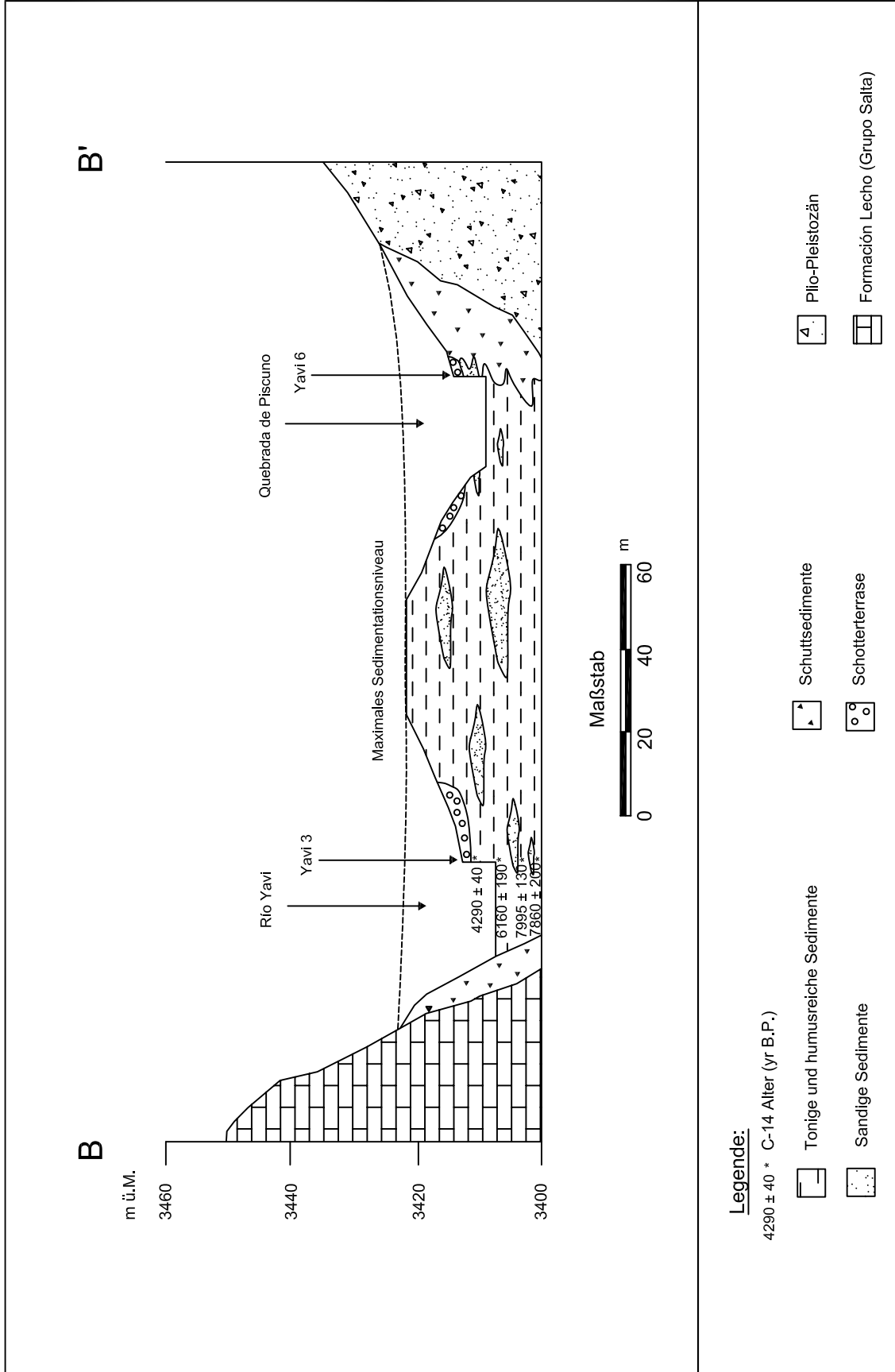


Abb. 17. Schematisches Querprofil des Río Yavi und der Quebrada de Piscuno bei Yavi (vgl. Abb. 15 u. 16)

1. Es gibt wie in den Untersuchungsgebieten Yavi Chico und La Palca eine überwiegend aus feinen, tonig-schluffigen und sandigen humosen Sedimenten und Schuttsedimenten bestehende Akkumulation (Profile Yavi 3 - Yavi 7), die die Terrasse I bildet. Die Akkumulationsphase dürfte vor mindestens 8000 yr B.P. begonnen und nach ca. 1860 yr B.P. geendet haben. Der Sedimentstapel ist recht einheitlich ausgebildet und läßt eine nur geringe lithologische Variation erkennen, so daß angenommen werden muß, daß sich während dieses Sedimentationszeitraumes keine grundlegende Umweltveränderung ereignet hat. Ähnlich wie bei Yavi Chico und La Palca erfolgte die Ablagerung der Feinsedimente im Zusammenhang mit einer dichten Vegetationsdecke im Flußbett. Die vielen Vegetationsreste und ein reichhaltiger Pollenbestand (Lupo 1998, Kulemeyer und Lupo, 1998) weisen darauf hin.
2. Kräftige Tiefenerosion charakterisiert die historische Zeit, wobei die Taleintiefung wahrscheinlich bereits in vorspanischer Zeit eingesetzt hat. Die Terrasse III ist das Ergebnis einer kurzzeitigen, untergeordneten Ablagerung. Diese Akkumulationsepisode läßt sich bei Yavi auf den Zeitraum der letzten 300 Jahre einengen. Die Einschneidung des Flussbettes ist häufig mit kleinen Rutschungen verbunden, wie man sie in der Quebrada de Lecho nahe beim Zusammenfluss mit dem Río Yavi beobachten kann.

#### **5.2.4 Untersuchungsgebiet 4, Casti (vgl. Abb. 2)**

Die geologisch-geomorphologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet Casti zeigt die Abb. 18. Die Quebrada de Casti ist in plio-pleistozäne Sedimente aus Sanden und zwischenlagernden Schotterlinsen eingeschnitten, die am Talhang in einer Mächtigkeit von 30-50m ausstreichen. Die in das Tal eingelagerten holozänen Sedimente treten mit einer Mächtigkeit von maximal 12m zutage. Auf der Ostseite des Tales ist die Punahochfläche wie in anderen Untersuchungsgebieten mit Dünen bedeckt, die z.T. durch Vegetation befestigt sind und dem spätglazialen Paläoboden aufliegen. Die aufgenommene Holozänstratigraphie ist in Abb. 19 in 7 Profilen dokumentiert.

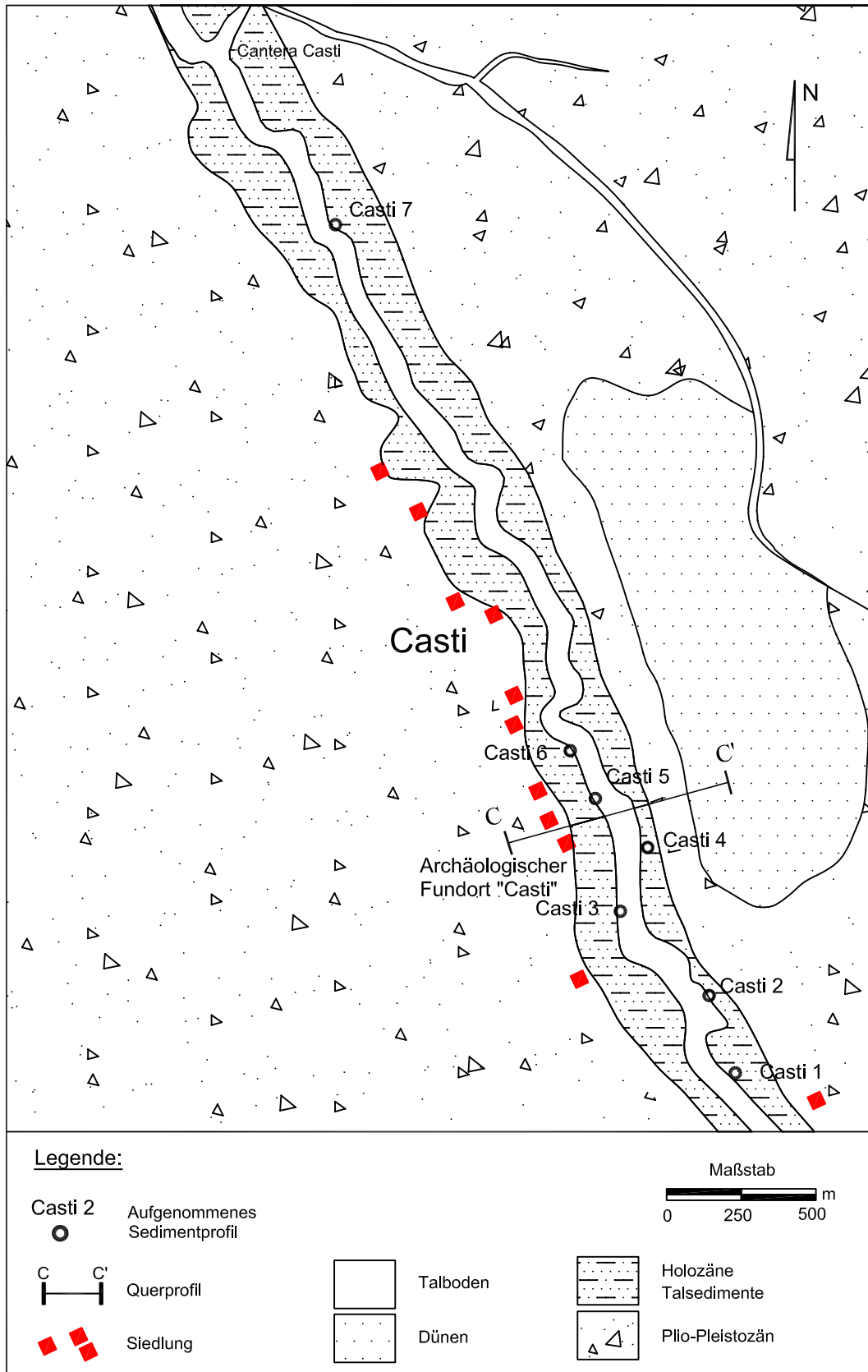


Abb. 18. Geologisch- geomorphologische Verhältnisse und Lokalisation von Untersuchungsprofilen in der Umgebung von Casti

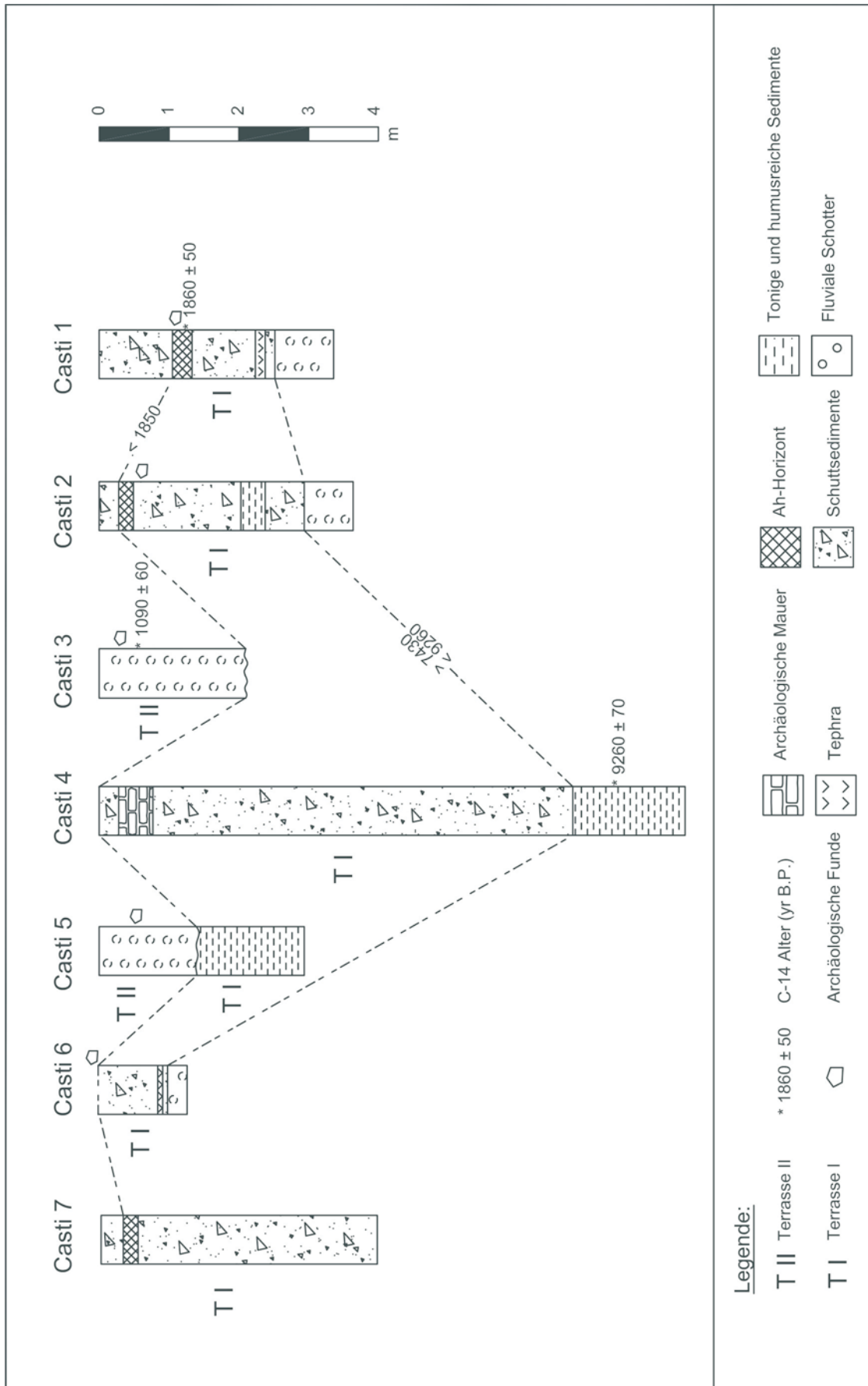


Abb. 19. Holozänstratigraphie bei Casti



An verschiedenen Stellen ist der untere, frühholozäne Teil der Holozänsedimente der Terrasse I aufgeschlossen. Es handelt sich um fluviale Schotter (Casti 1, 2, 6), und um humose Feinsedimente mit einem  $^{14}\text{C}$ -Alter  $9260 \pm 70$  yr B.P. (Beta 104253) im Profil Casti 4. Die zeitliche Korrelation dieser Sedimente ergibt sich aus der stratigraphischen Position im Profil und aus dem stratigraphischen Verbund in horizontaler Richtung. Als Leithorizonte können auch ein Tephraaband und eine markante fossile Humusanreicherung dienen. Die frühholozäne Akkumulation von Schottern ist im Gegensatz zur darauf folgenden mittelholozänen Dominanz von Feinsedimenten als Indiz für einen höheren Abfluß mit höherer Strömungsgeschwindigkeit und Transportkraft zu werten. Die gleichzeitig abgelagerten frühholozänen Feinsedimente entsprechen damit einem Fazieswechsel im Uferbereich (Altwasserbereich?) mit geringer Fließgeschwindigkeit des frühholozänen Flusses. Die Abgrenzung gegen die mittelholozänen Ablagerungen entspricht eher einem Übergang, der im Zeitraum zwischen  $9260 \pm 70$  yr B.P. (Profil Casti 4) und  $7430 \pm 110$  yr B.P. (Beta 104.252, Profil Chalhualmayoc 2) zu suchen ist. Solange keine weiteren Altersbestimmungen vorliegen, soll die Abgrenzung tentativ mit dem mittleren Wert von 8300 yr B.P. verbunden werden. Diese Zahl stimmt auch mit einem wichtigen archäologischen Alter überein, nämlich der Aufgabe der frühholozänen Besiedlungstelle „La Cueva de Yavi“, die mit einer  $^{14}\text{C}$ -Datierung von  $8320 \pm 260$  yr B.P. (J. A. Kulemeyer 1998) belegt ist.

Über den frühholozänen Sedimenten folgen z.T. Schuttsedimente, z.T. humose Feinmaterialsichten, Sedimentabfolgen, die mit den mittelholozänen Ablagerungen in den anderen Untersuchungsgebieten übereinstimmen. In den Profilen Casti 1 und Casti 6 tritt das erwähnte Tephraaband im untersten Teil der Schuttsedimente auf. Nach der stratigraphischen Position kann es auf ein Alter von etwa 8000 Jahren geschätzt werden.

In den späteren holozänen Ablagerungen ist ein bis zu 25 cm mächtiger fossiler Humushorizont besonders auffallend, der sich in der Terrasse I ungestört stellenweise über mehr als 1km durchverfolgen läßt (Casti 1, 2, 7). Es handelt sich um ein autochthones anmooriges Sediment bzw. um eine Art Auenboden, der auf einen lokalen hohen Grundwasserspiegelstand schließen läßt. Die ungestörte Entwicklung zeigt außerdem, daß gleichzeitig die Zufuhr von Schuttsedimenten von

den angrenzenden Hängen unterbrochen war, d.h. daß Hangstabilität herrschte. Eine  $^{14}\text{C}$ -Probe im Profil Casti 1 ergab ein Alter von  $1860 \pm 50$  (Beta 104.245). Der fAh-Horizont sowohl im Profil Casti 1 als auch Casti 2 enthält Camelidenknochen, Keramikreste und Steinartefakte, die sich im Habitus gleichen. Im Profil Casti 4 finden sich ca. 0,50m unter Geländeoberfläche Mauerreste ohne Begleitfunde. Sie werden in die Período Temprano gestellt, d.h. in die Zeit zwischen ca. 3500 und 1250 yr B.P. (L. Laguna mündl. Mitt.).

Nach  $1860 \pm 50$  yr B.P. und vor  $1090 \pm 60$  yr B.P. setzen die Abtragung von den Talhängen wieder ein (Profile Casti 1, 2, 4 u. 7) und die fluviale Ablagerung der Schuttsedimente. Die Akkumulation der Terrasse I wird durch die im Prinzip bis heute andauernde Erosionsphase beendet. Als lediglich kurzzeitige Akkumulationsepisode innerhalb dieser Erosionsphase tritt in den Profilen Casti 3 und Casti 5 ein jüngerer Sedimentkörper aus fluvialen Schottern und Sanden auf, der sich im Sedimentcharakter und durch eine Erosionsdiskordanz von den mittelholozänen Schichten im Liegenden deutlich abhebt. Es handelt sich hier um die Terrasse II, deren Altersstellung sich aus einer Radiokarbondatierung und vor allem aus archäologischen Indizien ergibt. Die archäologische Fundstelle in Casti 3 in einer 50 cm mächtigen Schotterschicht, 40cm unter der Geländeroberfläche, stellt einen ehemaligen Abfallplatz dar. Es werden u.a. Keramikreste, Pfeilspitzen, Steinschufeln und Camelidenknochen geborgen. Diese Materialien wurden sehr wahrscheinlich durch die Ureinwohner des archäologischen Ortes Casti akkumuliert, dessen Ruinen sich annähernd 100m westlich von Casti 3 am Rand der Terrasse befinden. Aus dem Kollagen von Camelidenknochen ergibt sich ein  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $1090 \pm 60$  yr B.P. (Beta 104.260). In Übereinstimmung mit dieser Datierung steht die Beobachtung, daß die im Profil vorgefundenen Reste kulturell der Fundstelle Antigal de Yavi Chico entsprechen. Im Profil Casti 5 fanden sich umgelagerte Keramikreste, fluvial zugerundet, die wahrscheinlich aus der archäologischen Ansiedlung Casti stammen.

Das Querprofil Abb. 20 verdeutlicht die geomorphologischen Verhältnisse in der Quebrada de Casti mit einer Asymmetrie des Talquerprofils und der holozänen Sedimentation. Am steileren nordöstlichen Hang treten die Schuttsedimente auf, im flacheren Relief der SW-Seite dominieren die Feinsedimente, z.T. überdeckt durch

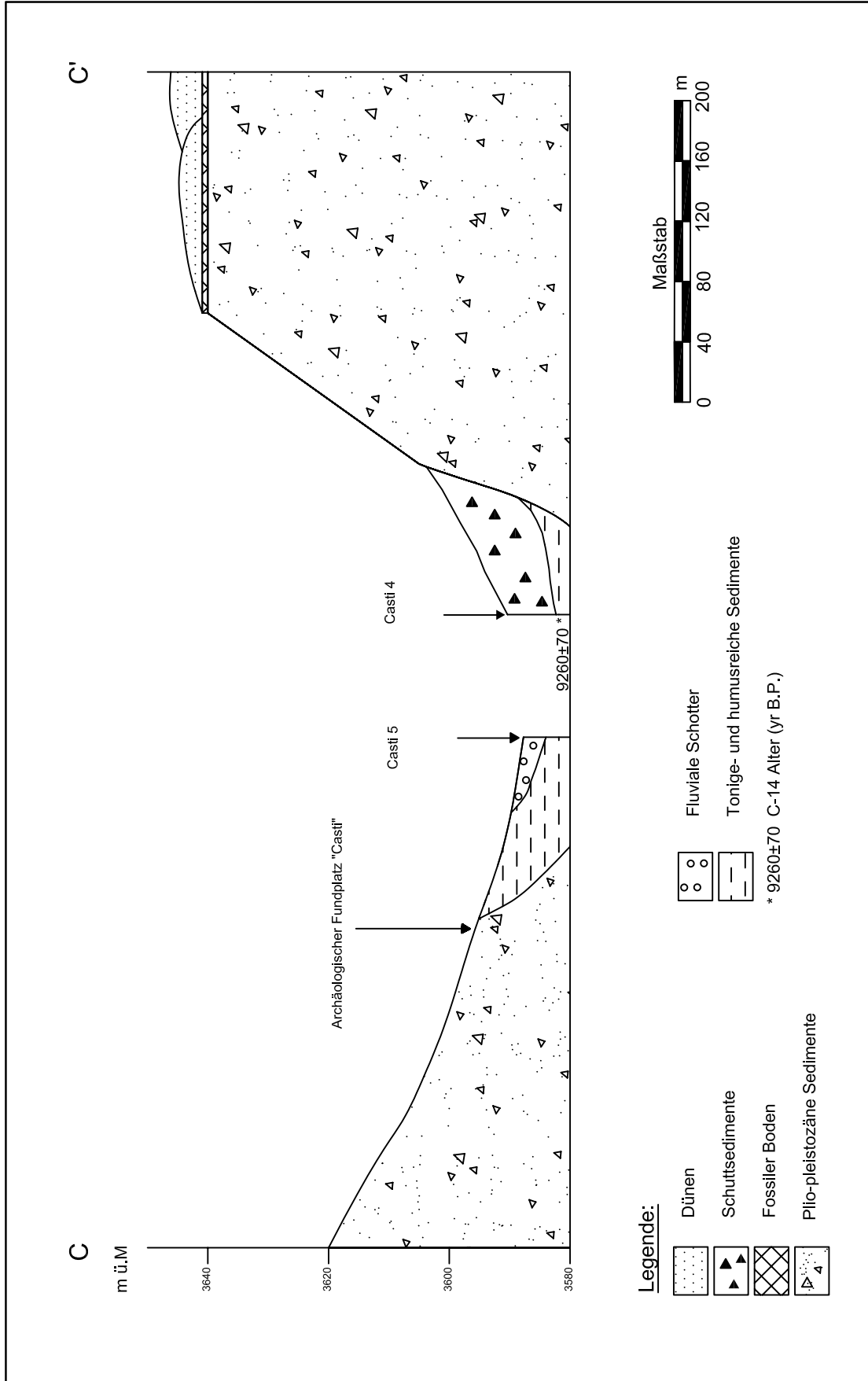


Abb. 20. Schematisches Querprofil der Quebrada de Casti (Vgl. Abb. 18 und 19)

die Schotter der Terrasse II. Die Verhältnisse ähneln sehr den in Yavi Chico beobachteten (vgl. Abb. 10a), mit der Ausnahme, daß hier nicht die historische Terrasse III (max. 450 yr B.P.), sondern die ältere Terrasse II (2000/1500 – 1090 ± 60 yr B.P.) vertreten ist.

Zusammenfassend sind für das Untersuchungsgebiet Casti die folgenden Punkte hervorzuheben:

1. Das Frühholozän ist eine Akkumulationsphase, in der Schotter, aber auch humose Feinsedimente zur Ablagerung kamen. Deshalb ist die Abgrenzung gegenüber den folgenden mittelholozänen Sedimenten erwartungsgemäß nicht scharf. Der Übergang wird nach stratigraphischen und archäologischen Gesichtspunkten um 8300 yr B.P. angesetzt. Der frühholozäne Sedimentcharakter kann –im Einklang mit anderen, noch zu erörternden paläoklimatischen Ergebnissen gegenüber den mittelholozänen Verhältnissen als fluviale Ablagerung bei stärkerem Abfluß und unter insgesamt humideren Bedingungen gedeutet werden.
2. Die folgenden mittelholozänen Ablagerungen aus Schuttsedimenten und humosen feinkörnigen Schichten mit reichlicher Pflanzenfossilführung entsprechen ganz den anderen Untersuchungsgebieten.
3. Aus einem weit verbreiteten, ungestörten fossilen Humushorizont im oberen Abschnitt der Terrasse I ist auf einen besonders hohen Grundwasserspiegel und auf Hangstabilität zu schließen. Eine  $^{14}\text{C}$ -Datierung mit  $1860 \pm 50$  yr B.P. (Beta 104.245) entspricht dem Alter von Paläoböden mit  $1950 \pm 60$  yr B.P. und  $1690 \pm 50$  yr B.P. in der Sierra de Santa Victoria (Zipprich 1998).
4. Nach der Bildung dieses markanten Humushorizontes setzt die jungholozäne Erosionsphase ein, unterbrochen durch eine kurzzeitige Akkumulation, die die Terrasse II ergibt. Die Zerschneidung der Terrasse I sowie die Bildung der Terrasse II sind auf einen deutlichen Anstieg des Transport- und Abtragungspotentials des Río Casti zurückzuführen, dessen Ursachen in Kapitel 6 diskutiert werden.

### 5.2.5 Untersuchungsgebiet 5, Chalhualmayoc (vgl. Abb. 2)

Im Untersuchungsgebiet Chalhualmayoc dominieren Festgesteine aus dem unteren Paläozoikum (Abb. 21). Die ältesten Gesteine sind grau-weißliche Quarzite der Grupo Mesón (oberes Kambrium), die im Ostteil der Region vorherrschen. Durch eine Aufschiebung abgetrennt, treten im zentralen und westlichen Teil graue, braune und grüne Tonschiefer der Grupo Santa Victoria (Unteres Ordovizium) auf. Im Süden der Ortschaft Chalhualmayoc finden sich kleine Ausbisse der plio-pleistozänen Sedimente. Junge quartäre Sedimente sind vertreten als pleistozäne ausgedehnte glazifluviale Akkumulationen in der Quebrada de Casti und der Nebentäler sowie als holozäne äolische Akkumulationen und als holozäne Talverfüllungen.

Es gibt Anzeichen einer prähispanischen Besiedlung in Chalhualmayoc und seiner näheren Umgebung, die auf oberflächlichen archäologischen Funden basieren. Steinerner Werkzeuge aus verschiedenem Material fallen besonders auf. Ein Teil der Funde, u.a. dreieckige Pfeilspitzen wird in die Período Precerámico (10800 bis 3500 yr B.P.) gestellt, der Rest dürfte der Período Temprano (3500 bis 1250 yr B.P.) angehören.

In der Umgebung der Lokalität Chalhualmayoc und bei dem benachbarten Gehöft Saladillo wurden zwei Sedimentprofile der Terrasse I aufgenommen (Abb. 22, Chalhualmayoc 1 und 2). Das erste ist repräsentativ für die Entwicklung im Hauptfluss der Quebrada de Casti, während das zweite die Entwicklung im Arroyo Saladillo, einem kleinen Nebental wiedergibt. Die beiden Profile können folgendermaßen interpretiert und korreliert werden:

1. Die Schotter im liegenden Teil der Profile sind nach dem Sedimentcharakter und nach der stratigraphischen Position in das Frühholozän einzustufen. Entsprechende Schotter in der nahegelegenen Lokalität Cholacor wurden mit einem Minimalalter von  $8140 \pm 50$  yr B.P., gleichermaßen ins Frühholozän gestellt (Zipprich, 1998).

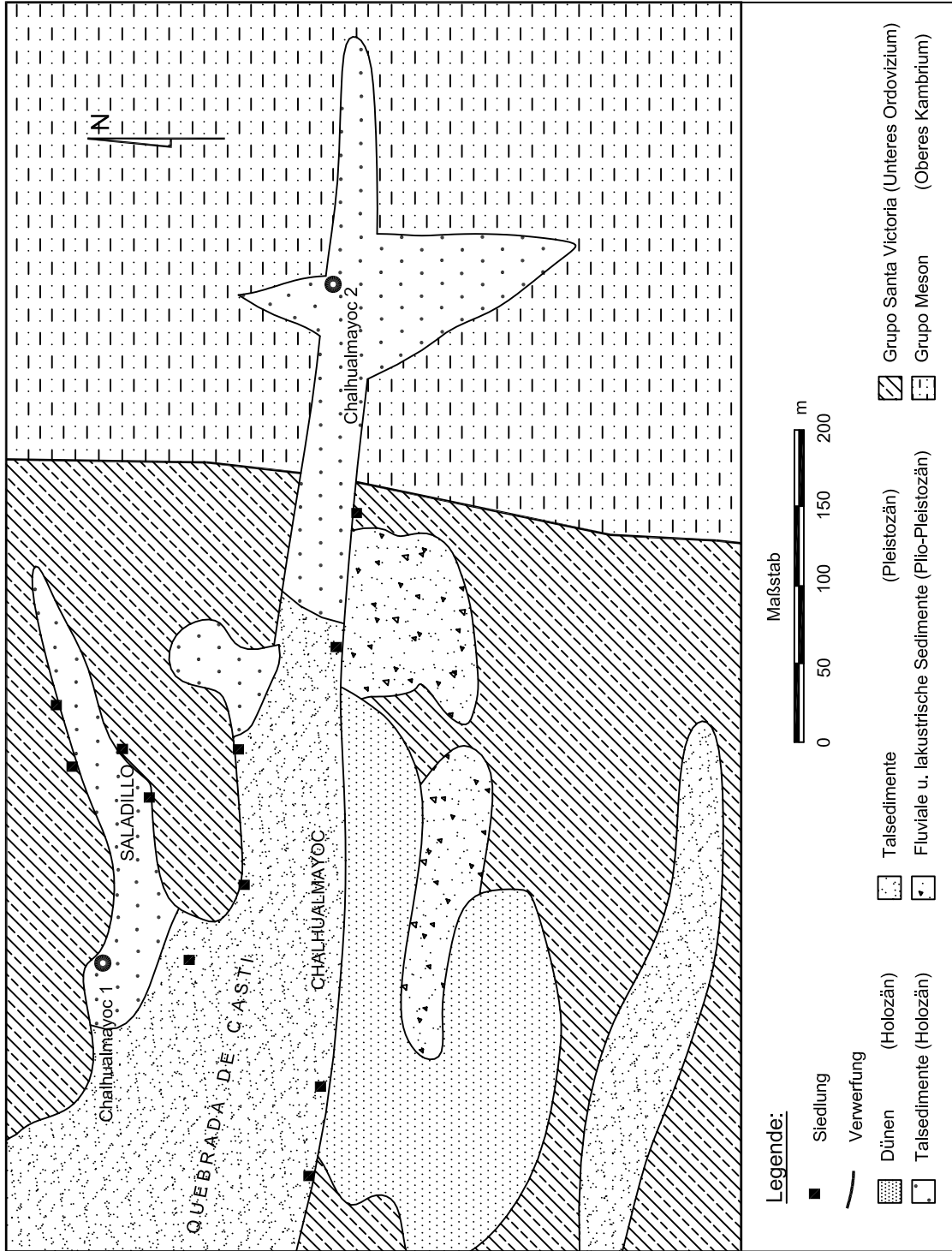


Abb. 21. Geologisch- geomorphologische Verhältnisse und Lokalisation von Untersuchungsprofilen in der Umgebung von Chalhualmayoc

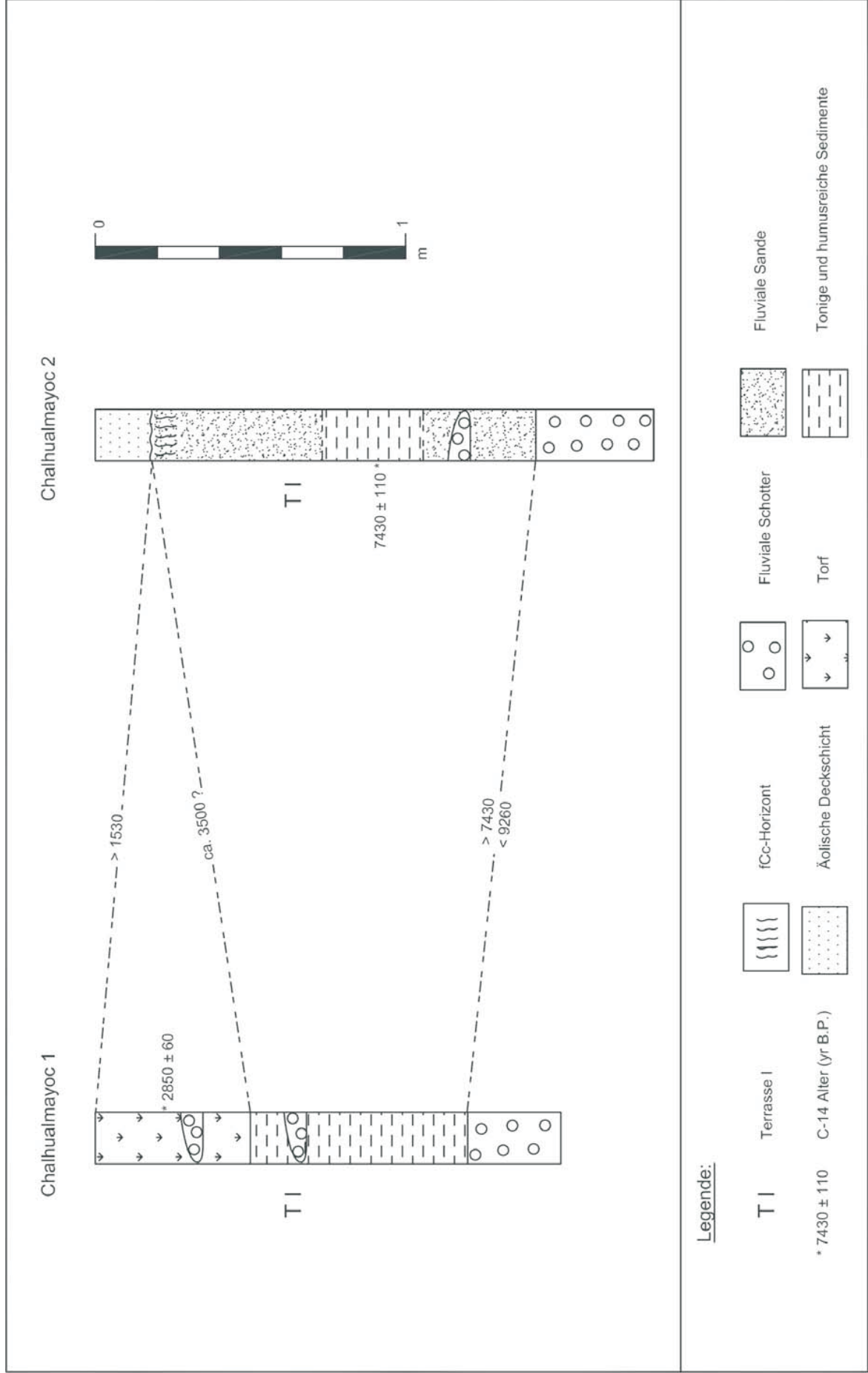


Abb. 22. Holozänstratigraphie bei Chalhualmayoc

2. Den mittleren Teil der Profile bilden die in allen Untersuchungsgebieten auftretenden Feinmaterialserien des Mittelholozäns. Charakteristisch sind auch in diesem Fall humose sandige oder tonig-schluffige Schichten, Kennzeichen für einen insgesamt geringen aber perennierenden Abfluß und für eine dichte synsedimentäre Pflanzendecke in einem feuchten Talboden. Zwischengeschaltete Feinkieslinsen weisen auf gelegentliche Abflußschwankungen hin. Eine  $^{14}\text{C}$ -Datierung einer humosen Schicht in Chalhualmayoc 2 ergab ein Alter von  $7430 \pm 110$  yr B.P. (Beta 104.252).
  
3. Chalhualmayoc 1 wird von einer dunkelbraunen, rund 50cm mächtigen Torflage abgeschlossen, die vor allem aus Cyperaceen-Resten besteht und Feinkieslinsen enthält. Die Alterstellung dieses Torfes ist durch vier  $^{14}\text{C}$ -Datierungen besonders gut belegt. Von der Basis zum Top ergaben sich folgende Werte  $2930 \pm 50$  yr B.P. (Zipprich 1998, Basis-Probe),  $2980 \pm 60$  yr B.P. (Zipprich 1998, Basis-Probe),  $2850 \pm 60$  yr B.P. (Beta 104.264),  $1530 \pm 60$  yr B.P. (Zipprich 1998, Top-Probe). Die Torfbildung umfaßt also einen Zeitraum von rund 3000 yr B.P. - 1500 yr B.P. mit ganzjährig ausreichender Feuchte im Talboden. Der Sedimenteintrag war zu dieser Zeit insgesamt gering, gelegentlich kam es im Zusammenhang mit stärkeren Abfluß- bzw. Durchflußvorgängen zur Ablagerung der Kieslinsen. Chalhualmayoc 2 schließt mit einer äolischen Deckschicht, die einen Kalkanreicherungs-horizont in fluvialen Sanden diskordant überlagert. Letzterer stellt den Rest eines gekappten fossilen Bodens dar, der nicht datiert wurde und deshalb nach Analogie versuchsweise zeitlich eingeordnet werden kann. Eine fossile Parabraunerde mit zugehörigem Cc-Horizont in einem fluvioglazialen Schwemmfächer konnte in einem nordöstlich benachbarten Gebiet auf  $3550 \pm 70$  yr B.P. datiert werden (Zipprich 1998, Zipprich et al. 2000).
  
4. Nach  $1530 \pm 60$  yr B.P. (Zipprich 1998) und wahrscheinlich auch nach Aufwehung der äolischen Sande in Chalhualmayoc 2 erfolgte die definitive Zerschneidung der holozänen Akkumulationen. Für die jungholozäne Erosionsphase ergibt sich damit tendenziell eine ganz ähnliche zeitliche Einordnung wie in den anderen Untersuchungsgebieten.



### **5.3 Granulometrische, morphoskopische und schwermineralanalytische Untersuchungen ausgewählter Profile**

An drei ausgewählten Profilen wurden detailliertere Untersuchungen durchgeführt, um Fragen nach der Herkunft des Materials der holozänen Talfüllungen nachgehen zu können. Es handelt sich dabei um die Profile Yavi 3, Palca 5 und Palca 9 (vgl. Abb. 2, 12 u. 15), die aufgrund ihrer vorrangig sandigen, teils aber auch humos-pelitischen bis torfigen Substrate sowohl morphoskopische und schwermineralanalytische Untersuchungen, als auch angesichts der insgesamt 17 <sup>14</sup>C-Datierungen (vgl. Anhang 1) hinreichend sichere chronologische Einordnungen ermöglichen. Die Profile wurden detailliert aufgenommen, beschrieben und beprobt (Anhang 2, 4, u. 6), in einem Fall auch granulometrisch untersucht (Anhang 8 u. Abb. 24). Darüberhinaus wurden morphoskopische sowie schwermineralanalytische Zählungen durchgeführt (Anhang 3, 5, und 6 sowie Abb. 23). Zum Vergleich wurden entsprechende Untersuchungen an weit verbreiteten möglichen Ausgangsmaterialien, wie Flugsanden sowie plio-pleistozänen Sedimenten der Punahochfläche durchgeführt (Abb. 25).

#### **5.3.1. Profil Yavi 3 (vgl. Kap. 5.2.3)**

Das Profil Yavi 3 wurde 300m nördlich von Yavi am rechten Ufer des Río Yavi, 15m nördlich der archäologischen Fundstelle La Cueva aufgenommen (vgl. Abb. 15, 15 und 16 sowie detaillierte Beschreibung in Anhang 2). Anhang 3 und Abb. 23a. geben die Ergebnisse der schwermineralogischen Untersuchung des Profils zwischen den Tiefen 105 und 815 cm unter Oberfläche wieder. Die hangende Partie des Profils zwischen 0 und 105 cm besteht vorrangig aus für die hier erläuterten Untersuchungen ungeeigneten Schottern und Sanden, die stellenweise Artefakte bzw. Knochen der hispanischen Periode enthalten, d.h. während der letzten dreieinhalb Jahrhunderte um- bzw. abgelagert wurden.

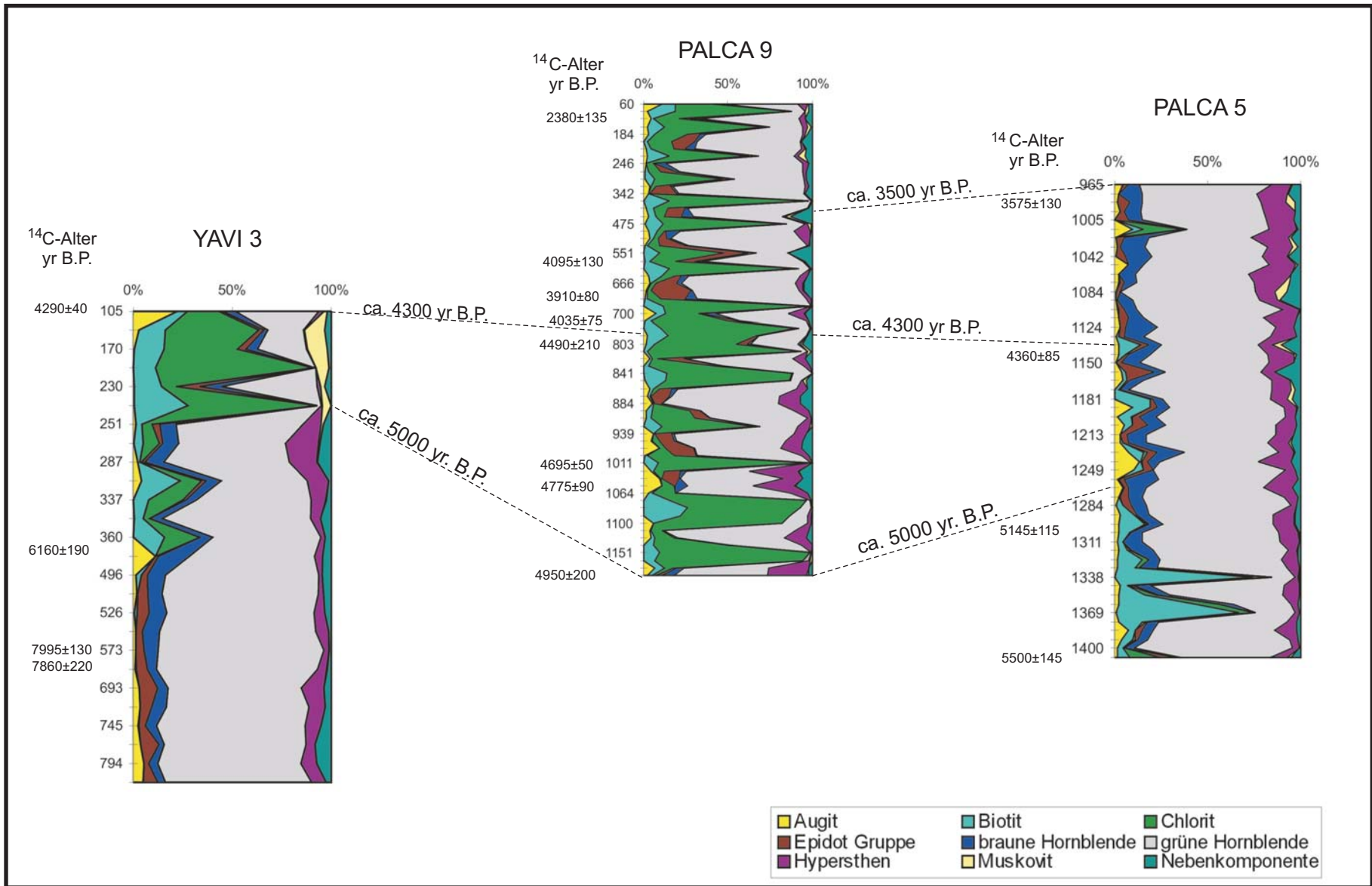


Abb.23: Korrelation zwischen Schwermineralprofile von Profilabfolgen der Typoslokalitäten "Einzugsgebiet des Río Yavi"

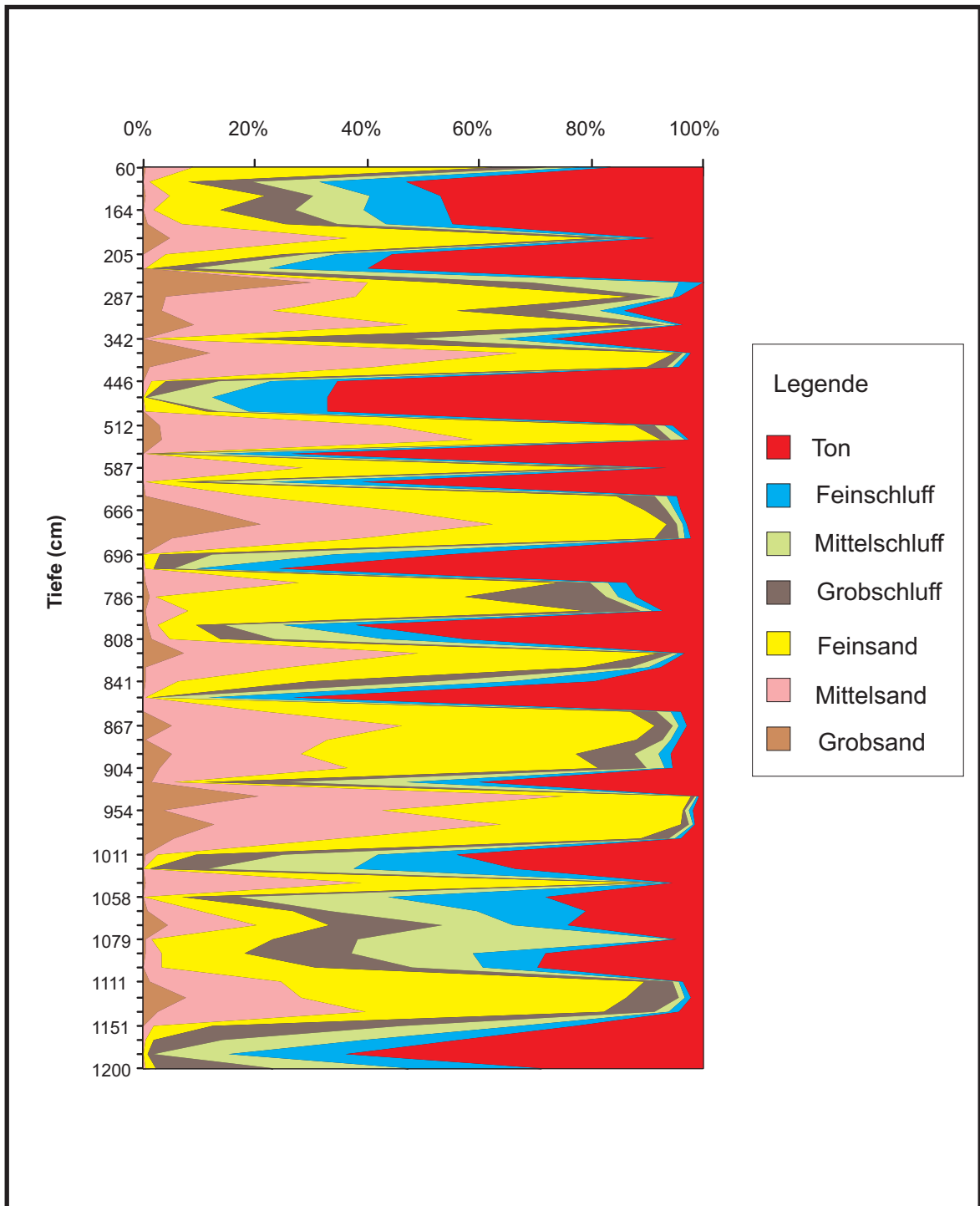


Abb. 24. Korngrößenanalysen im Profilsequenz Palca 9

Im Bereich zwischen 105 und 815 cm Tiefe kann das Profil unter Berücksichtigung seines Sedimentaufbaus und insbesondere der Schwermineralspektren in 3 Abschnitte gegliedert werden. Nach den Radiokarbon-Datierungen repräsentiert dieser Profilverteil die Zeitspanne von >8000 bis etwa 4300 yr B.P.

a) 815 bis 422 cm: Dieser Profilverteil entspricht nach Interpolation und Abrundung der  $^{14}\text{C}$ -Daten etwa der Zeitspanne von > 8000 bis 6100 yr B.P.

- Hauptbestandteil des Schwermineralspektrums ist grüne Hornblende mit durchschnittlich annähernd 75%. Weiter häufige Komponenten sind braune Hornblende, Hypersthen, die Epidot-Gruppe und Augit.
- Die mikroskopische Kornform-Analyse der Quarzkörner ergab 87% Körner mit matter Oberfläche, unter denen kantengerundete und gerundete Körner mit 48% bzw. 22% der Gesamtprobe dominieren.

b) 422 bis 251 cm (entspricht etwa der Zeit von 6100 bis 5100 yr B.P.):

- Dieser Profilverteil unterscheidet sich von dem vorhergehenden hinsichtlich seines Schwermineralspektrums durch die Reduktion der Anteile an grüner Hornblende, die durchschnittlich etwa 60% erreichen, sowie der Epidot-Gruppe und des Augits, die jeweils meist weniger als 2% stellen, während Hypersthen und braune Hornblende relativ konstant bleiben. Demgegenüber zeigen Chlorit und Biotit mit jeweils bis 33% zwei markante Peaks.
- Die mikroskopische Kornform-Analyse der Quarzkörner zweier Proben ergab zu 97% Körner mit matter Oberfläche, unter denen die gerundeten Körner mit 56 bzw. 58% gegenüber den kantengerundeten mit 28 bzw. 21% dominieren.

c) 251 bis 105 cm (entspricht etwa der Zeit von 5100 bis 4300 yr B.P.):

- Im Schwermineralspektrum zeigen sich Peaks, die vorrangig durch die Phyllosilikate Chlorit mit Werten zwischen 50 und 80%, Biotit (bis 27%) und Muskovit bedingt sind. Daneben treten Peaks der grünen Hornblende auf, die maximale Werte von lediglich 48,8% erreicht und von Zunahmen der braunen Hornblende sowie der Epidot-Gruppe begleitet wird.

- Die mikroskopischen Kornform-Analysen der Quarzkörner dreier Proben zeigen zu 90 bis 100% Körner mit matter Oberfläche, unter denen die gerundeten Körner mit mehr als 60% dominieren.

Zusammenfassend zeigt das Schwermineral-Profil einen Wechsel von einem ersten Zeitraum a) zwischen ca. 8000 und 6100 yr B.P. mit einem Maximum an grüner Hornblende hin zur Phase c) von ca. 5100 bis 4300 yr B.P., in der sich eine Chlorit-reiche Assoziation etabliert, die mit untergeordneten Peaks der grünen Hornblende alterniert. Der Zeitraum b) zwischen ca. 6100 und 5100 yr B.P. stellt einen Übergang zwischen den beiden beschriebenen Phasen dar. Hinsichtlich der morphoskopischen Analyse der Quarzkörner herrschen entlang der gesamten Sedimentfolge Körner mit matter Oberfläche und runder Kornform vor, wobei eine steigende Tendenz in Richtung zum Hangenden zu beobachten ist.

### **5.3.2 Profil Palca 5 (vgl. Kap. 5.2.2)**

Das Profil Palca 5 stammt von einem Anschnitt des Río Yavi bei La Palca (vgl. Abb. 12 u. 13). Eine detaillierte Beschreibung des Profils findet sich in Anhang 4.

Das Schwermineralspektrum des unteren Teils der Abfolge, d.h. der aus Feinsedimenten zusammengesetzten Ablagerung, zwischen ca. 5500 bis 3500 yr B.P. datiert, wurde analysiert. Es wird in der Abb. 23c (vgl. Anhang 5) gezeigt.

Die Hauptkomponente ist die grüne Hornblende, deren Prozentgehalte zwischen 50% und 75% variieren. Andere Minerale mit wesentlichen Vorkommen sind Augit, Biotit (zwischen ca. 5500 und ca. 4300 yr B.P.), Chlorit (zwischen ca. 5500 und ca. 5250 yr B.P.), die Epidot-Gruppe, braune Hornblende, Hypersthen und Zirkon (zwischen ca. 4600 und ca. 3575 yr B.P.).

Das Schwermineralprofil Palca 5 zeigt, mit Ausnahme zweier bedeutender Peaks von Biotit in Nähe der Basis, keine substantiellen Variationen, die es erlauben würden, Phasen auszugliedern. Jedoch ist, von der Basis ausgehend zum Top hin, die Tendenz zu beobachten, daß Apatit, Epidot-Gruppe, braune Hornblende,

Hypersthen, Muskovit und die Nebenkomponenten zunehmen, bei gleichzeitiger Abnahme von Biotit und Chlorit.

### **5.3.3 Profil Palca 9 (vgl. Kap. 5.2.2)**

Das Profil Palca 9 stammt von einem Anschnitt am linken Ufer der Quebrada de Cajas in La Palca, 800m westlich von Yavi Chico (vgl. Abb. 12 und 13). Die detaillierte Beschreibung des Profils Palca 9 findet sich in Anhang 6. Das Profil umfaßt die Zeitspanne von etwa 5000 bis 2000 yr B.P.

Die Abb. 23b gibt das Schwermineralspektrum im Profil Palca 9 wieder (vgl. auch Anhang 7). Es zeigt den alternierenden Wechsel zwischen Schichten mit hohem Gehalten an grüner Hornblende assoziiert mit Apatit, Augit, der Epidot-Gruppe, brauner Hornblende, Hypersthen und den Nebenkomponenten, mit anderen, die reich an Chlorit, assoziiert mit Biotit und Muskovit, sind.

Das Profil Palca 9 wurde einer detaillierten granulometrischen Bearbeitung unterzogen, um mögliche Korrelationen zwischen Korngrößenfraktionen und Schwermineralspektren zu prüfen. Die Korngrößenanalysen (vgl. Anhang 8 sowie Abb. 24) spiegeln die Wechsellagerung von sandigen und pelitischen Straten wider, wobei sandige Schichten in tonige, schluffige und lehmige eingeschaltet sind. Insgesamt aber umfaßt die Sandfraktion, vorwiegend aus Mittel- und Feinsand bestehend, mehr als 50% des mineralischen Substrats.

Die Beziehungen zwischen Korngrößen- und Schwermineral-Spektren sind in Tabelle 4 dargestellt, indem die nach den Schwermineral-Analysen gegensätzlichen Assoziationen der an grüner Hornblende reichen einerseits, die an Chlorit und Biotit oder der Epidot-Gruppe und Augit reichen Proben andererseits, den jeweiligen Bodenarten gegenübergestellt wurden. Es zeigt sich, daß bei insgesamt 64 Proben, nämlich 40 an grüner Hornblende reichen und 24 an Chlorit etc. reichen, deutliche Korrelationen mit den jeweiligen Bodenarten zu erkennen sind insofern als die an grüner Hornblende reichen Proben vorwiegend sandig sind, während die an Chlorit etc. reichen vorrangig aus tonigen Substraten stammen, d.h. daß der Differenzierung

der Schwermineral-Gehalte auch eine Korngrößendifferenzierung entspricht, wobei die grüne Hornblende vor allem in gut sortierten sandigen Schichten maximale Werte erreicht, während Chlorit und Begleiter vorrangig in tonigen und schlechter sortierten Proben hohe Anteile aufweisen. Damit ermöglichen die Schwermineral-Analysen ebenso wie die morphoskopischen und granulometrischen Untersuchungen Rückschlüsse auf die Transport- und Ablagerungsbedingungen der untersuchten Holozän-Sedimente.

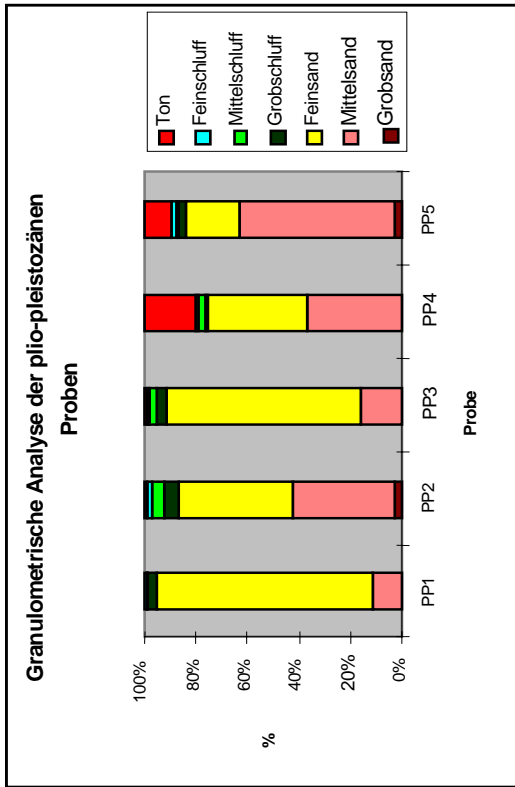
<b>KORNGRÖÖE (BODENART) nach AG Boden (1994)</b>	<b>GRÜNE HORNBLLENDE - REICHE Anzahl der Proben</b>	<b>CHLORIT- REICHE Anzahl der Proben</b>
Reiner Sand (Ss)	19	1
Sand (Su2, Sl2, Sl4, Lu, Lt3)	9	4
Lehm (Lt2, Lu, Ls2, Lt3)	4	7
Schluff (Us, Ut4)	1	2
Ton (Tu2, Tu3, Tt, Tl)	7	10

**Tabelle 4:** Relation zwischen Textur und der Schwermineralzusammensetzung im Profil Palca 9

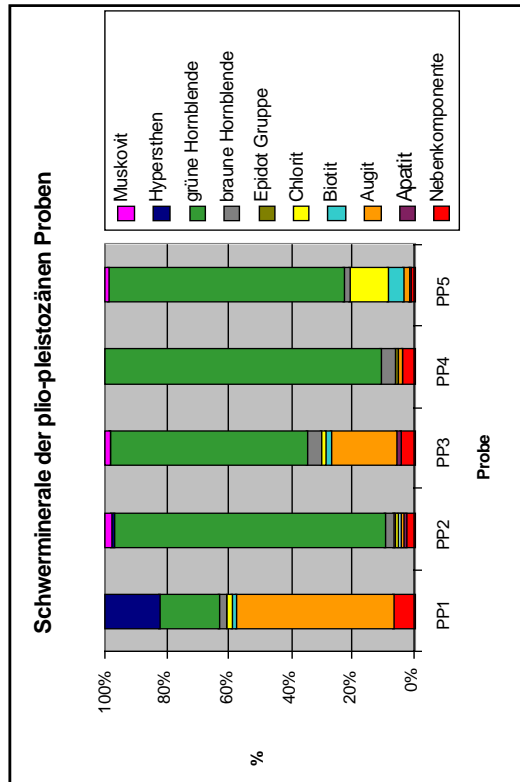
### **5.3.4 Probenvergleich der plio-pleistozänen Sandsteine mit holozänen Decksedimenten der Punahochfläche**

Für die Rekonstruktion der holozänen Landschaftsgeschichte spielt die Herkunft der holozänen Sedimente eine wichtige Rolle. Deshalb wurden im Einzugsgebiet der untersuchten Täler Vergleichsproben von möglichen Herkunftsgesteinen gesammelt und analysiert. In Frage kommen in erste Linie die äolischen Decksedimente der Punahochfläche sowie die plio-pleistozänen Sedimente. Dementsprechend wurden nach dem Zufallsprinzip neun Proben von Dünensanden, z.T. oberflächlich, z.T. aus 10 bis 15cm Tiefe (Probe OB1-9), entnommen, desgleichen fünf Proben aus dem plio-pleistozänen Sedimentkörper der Talflanken (Probe PP1-5).

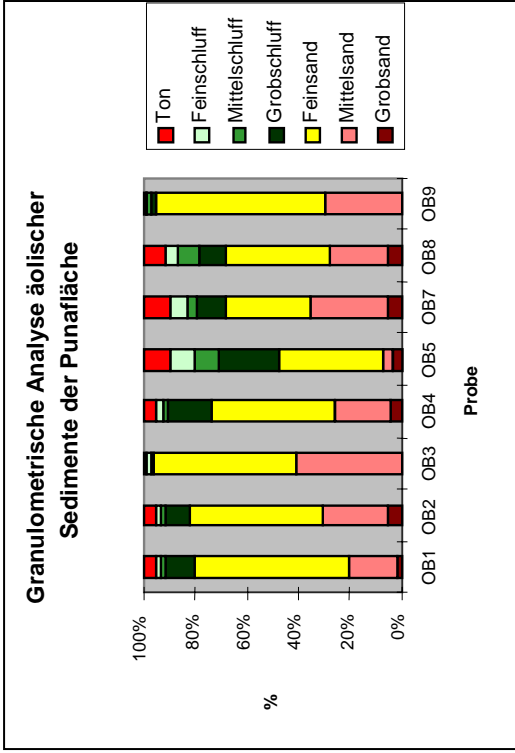
Die Proben PP1 bis PP5 stammen aus plio-pleistozänen Abfolgen fluvialen Ursprungs. Abb. 25a zeigt die Korngrößenzusammensetzung dieser Proben, wobei bei allen die hohen Prozentgehalte an Mittel- und Feinsand hervortreten (vgl. auch



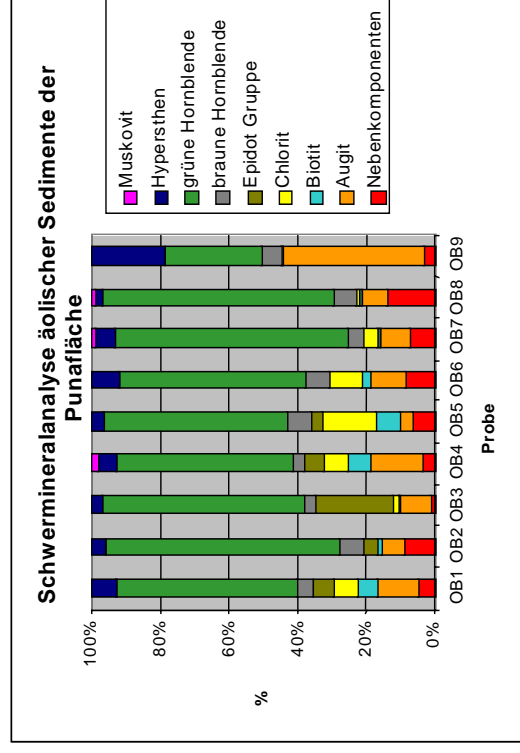
25 a



25 b



25 c



25 d



Anhang 9). In Abb. 25b ist die Schwermineralzusammensetzung dargestellt (vgl. Anhang 10), wobei zu beobachten ist, daß in vier Proben (PP2, PP3, PP4 und PP5) die grüne Hornblende mit Werten zwischen 64% und 89% das dominierende Mineral ist. Andere Minerale mit signifikantem Auftreten sind Augit (PP3), Biotit und Chlorit (PP5), braune Hornblende (PP2, PP3 und PP4) und Augit (51%, in PP1), begleitet von Hypersthen und Sulfat.

Die Proben OB1 bis OB9 repräsentieren das äolische Substrat der Punahochfläche. Die Korngrößenanalysen (vgl. Abb. 25c bzw. Anhang 11) zeigen das Vorherrschen der Sandfraktion (vorwiegend Fein- und Mittelsand), mit Prozentgehalten zwischen 47% und 95%. Die entsprechenden Schwermineralanalysen (vgl. Abb. 25d bzw. Anhang 12) zeigen für die Proben OB1 bis OB8 die Dominanz der grünen Hornblende mit Gehalten zwischen 51% und 68% an. Augit, braune Hornblende, Hypersthen und - in einigen Proben - Biotit, Chlorit, die Epidot-Gruppe und Titanit begleiten diese. Die Probe OB9 enthält eine ähnliche Zusammensetzung wie PP1, sie ist reich an Augit (41,3%), mit wesentlichen Gehalten an grüner Hornblende, Hypersthen und brauner Hornblende.

In Anbetracht der weiträumigen Verbreitung (80% des Einzugsgebietes des Río Yavi), ihres relativ gering konsolidierten Zustands und der großen Ähnlichkeit mit dem Dünensand, werden die plio-pleistozänen Sedimentgesteine als das vorrangige Ausgangsgestein der Oberflächensedimente der Punahochfläche angesehen. Die relative Abnahme der Prozentgehalte der grünen Hornblende sowie die Zunahme der Mehrzahl der restlichen Minerale in den Flugsanden beruht sicherlich auf einem Selektionsprozeß während des Transports. Die Tatsache, daß die Differentiation der Schwermineralzusammensetzung und Textur der äolischen Sande im Vergleich zu den plio-pleistozänen Sedimenten nicht bedeutend ist, zeigt, daß Herkunfts- und Ablagerungsgebiet der Dünen nicht weit entfernt voneinander liegen.

### **5.3.5 Interpretation der Paläo-Umweltbedingungen der Profile**

Auf der Grundlage der Analysen der Profile Yavi 3, Palca 5 und Palca 9 sowie der Vergleichsproben aus den äolischen Decksedimenten der Punahochfläche und

aus den plio-pleistozänen Sedimenten wird versucht, die Paläo-Umweltbedingungen im Einzugsgebiet des Río Yavi zu rekonstruieren.

Die Profile Yavi 3, Palca 5 und Palca 9 zeigen eine vorherrschend fein- und mittelsandige Textur, mit Einschaltungen toniger und humusreicher Sedimente. Die Mineralogie dieser Abfolgen wird im größeren oder geringeren Maße durch eine Assoziation dominiert, welche zwischen 50% und 70% grüne Hornblende aufweist, zwischen welche ab ca. 6100 yr B.P. sich Chlorit-reiche Schichten einschalten.

Der Vergleich der Proben aus den holozänen Talfüllungen mit denen aus den äolischen Decksedimenten der Punahochfläche sowie aus den plio-pleistozänen Sedimenten läßt eine Reihe von Gemeinsamkeiten hinsichtlich der Korngrößen-, aber auch der Schwermineralspektren erkennen. Daraus kann geschlossen werden, daß die an grüner Hornblende reichen Talsedimente vorrangig aus Material der Dünen und Flugsanddecken der Punahochfläche aufgebaut sind. Die Flugsande wiederum zeigen große Ähnlichkeit mit den plio-pleistozänen Sedimentgesteinen der näheren Umgebung. Die sedimentologischen Strukturen der Talablagerung deuten auf ein fluviales Sedimentationsmilieu, ein äolischer Eintrag ist wahrscheinlich. In allen Fällen betragen die Transportwege nur kurze Distanzen, da sich keine signifikante Differenzierung in der Korngrößen- und mineralogischen Zusammensetzung beobachten läßt. Den Nahtransport belegt ebenfalls die äolisch geprägte Mattierung der Kornoberflächen, die bei längerem fluvialen Transport verlorengeht. Grüne Hornblende-reiche Sedimente sind demnach unter trockenen Bedingungen mit sehr niedrigem Oberflächenabfluß abgelagert. Die Zeit zwischen ca. 8000 bis 6100 yr B.P. kann man deswegen als sehr trocken bezeichnen.

Chlorit-reiche Schichten sind eine wesentliche Komponente der Talsedimente nach 6100 yr B.P. (vgl. Abb. 23). Die hauptsächlichen Quellen des Chlorits finden sich in den Tonschiefern der Formationen Santa Rosita und Acoite (Alcalde & Camacho, 1991). Die Formación Santa Rosita hat bedeutende Ausstriche im mittleren und oberen Sektor des Einzugsgebietes des Río Yavi, wodurch, unter Bedingungen etwas erhöhter Erosion und eines Transports aus besagten Gebieten, die Herkunft und die Transportart dieses Materials aus der Sierra de Santa Victoria und Sierra de Quirquinchos erklärt werden kann (vgl. Abb. 3). Folglich steht die

fluviale Ablagerung der chloritreichen Assoziation mit Bedingungen einer mäßigen fluvialen Aktivität, mit leichter Erosion in den Hanglagen und vorwiegender Akkumulation in den flacheren Lagen, wie den Umgebungen von Yavi Chico, La Palca, Yavi, Casti und im geringeren Maße Chalhualmayoc, in Zusammenhang. Diese Situation entspricht Episoden mit etwas erhöhter Transportkraft, von relativ kurzer Dauer, wie sie im Profil Palca 9 mit zahlreichen Zwischenlagen grüner Hornblende-reicher Substrate zu beobachten sind.

Die Einschaltungen Hornblende- und Chlorit-reicher Sedimente ab etwa 6100 yr B.P. zeigen das Auftreten von Episoden mit höherem Abfluß (Chlorit), verursacht durch starke Niederschläge. Die Umweltbedingungen im Talboden und auf der Punahochfläche zeigen demgegenüber keine wesentliche Veränderung, wie die weitere Ablagerung von grünen Hornblende-reichem Sedimenten zeigt. Damit kann im Vergleich zum Zeitraum von ca. 8000 bis 6100 yr B.P. ein insgesamt etwas feuchteres Klima angenommen werden.

Das Profil Palca 5 zeigt, die Basis ausgenommen, keine Variationen des Schwermineralspektrums, wie sie in Profil Palca 9 und im Profil Yavi 3 im Zeitraum von 5500-3500 yr B.P. auftreten (vgl. Abb. 23). Dies beruht darauf, daß das Herkunftsgebiet der Sedimente bei Palca 5 das kleine Einzugsgebiet eines Nebenflusses des Río Yavi ist. Die dort anstehenden Gesteine stammen aus dem Plio-Pleistozän und aus der Grupo Salta. Die Abwesenheit von ordovizischem Tonschiefer im Einzugsgebiet kann die nur geringere Änderung des Schwermineralspektrums im Profil Palca 5 erklären.

## 6 DIE TENDENZEN DER HOLOZÄNEN LANDSCHAFTSENTWICKLUNG - ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Um die holozäne Landschaftsentwicklung zu verstehen, ist auch nach den präholozänen Verhältnissen zu fragen, d.h. nach den Altformen, die durch die hier zur Diskussion stehenden holozänen Prozesse verändert oder ausgelöscht wurden. Dabei spielen folgende Aspekte eine Rolle:

1. Als wesentlicher Ausgangszustand des Reliefs ist die Punahochfläche zu nennen, die als Flachform seit dem ausgehenden Tertiär bzw. beginnenden Quartär vorhanden ist. In dieser Zeit wurden im Untersuchungsraum weitflächig die plio-pleistozänen Sedimente als fluviale und lakustrische Akkumulationen abgelagert. In Randbereichen der Gebirgsauftragungen kam es dabei vermutlich auch zu Pedimentationsvorgängen.
2. Dominierende Formungstendenz während des Quartärs war zumindest in den unzerschnittenen Bereichen der Punahochfläche flächenbildende Morphodynamik unterschiedlicher Intensität in Abhängigkeit von den pleistozänen Klimaschwankungen. Ergebnisse dieser flächenhaften Abtragung sind 3 Fußflächengenerationen, die sich während des Pleistozäns in den gering resistenten plio-pleistozänen Sedimente entwickelten.
3. Durch unterschiedliche, im einzelnen meist nicht näher bekannte, teilweise vermutlich tektonische Prozesse bildeten sich unter den generell ariden und semiariden bis subhumiden Bedingungen geschlossene, d.h. abflußlose Hohlformen, die als Sedimentfallen fungierten und aktuell als Salare, Lagunen und große Becken der Punahochfläche in Erscheinung treten.
4. Im mittleren bis jüngeren Pleistozän erfolgte durch rückschreitende Erosion der Quellflüsse des Río-Pilcomayo-Systems der hydrographische Anschluß an die exorheische Entwässerung nach Osten mit entsprechender kräftiger Taleintiefung.

Die holozäne Um- oder auch Weiterbildung des plio-pleistozänen und pleistozänen „Altreliefs“ erfolgte teils durch äolische Prozesse der Deflation sowie der Bildung von Flugsanddecken und Dünen, teils durch fluviale Prozesse mit Talverschüttung mit Feinsedimenten, zeitweilig aber auch mit Taleintiefung und Terrassenbildung, teils, vor allem in den Hochlagen der Gebirge, durch periglaziale,

glazifluviale und glazigene Prozesse mit Bildung eines entsprechenden Formenschatzes.

Da nach bisheriger Kenntnis die tektonische Aktivität des Holozäns weitgehend zu vernachlässigen ist, müssen die zeitlichen Wechsel unterschiedlicher Prozeßkombinationen weitgehend mit klimatischen Veränderungen sowie für das Mittel- und Jungholozän auch mit anthropogenen Aktivitäten verknüpft werden.

Die morphologischen und sedimentologischen Befunde der vorliegenden Untersuchung des Río-Yavi-Einzugsgebietes erlauben folgende Schlüsse auf morphodynamische und entsprechende klimatisch bzw. auch anthropogen beeinflusste Phasen der Landschaftsentwicklung während des Holozäns:

Haupttendenzen der holozänen Landschaftsentwicklung in den Tälern des Río Yavi-Beckens sind 2 Akkumulationsphasen, welche die Terrasse I bilden und eine Erosionsphase mit 2 kurzen Ablagerungsepisoden (Terrassen II und III). Innerhalb dieser Phasen gab es einzelne Zeitabschnitte, die im Kap. 7 beschrieben werden.

Die erste Akkumulationsphase findet mit der Ablagerung von Schottern, aber auch lokal schluffig-tonigen, humusreichen Sedimenten im Frühholozän statt. Die Grobsedimente zeugen von einer großen Abflussintensität im Frühholozän durch hohe Niederschläge unter feuchten Bedingungen. Die Schotterablagerungen sind mit ähnlichen Sedimenten im Nachbartal Cholacor und mit einer Vergletscherung auf der Sierra de Santa Victoria korreliert (Zipprich 1998).

Ähnlich wie in Yavi sind feuchtere Verhältnisse in verschiedenen Regionen der zentralen Anden erkannt worden, wo das frühe Holozän als Übergang zwischen den kalten und feuchteren Bedingungen im Spätglazial zu den überwiegend trockenen Verhältnissen im Mittelholozän interpretiert wird. Dazu gehören die Untersuchungen in der nahegelegenen Sierra de Santa Victoria (Zipprich et al. 2000, Schäbitz 2000) und in der Sierra del Aguilar sowie in der Provinz Jujuy (Markgraf 1985). Auch im Norden Chiles (Nuñez et al. 1995-1996; Grosjean, 1994; 1998; Grosjean et al. 2003; Kull & Grosjean, 1998; Kull, 1999, Messerli et al. 1993) und im Norte Chico Chiles (Veit 1991; 1992, 1993, 1996, 1998) herrschten spätglazial / frühholozän feuchte

Bedingungen vor. Die feuchten Bedingungen spiegeln sich auch in Seenhochständen der Coipasa-Phase in den zentralen Anden wider, u.a. in Nordchile und Bolivien (Geyh et al. 1998, 1999; Geyh 2000; Grosjean 1994; Grosjean et al. 2001, 2003; Messerli et al. 1998; Silvestre et al. 1999; Veit et al. 1998; Wolfe et al. 2001).

Aus anderen Arbeiten ergibt sich demgegenüber, dass das Klima des Frühen Holozäns vorherrschend trocken gewesen ist: Graf (1981, 1986, 1992) und Servant & Servant-Vildary (2001, 2003) in den Anden Boliviens und Nordchiles; Iriondo (1992) und Iriondo und Garcia (1993), nach Befunden im Osten der Ebene des Chaco, Alcalde & Kulemeyer (1999) bei den Yungas San Salvador de Jujuy. Dabei bleibt die Frage offen, ob es unterschiedliche Klimaentwicklungen in den verschiedenen geoökologischen Höhenstufen und Regionen gegeben hat.

Die zweite Akkumulationsphase im Mittelholozän ist durch die fluviale Ablagerung von Schutt, Sand und schluffig-tonigen humosen Sedimenten mit oft mehr als 10 m Mächtigkeit repräsentiert. Zeugen dieser Akkumulationsphase sind an den Terrassenwänden in allen 5 Untersuchungsgebieten erkannt worden. Die holozänen Feinsedimente bestehen ganz überwiegend aus umgelagerten äolischen Dünensedimenten der Punahochfläche und sind äolisch und/oder durch Abspülung in die Täler gelangt. Da die Mattierung als äolisches Merkmal überwiegend erhalten ist, kann der Transportweg im Fließgewässer nur kurz gewesen sein. Sie stammen also aus der nächsten Umgebung. Vegetationsreste und hoher C-Gehalt zeigen, dass der Talboden zur Akkumulationszeit eine dichte Pflanzendecke getragen haben muss. Er war ein feuchter Vegetationsstandort bei lokal hohem Grundwasserspiegel. Ein ganzjährig geringer Abfluss (geringe Transportkraft des Fließgewässers) mit permanenter bzw. überwiegender Akkumulationstendenz charakterisiert die Gerinne. Feinlamination von klastischen und organischen Sedimenten könnte als Jahreszeitenrhythmus gedeutet werden. Das allgemeine Bild vom Mittelholozän (ca. 8000-2000/1500 yr B.P.) ist durch aride Bedingungen am Anfang mit zunehmender Feuchtigkeit zum Ende hin charakterisiert. Das Ende der Ablagerungsphase im Mittelholozän ist durch etwas feuchtere Bedingungen gekennzeichnet, allerdings nicht so deutlich ausgeprägt wie in den höheren Lagen der Gebirgsketten im Norden der Puna bekannt ist (Markgraf 1985; Zipprich et al. 2000; Schäbitz 2000).

Episodische, mäßige Abflussspitzen mit Ablagerung von feinmaterial- und vor allem chloritreichen Sedimenten deuten auf Erosion in den höheren Lagen des Río Yavi-Beckens (Sierra de Santa Victoria und Sierra de Quirquinchos) und wurden wahrscheinlich durch einzelne Niederschlagsereignisse ausgelöst.

Die Ablagerung von überwiegend Feinsedimenten in den Tälern während des Holozäns und eine nachfolgende Erosionsphase im Spätholozän ist das allgemeine Bild der Landschaftsentwicklung in Yavi, aber auch in den andinen Tälern Nordwestargentinens, Nordchiles und Boliviens. Da die räumliche Verteilung der Talsedimente ein relativ großes Spektrum von geoökologischen Höhenstufen und Klimaten innerhalb und am Rande der Ariden Diagonale in den zentralen Anden umfasst, ist es denkbar, dass diese Sedimente unter unterschiedlich geprägten trockenen Klimaten entstanden sind (d.h., arid, semiarid und wahrscheinlich auch subhumid).

Die rekonstruierten Umwelt- und Klimabedingungen im Mittelholozän des Río Yavi-Beckens zeigen, dass die feinkörnigen Talsedimente unter aridem bis semiaridem Klima mit niedrigem Abfluss und einer dichten Vegetationsdecke im Talboden abgelagert wurden, mit lokal höherem Grundwasserspiegel. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Interpretation von Grosjean (2001) und Grosjean et al. (2003) für die westliche Abdachung der Anden (ca. 18°S-25°S). Der von Quade et al. (2001) rekonstruierte allgemeine Anstieg der Grundwasserspiegel in der Zentral-Atacama, abgeleitet aus der Ablagerung von Feinsedimenten in den Tälern, steht dagegen im Widerspruch zu dem in dieser Arbeit interpretierten Sedimentationsmilieu.

Eine umfassende Diskussion über die nicht synchrone Entwicklung der Akkumulations- und Erosionsphasen in der Region (vgl. Grosjean 2001; Grosjean et al. 2003; Quade et al. 2001) sprengt den Rahmen der vorliegenden Arbeit. Trotzdem zeigen beobachtete Tendenzen in Yavi und bei Tres Cruces, in der Puna von Jujuy (etwa 50km südlich von Yavi), Talfüllungen mit unterschiedlichem Alter: spätglazial bis frühholozän (Fernández et al. 1991), holozän (diese Arbeit, auch Markgraf 1985) und mittel- bis spätholozän (Fernández 1984). Die verschiedenen Zeiträume, die in

den Sedimentstapeln vertreten sind, dürften nicht nur auf übergeordneter Verlagerung von atmosphärischen Zirkulationssystemen beruhen, sondern auch auf unterschiedlichen regionalen und topographischen Lagen, geologischen Voraussetzungen usw. Diese Rahmenbedingungen sollten in regionalen Entwicklungsmodellen nicht außer Acht gelassen werden.

Die Klimabedingungen der Zentralen Anden waren im Mittelholozän überwiegend trocken. Die Altersstellung dieser Trockenperiode liegt im allgemein zwischen 8500 - 7500 yr B.P. für den Anfang und ca. 4000 - 3000 yr B.P. für das Ende der Phase (Lupo 1998, Zipprich et al. 2000; Schäbitz 2000; Markgraf 1985; Fernández et al., 1991; Nuñez et al. 1995-96, Grosjean et al. 1997; Messerli et al. 1998; Veit 1991, 1992, 1993, 1996, 1998, u.a.).

Die Untersuchungen in Yavi stehen im Einklang mit diesem allgemein akzeptierten Bild eines trockenen Mittelholozäns. Die detaillierten Untersuchungen ermöglichten zusätzlich zum ersten Mal in Nordwestargentinien eine Unterteilung des Mittelholozäns mit sehr trockenen Bedingungen am Anfang (zwischen ca. 8300 und 6100 yr B.P.) und danach leicht zunehmender Feuchtigkeit mit episodischen Abflussspitzen. Eine vergleichbare Entwicklung ist in Nordchile durch Zwischenschaltungen von Schlammströmen in fluvialen Sanden, Torfen und Diatomiten, in der Quebrada Puripica repräsentiert (Grosjean et al., 1997). Ähnliche Entwicklungen, durch Seespiegelschwankungen charakterisiert, sind auch in Seebecken wie der Laguna Miscanti in Nordchile (Grosjean et al. 2001), im Titicaca-See in Bolivien und Perú (Wirrmann & Mourguiart, 1995, Paduano et al. 2003), im Lago Potosí und Lago Taypi Chaka Kkota auf dem Altiplano von Bolivien (Wolfe et al. 2001) bekannt.

Andere Autoren fanden im mittleren Holozän feuchte Bedingungen (Graf 1977, 1992, Bobst et al. 2001; Quade et al. 2001; Iriundo, 1992; Iriundo & Garcia, 1993; Brunotte et al., 1988; Garleff et al., 1993; Garleff & Stingl, 1996). Diese Meinungsverschiedenheiten könnten Folge von differenzierten Landschaftsentwicklungen in den einzelnen Regionen bzw. Höhenstufen, aber auch von unterschiedlichen methodischen Ansätzen und Interpretationen sein.



Die meisten Verfasser vertreten die Meinung, dass in den letzten 3000 bis 4000 Jahren die Klimabedingungen in der Region ähnlich wie heute oder etwas feuchter waren (Lupo 1998; Zipprich et al. 2000; Schäbitz 2000; Markgraf 1985; Argollo & Mourguiart 1998; Wirrmann & Mourguiart 1995; Nuñez et al. 1995-96; Messerli et al. 1998; Veit 1991, 1992, 1993, 1996, 1998, u.a.). In Yavi gab es - zumindest zeitweise - etwas feuchtere Bedingungen. Am südlichen Rand der zentralen Anden im Bolsón de Fiambalá, Catamarca, wurde dagegen seit 3000 yr BP eine Zunahme der Trockenheit registriert (Brunotte et al. 1988; Garleff et al. 1993; Garleff & Stingl, 1996).

Die Landschaftsgeschichte des späten Holozäns zeigt in Yavi eine deutliche Änderung der Rahmenbedingungen, unter denen der größte Umweltumbruch des Holozäns zustande kam: während auf dem Punaplateau flächenhafte Abtragung herrschte, wurden die Täler erodiert, und es kam zu episodischer Schotterablagerung (Bildung der Terrassen II und III).

Im Rahmen der regionalen Prähistorie fällt auf, dass die Paläoklima-Studien (Markgraf 1985; Zipprich 1998; Zipprich et al. 2000; Reizner 1998; Schäbitz 2000, u.a.) für die letzten 2000 Jahre keine Änderungen in der Größenordnung zeigen, die es gestatten würden, die beachtlichen Veränderungen in den verschiedenen Komponenten des Umweltsystems im Gebiet von Yavi zu erklären. Ausnahmen bilden Arbeiten, die i.w. einen Umbruch von Akkumulation zu Erosion um 2000/1500 yr B.P. als eine Intensivierung und/oder Zunahme der Sommerniederschläge interpretieren (z. B. Fernández 1984; Servant & Fontes, 1984; Servant & Servant-Vildary 2001, 2003; Argollo & Mourguiart 1998; Grosjean 2001; Quade et al. 2001).

Dagegen wird in verschiedenen Disziplinen die Teilnahme des Menschen an der Degradation der Landschaft seit der prähispanischen Periode und eine Akzentuierung in historischer Zeit diskutiert (Markgraf, 1985; Lupo, 1998; Kulemeyer & Lupo, 1998; Brunotte et al., 1988; Ruthsatz, 1983; Ruthsatz & Fisel, 1984). Die morphodynamischen Prozesse, die zur Eintiefung der Täler geführt haben, sollen

durch eine merkliche Verringerung des Deckungsgrades durch die Abnahme von Gräsern und die Zunahme von Zwergsträuchern der Steppe (vgl. Kulemeyer & Lupo 1998; Lupo 1998) ausgelöst worden sein. Infolgedessen trat eine wachsende flächenhafte Abspülung der Punahochfläche ein. Da der Oberboden der spätglazialen Parabraunerde (Zipprich et al. 2000) schon ab mindestens 8000 yr B.P. erodiert wird, bleibt an der Oberfläche oft nur der undurchlässige Bt- oder sogar Cc-Horizont. Die oben genannte Abnahme der Infiltration auf dem Punaplateau führte deshalb zu steigendem Abfluss in den Tälern und dadurch zu einer Eintiefungstendenz.

Als Hauptursache der Abnahme der Vegetationsdichte auf dem Punaplateau und in den Tälern kommt die Überweidung in Frage. Eine gravierende Änderung der Abflussintensität unter dem Einfluss von Überweidung im semiariden, aus feinen, erosionsanfälligen Sedimenten zusammengesetzten System kann innerhalb eines Zeitraumes von 10-100 Jahren stattfinden (Bull 1979). Im Arbeitsgebiet sind gegenwärtig, aber auch schon in prähispanischer Zeit die Indikatoren, die Mensching (1990) zum Erkennen der Desertifikation benutzt, präsent (Kulemeyer, 1998; Kiegel, 2001).

Die Entwicklung der Kulturen, insbesondere der Landnutzung, haben zunehmend die Landschaft geprägt. Die „Yavi-Kultur“ (1850 bis 450 yr B.P.) hatte im Vergleich mit den ersten Ackerbaukulturen eine höhere Bevölkerungszahl, die eine intensivere Nutzung der Punatäler und der umgebenden Gebiete nach sich zog. Unter den verschiedenen Aktivitäten, die diese Kultur entwickelte und die Einfluss auf die Landschaft hatten, tritt wegen der großen räumlichen Verbreitung besonders die Züchtung von Cameliden hervor. An zweiter Stelle muss die Landwirtschaft in den Tälern genannt werden, die auch Techniken wie Terrassenanbau und Bewässerung durch Kanäle mit einschließt. Diese Aktivitäten hatten eine Verminderung der Krautschicht aufgrund der Beweidung auf der Punahochfläche wie auch in den Flußtälern und damit eine Verringerung der Bodenbedeckung zur Folge.

Ab der Zeit der Eroberung durch die Spanier fanden tiefgreifende kulturelle Veränderungen statt, die in ganz besonderer Weise die Degradation der Landschaft

bewirkten: die Einsetzung einer neuen Form der Wirtschaftsorganisation, ausgelöst durch die spanischen Eroberer, und die Bildung der Markgrafschaft von Yavi und Tojo. Die Produktion an Nahrungsmitteln war nicht mehr länger am Eigenbedarf orientiert, sondern an den Bedürfnissen Potosís, des großen Bergbauzentrums (Silber) jener Epoche (17., 18. und Beginn des 19. Jahrhunderts). Zusätzlich verursachte das Ersetzen der Cameliden durch Vieh der alten Welt (Schafe, Ziegen, Rinder etc.) ein größeres ökologisches Ungleichgewicht, da diese neuen Gattungen Schneidehufe besitzen im Gegensatz zum einheimischen Vieh, das mit seinen kissenförmigen Pfoten die Schäden am Boden und auf den Weiden gering hält (Ruthsatz, 1983; Kiegel, 2001).

Die anthropogen bedingte Degradation der Umwelt war nicht ein auf das Einzugsgebiet des Río Yavi begrenzter Vorgang. Es handelte sich vielmehr um einen Prozess regionaler Größenordnung mit Beispielen aus verschiedenen Gebieten der Zentralen Anden, wie Belege für rezente Erosion in verschiedenen ariden bis semiariden Gebieten Jujuy, in den archäologischen Anbauterrassen von Alfarcito bei Tilcara, in einer archäologischen Siedlung im NE-Sektor des Einzugsgebietes von Salinas Grandes und im Río Pastos Chicos bei Susques zeigen.

Prozesse vorherrschender Einschneidung, verbunden mit Transport von Grobmaterial, sind auch am Oberlauf des Río Grande der Quebrada de Humahuaca, Provinz Jujuy, nach 1800 yr BP (Fernández 1984), auf dem Altiplano von Bolivien ab 1500 yr B.P. (Servant & Fontes, 1984, Servant & Servant-Vildary, 2001, 2003; Argollo & Mourguiart, 1998) und in Nordchile (Grosjean, 2001; Quade et al., 2001) bekannt und werden im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit als Folge einer Intensivierung und/oder Zunahme der Sommerniederschläge interpretiert. Im Bolsón de Fiambalá (Catamarca, Argentinien) gehen die Hinweise über die Degradation der Umwelt bis ca. 3000 yr BP zurück und umfassen Bodenerosion, Zunahme der äolischen Dynamik und Absinken des Grundwasserspiegels (Brunotte et al., 1988; Garleff et al., 1993; Garleff & Stingl, 1996).

Eine interdisziplinäre Reinterpretation bzw. Erweiterung der regionalen Kenntnisse über die Landschaftsentwicklung im Spätholozän mit Berücksichtigung

eines Einflusses des Menschen auf die Umwelt ist notwendig. Dabei kann man nicht nur Informationsgewinn für die notwendige Unterscheidung zwischen anthropogenen und klimatisch gesteuerten geomorphologischen Prozessen erwarten, sondern auch wichtige Daten über Ursachen und Entwicklung der Desertifikation in den Zentralen Anden.

Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt hat man nur eine ungenaue Vorstellung über die prähispanischen Kulturen, v.a. in ihrer Beziehung zur Umwelt. Es fehlen noch genauere Kenntnisse der relevanten Aspekte, die für die Erforschung der Umweltverschlechterung auf der Puna und deren Ursachen notwendig sind, wie z. B. Informationen über die prähistorische Demographie, über angewandte Techniken in der Landwirtschaft und Viehzucht und über die Handhabung pflanzlicher Ressourcen wie Brennmaterial u.a. Diese Informationen, die sich nur durch Ausgrabungen und systematische Forschungen gewinnen lassen, sind, zusammen mit Erkenntnissen aus der Analyse historischer Dokumente und vor allem auch aus der Rekonstruktion des Paläoklimas, der Schlüssel zum besseren Verständnis der Ursachen und der Dynamik des Desertifikationsprozesses, der noch heute den Altiplano charakterisiert.

In geoarchäologischer Hinsicht ergab die Rekonstruktion der Umweltbedingungen eine neue, erweiterte Betrachtungsmöglichkeit. Die Untersuchungen erlauben die Annahme, dass prähispanische Besiedlungen in den Gebieten existierten, wo Yavi und Yavi Chico ihre aktuellen Siedlungen haben, und dass deren Spuren fast komplett aufgrund der Erosion verschwanden. Dieses Ergebnis basiert auf geomorphologischen und sedimentologischen Rekonstruktionen sowie auf Vorkommen archäologischer Reste in weniger von der Erosion betroffenen Gebieten. Es steht der Hypothese von Krapovickas (1992) entgegen, wonach sowohl Yavi Chico als auch Yavi vor dem Eintreffen der Spanier nicht besiedelt waren.

Die Kenntnisse der Veränderungen in der Morphodynamik der Landschaft, besonders im Gewässernetz, sind auch anwendungsrelevant, z. B. im Bezug auf aktuelle Prozesse in der Chaco-Ebene. Hier verlagern sich häufig Flussläufe der Hauptflüsse Bermejo und Pilcomayo aufgrund der großen Sedimentfracht, die sie mit sich führen und die zu einem großen Teil vom Ostrand der Puna stammt. In den

letzten Jahren wurde mit der interdisziplinären Untersuchung dieser Problematik auf der Basis der verschiedenen Einzugsgebiete unter der Beteiligung Argentiniens, Boliviens und, im Falle des Pilcomayo, auch Paraguays begonnen. Die vorliegende Arbeit stellt in diesem Zusammenhang einen Beitrag zum Verständnis der Faktoren dar, die das aktuelle und rezente Verhalten der Flüsse des Chaco steuern. Darüberhinaus zeigt sie die Notwendigkeit einer Umweltpolitik, die zum Ziel hat, die Desertifikation zu bekämpfen, eine nachhaltige Entwicklung der Region voranzubringen sowie die Verschlechterung der wirtschaftlichen und sozialen Bedingungen im Norden der Puna zu verhindern.

## 7. DIE GLIEDERUNG DER HOLOZÄNEN LANDSCHAFTSGESCHICHTE IM RIO-YAVI-EINZUGSGEBIET

Die in vorherigen Kapiteln diskutierten Daten ermöglichen die Rekonstruktion und Gliederung der holozänen Landschaftsgeschichte im Río-Yavi-Einzugsgebiet. Eine Synthese der Ergebnisse der Untersuchungen wird in der Tabelle 5 dargestellt.

Eine qualitative Kurve, gibt die fluviale Aktivität wieder, abgeleitet hauptsächlich aus den sedimentologischen Strukturen der Talablagerungen, aus den fluvialen Merkmalen, aus Schwermineralanalysen und aus den Sedimentations- und Erosionsraten von einzelnen Profile (siehe Kap. 4 und 5). Hier fällt besonders die Tendenz der Zunahme der fluvialen Aktivität im Mittel- und Spätholozän auf. Eine zweite Kurve stellt die Entwicklung der Sedimentations- (in mm/Jahr) und Erosionsraten (in cm/Jahr) in den Sedimenten der Quebrada de Cajas in unmittelbarer Nähe von Antigal de Yavi Chico dar. Dieser Fall zeigt, daß die Ablagerung - mit ununterbrochener Akkumulation und sedimentologischer Homogenität - einen ähnlichen Verlauf aufweist, wie jener der Morphodynamik. Die stetige Zunahme der Abflußintensität führt im Mittelholozän zur Abnahme der Sedimentationsraten und im Spätholozän schließlich bis zur Eintiefung der Täler.

Beim Vergleich mit dem Klima ist erkennbar, daß die Sedimentationsraten während trockener Klimaphasen höher waren und als Folge zunehmender Abflußintensität zurückgingen, wenn das Klima feuchter wurde. Ab 2000/1500 yr B.P. (Phase III) wurden die Sedimentations- und Erosionsraten vor allem durch anthropogenen Einfluß gesteuert.

Die wesentlichen archäologischen Funde der Besiedelung im Einzugsgebiet des Río Yavi zeigen allgemeine Übereinstimmung mit den feuchteren Klimaphasen, wie z.B. die Siedlung von La Cueva (ca. 10.500-8300 yr B.P.) und die Ackerbaukulturen im Spätholozän. Dagegen fällt die Phase mit sehr geringen kulturellen Spuren (in N-Chile ist diese Phase als „Silencio arqueológico" bekannt) mit den ariden Bedingungen am Anfang des Mittelholozäns zusammen. Die mit den

yr B.P.	Chronologie		Schwermetalle (Profile Yavi 3 u. Palca 9)	Morphodynamik	Talfüllung Quebrada de Cajas bei Yavi Chico (Profile Chico 1 und Chico 2)		Siedlungsgeschichte			Menschlicher Einfluß auf die Landschaft	Klima im Vergleich zu heute
	SPÄTES HOLOZÄN	FRÜHES HOLOZÄN			Sedimentationsrate	Erosionsrate	Kulturstufen	Fundstelle (mit <sup>14</sup> C-Datierung)			
1.000	IIIb	IIIa		-	10 5 0 5 10 mm	10 5 0 5 10 cm	HISTORISCHE ZEIT	Frühes	Antigal de Yavi Chico ** * Casti 1 * La Palca	sehr groß	Klimaindikatoren stark anthropogen beeinflusst
2.000								Tardío			
3.000	IIc	IIb	Chloft und grüne Hornblende	-	10 5 0 5 10 mm	10 5 0 5 10 cm	ACKERBAUPERIODE	Medio	* Portillo	gering	etwas feuchter
4.000								Temprano			
5.000	IIa	I	grüne Hornblende	-	10 5 0 5 10 mm	10 5 0 5 10 cm	VORKERAMISCHE ZEIT	Protoarcaico	Fundleere ("Silencio arqueológico")	nicht vorhanden (entvölkert)	etwas arider
6.000											
7.000	I			-	10 5 0 5 10 mm	10 5 0 5 10 cm			* La Cueva	sehr gering	feuchter
8.000											
9.000									* La Cueva		
10.000											

Tabelle 5. Holozäne Morphogenese, Siedlungsgeschichte und Klimarekonstruktion im Einzugsgebiet des Río Yavi (Jujuy / Argentinien)

Trockenbedingungen verbundene Ressourcenknappheit war wahrscheinlich die Hauptursache der regionalen Entvölkerung.

Die Intensität, die dem anthropogenen Einfluß zugerechnet wird, ist eine qualitative Abschätzung der möglichen Folgen der Kulturaktivitäten, v.a. der Landnutzung der prähispanischen und historischen Bevölkerung im Einzugsgebiet des Río Yavi und wird durch eine zunehmende Tendenz bis zur historischen Zeit, u.a. als Ergebnis wachsender Siedlungsdichte und der intensiveren Landnutzung charakterisiert. Das Ausmaß der anthropogenen Prägung der Landschaft während der letzten 2000/1500 Jahre, erschwert das Erkennen der klimatischen Indikatoren, welche diese Phase charakterisieren.

Aus den im Einzugsgebiet des Río Yavi verfügbaren Indikatoren und deren Untersuchung zeichnen sich im Holozän, wie dargestellt worden ist, mehrfache Änderungen der Landschafts- und Umweltbedingungen ab. Dabei können drei größere Phasen unterschieden werden.

### **7.1 Phase I, Frühholozän (10500 - 8300 yr B.P.)**

In dieser Phase begann die Akkumulation der Sedimente der Terrasse I. Sie ist in den Arbeitsgebieten Chalhualmayoc und Casti durch basale fluviale Schotter und humose Sedimente charakterisiert. Nach der größeren hydrodynamischen Kompetenz sowohl in den Quebradas als auch in den Tributären, ist anzunehmen, daß dieser Zeitraum feuchter als die Gegenwart war.

Die Abgrenzung gegen die mittelholozänen Ablagerungen entspricht eher einem Übergang, der im Zeitraum zwischen  $9260 \pm 70$  yr B.P. (Profil Casti 4) und  $7430 \pm 110$  yr B.P. (Beta 104.252, Profil Chalhualmayoc 2) zu suchen ist. Phase I entspricht der Besiedlung des Precerámico Inferior, welche bei der archäologischen Ausgrabung „La Cueva de Yavi“ (mit  $^{14}\text{C}$ -Datierungen zwischen  $10450 \pm 55$  yr B.P. und  $8320 \pm 260$  yr B.P., J. A. Kulemeyer, 1998) belegt wurde. Solange keine weiteren Altersbestimmungen vorliegen, soll die Abgrenzung tentativ mit dem



mittleren Wert von 8300 yr B.P. verbunden werden, das ist die Zeit der Aufgabe der frühholozänen Besiedlungstelle „La Cueva de Yavi“. Dieser Ort war zeitweilig von nomadischen Jäger- und Sammler-Gruppen bewohnt, deren Einfluß auf die Umwelt als sehr gering einzuschätzen ist.

## **7.2 Phase II, Mittelholozän (8300 - 2000/1500 yr B.P.)**

In allen untersuchten Gebieten ist das Vorkommen repräsentativer Akkumulationen dieser Phase zu beobachten. Die obere Grenze von Phase II entspricht dem Ende der Akkumulation von Terrasse I. Aus den Prozessen, Formen und akkumulierten Sedimenten, die zu dieser Phase gehören, lassen sich folgende Landschaftsmerkmale rekonstruieren:

1. Sehr trockene bis trockene Bedingungen, mit Vorherrschen der äolischen Morphodynamik und mit einem mehr oder weniger ganzjährigen aber insgesamt reduzierten Gebietsabfluß.
2. Die Entstehung von Deflationswannen und Dünen auf der Punahochfläche, insbesondere am Anfang der Phase.
3. In den Tälern ist diese Phase durch die Ablagerung von fluvialen Sedimenten mit abnehmender Sedimentationsrate gekennzeichnet.

Innerhalb der Phase II kann man 3 Abschnitte unterscheiden:

Der erste Abschnitt (IIa, 8300 - 6100 yr B.P.) ist durch die niedrigste Abflußintensität des Holozäns bzw. große Sedimentationsraten sowie das Fehlen von Sedimentablagerungen aus höheren Lagen charakterisiert. Dieser Zeitraum entspricht dem „Silencio arqueológico“, d.h. dem Zeitabschnitt des Aussetzens archäologischer Fundstücke. Das rekonstruierte Landschaftsbild läßt aride Klimabedingungen erkennen. Die obere Grenze von Phase II entspricht dem unteren Abschnitt des Schwermineralspektrums im Profil Yavi 3.

Der zweite Abschnitt (IIb, 6100 - 3600 yr B.P.) zeigt eine leichte Zunahme der Abflußintensität bzw. eine allgemeine Abnahme der Sedimentationsrate in den Tälern. Die Talsedimente zeigen u.a. laminierte und/oder alternierende Schichtung des organischen und mineralischen Materials sowie der Schwerminerale. Sie

erlauben es, die Existenz von saisonalen (Winter-Sommer-Zyklus) und / oder interannuellen klimatischen Schwankungen anzunehmen. Bezüglich der letztgenannten kann man Episoden mit intensivem Niederschlag erkennen, während derer ein Transport von Feinsedimenten in den Talgrund stattfand; diese wechselten sich mit Episoden größerer Oberflächenstabilität ab, die die Ausbildung einer Vegetationsdecke erlaubten. In zunehmendem Maße besiedelte die prähistorische Bevölkerung das Land wieder. Die belegte Fundstelle dieses Zeitraums ist das „Sitio arqueológico La Palca“ im Profil Palca 8 mit einem  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $4790 \pm 50$  yr B.P. (Beta 104.255). Die Klimabedingungen waren während dieses Abschnittes etwas feuchter (semiarid) im Vergleich zur vorhergehenden Phase. Die obere Grenze von Abschnitt IIb entspricht einem mittleren Wert aus verschiedenen beobachteten Prozessänderungen, wie der Abnahme der Sedimentationsrate um 4000 yr B.P. im Profil Palca 9 und um 3700 yr B.P. bei Yavi Chico, der Ablösung der laminierten tonigen- und humusreichen Sedimente durch einen Schotterfächer um 3500 yr B.P. und der Bildung von Torflagen ab 3000 yr B.P.

Der dritte Abschnitt (IIc, 3600 - 2000/1500 yr B.P.), ist durch weitere Verringerung der Akkumulation in den Talböden charakterisiert. In der Quebrada Chalhualmayoc setzt vor mindestens 3000 yr B.P. im Flußbett die Entwicklung eines Torfmoors ein (Profil Chalhualmayoc 1). Ein gekappter Boden (Profil Chalhualmayoc 2) wird versuchsweise mit einem auf der Ostabdachung der Sierra de Santa Victoria in 4200m ü.M. entwickelten Paläoboden, der mit  $^{14}\text{C}$  auf  $3550 \pm 70$  yr B.P. datiert wurde (Zipprich, 1998), korreliert. Eine Vegetationsdecke fixierte teilweise die äolischen Sedimente des Altiplanos und die Sedimente in den Tälern. Die archäologische Fundstelle im Profil Chico 1 ergab den Fund direkter Vorgänger der Ackerbaukulturen und wurde auf  $3570 \pm 50$  yr B.P. datiert (Beta 104.258). Die Klimabedingungen waren wahrscheinlich semiarid, aber etwas feuchter als im vorhergehenden Abschnitt.

### **7.3 Phase III, Spätholozän (2000/1500 yr B.P. - Gegenwart)**

Diese Phase wird durch ein geomorphologisches Archiv gekennzeichnet, das mit der wichtigen Besiedlung durch die prähispanische Yavi-Kultur und während der

historischen spanischen Zeit assoziiert ist. Die herausragenden morphodynamischen Tendenzen der Phase III sind die Zunahme des Oberflächenabflusses auf der Puna und die Eintiefung der Täler.

Während dieser Phase wurde die Landschaft in zunehmendem Maße durch die andinen Kulturen geprägt bzw. der Mensch begleitete die Änderung der Landschaft. Die Ackerbaukulturen sind an verschiedenen archäologischen Stellen vertreten, die Ortschaften einschließen. Alle liegen sie in der Nähe der großen Quebradas, an jenen Orten, wo man die größte Erstreckung kultivierbaren Landes und das beste Weidegras findet. Die Verteilung der archäologischen Ackerbaufundstellen ist derjenigen der aktuellen Ortschaften ähnlich, woraus man vermuten kann, daß es, zumindest für die letzten 1850 Jahre eine im Prinzip räumliche Kontinuität der Landnutzung gab.

Der anthropogene Einfluß auf die Landschaft kann - in Übereinstimmung mit den Vorstellungen von Ruthsatz (1983) für den argentinisch-bolivianischen Altiplano – vor allem als Ergebnis des Weidedrucks erklärt werden. Die Überweidung führte zur Reduktion der Krautschicht, ersatzweise mit Ausbildung einer Zwergstrauchschicht und insgesamt zur Verringerung der Vegetationsbedeckung der Böden. Folgeerscheinungen waren zunehmende Bodenerosion, eine abnehmende Infiltrationskapazität des Bodens im Bezug auf den Niederschlag und damit weiter zunehmender flächenhafter Oberflächenabfluß. In den Tälern, wo der oberirdische Abfluß sich vereinigt, erhöhte sich damit zunehmend die Abflußspitze der Bäche. Eine andere anthropogene Aktivität, die zumindest lokal die Degradation der Landschaft begünstigte, ist die Ausbeutung pflanzlicher Ressourcen, insbesondere der Zwergsträucher auf der Punahochfläche als Brennmaterial.

Der starke menschliche Einfluß bietet wenig Möglichkeit einer Auswertung der Klimabedingungen aufgrund der Landschaftsentwicklung während der letzten 2000/1500 yr B.P. Den einzigen Hinweis auf etwas feuchtere Bedingungen am Beginn dieser Phase bietet möglicherweise die Entwicklung eines Auenbodens, der im Profil Casti 1 auf  $1860 \pm 50$  yr B.P. datiert wurde (Beta 104.245).

Da Beweise anfänglicher Degradationsprozesse meistens durch die weitere

Entwicklung verlorengehen, wird vorgeschlagen, eine Unterscheidung innerhalb der Phase III in 2 Abschnitte (vor und nach der Eroberung durch die Spanier) aufgrund des Wechsels der Landnutzung bzw. des zu erwartenden Einflusses auf die Landschaft vorzunehmen.

Die Befunde aus dem „Antigal de Yavi Chico“ (vgl. Kap. 5.2.1) stützen diesen Vorschlag: Dort wurde bis vor ca. 450 Jahren auf einer heute mehr als 30m über dem Talboden liegenden Terrasse noch Bewässerungsfeldbau betrieben. Das stützt die Annahme, daß die Erosion nach der Ankunft der Spanier beschleunigt wurde. In vorkolonialer Zeit konnte die Eintiefung nicht so ausgeprägt gewesen sein, da Bewässerung mit einem dazu notwendigen Kanalanschluß zum Vorfluter möglich war.

Der erste Abschnitt (IIIa, 2000/1500 - 450 yr B.P.) ist durch die Begründung und Entwicklung der „Yavi- Kultur“ charakterisiert. Man kann davon ausgehen, daß diese Kultur eine besonders im Vergleich mit den ersten Ackerbaukulturen höhere Bevölkerung hatte und eine intensivere Nutzung der Punatäler und der umgebenden Gebiete betrieb. Die Beweidung mit Cameliden auf der Punahochfläche wie auch in den Flußtälern verursachte eine Verminderung der Krautschicht und hatte eine Verringerung der Bodenbedeckung bzw. Zunahme des Oberflächenabflusses zur Folge.

Die durch den Menschen verursachten Veränderungen der Abflußverhältnisse, Boden- und Pflanzendecke sowie der Morphodynamik sind die ersten Belege einer prähispanischen Desertifikation in der Region, die während des folgenden Abschnittes IIIb fortgesetzt- und intensiviert wird.

Der letzte Abschnitt (IIIb, 450 yr B.P. - Gegenwart) ist durch die weitere Degradation der Umwelt gekennzeichnet, die in Verbindung mit der hispanischen Landnahme steht. In Yavi brachte die hispanische Besiedlung einen generellen kulturellen Umbruch mit sich, den Umgang mit der Umwelt eingeschlossen. Während dieser Phase bildete sich die Terrasse III als Folge einer Ablagerungsepisode. Die Einschneidung der Flußläufe setzt sich fort mit einer rezenten Rate, deren Werte bis zu 10cm/Jahr geschätzt werden (vgl. Tab. 5). Weiterhin werden in den Tälern andere

Abtragungsprozesse aktiv als Begleiterscheinung der Eintiefung, so die Rutschungen bei Yavi. Die Bodenerosion auf der Punahochfläche wird intensiviert.

Bedingt durch die Größe des anthropogenen Einflusses auf die Landschaft war es nicht möglich, klare klimatische Indikatoren zu erhalten, welche diese Phase charakterisieren. In Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen aus der Region (Prieto y Herrera, 1992; Prieto et al. 1998; Zipprich 1998; Reizner, 1998) existierten offenbar kurzfristige klimatische Schwankungen in einem Rahmen genereller Umweltbedingungen, die nicht viel von den rezenten abwichen. Vor allem in Trockenperioden wird die Bodenerosion durch Überweidung auf Gelände, dessen Vegetation klimatisch dezimiert war, besonders zugenommen haben.

Die Mechanismen des anthropogenen Einflusses waren im Prinzip denen der prähispanischen Zeit ähnlich, einige Besonderheiten kamen jedoch in diesem Abschnitt IIIb hinzu. Die Einführung von Vieh aus der Alten Welt (Esel, Kühe, Schafe, Ziegen) als teilweiser oder völliger Ersatz der einheimischen Cameliden hatte eine größere Zerstörung der Vegetationsbedeckung zur Folge, was eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber der Bodenerosion verursachte. Außerdem wandelte sich die Region während der Kolonialzeit zu einem Produzenten land- und viehwirtschaftlicher Erzeugnisse, die nicht nur für den lokalen Markt, sondern auch zum Export, besonders in das große Konsumzentrum jener Zeit, die etwa 750 km nördlich vom Untersuchungsraum gelegene Silbermine von Potosí (Bolivien), vorgesehen waren. Diese ökonomische Orientierung der Viehzucht führte zu einer starken Überbeanspruchung der Vegetationsdecke, sowohl in den Auen und auf den feuchten Weiden der Täler, wie auch auf der Hochebene.

Gegenwärtig dauern die Folgen der prähispanischen und historischen Degradation mit dem Fortgang einer bedeutsamen Desertifikation an. Die modernen sozialen Prozesse, die zu einer Migration (permanent wie saisonal) der Puna-Bewohner zwecks Arbeitsuche Anlaß gaben, die Schaffung von Arbeitsplätzen, die in keiner Verbindung zur Feldarbeit stehen (z.B. staatliche Anstellungen) und die Eröffnung von Läden trugen zwar dazu bei, den anthropogenen Einfluß auf die Landschaft zu mildern, vermögen bislang jedoch nicht, den schwerwiegenden Prozeß der Desertifikation zu stoppen.

## 8 ZUSAMMENFASSUNG

Im Einzugsgebiet des Río Yavi auf der trockenen Nordpuna in Nordwest-Argentinien (Höhenlagen um 3500m ü.M.), belegen paläoökologische Indikatoren, vor allem fluviale Akkumulationsterrassen und Dünen, Zeitabschnitte unterschiedlicher morphodynamischer und klimatischer Bedingungen im Holozän, die von den heutigen z.T. deutlich abweichen. Im Zentrum dieser Arbeit steht die sedimentologische Untersuchung der fluvialen Talfüllungen. Sie stellen Ablagerungen bzw. paläoökologische Archive mit zeitlicher Kontinuität über weite Strecken des Holozäns dar und konnten durch eine, für Trockengebiete große Anzahl von <sup>14</sup>C-Altersbestimmungen (38 Probedatierungen) und darüberhinaus mit Hilfe archäologischer und historischer Funde korreliert und chronologisch eingeordnet werden.

Als Arbeitsgrundlage wurden 30 Aufschlussprofile in fünf verschiedenen Teilbereichen des Einzugsgebietes aufgenommen, wobei der Untersuchungsschwerpunkt auf der Stratigraphie und den ableitbaren Paläoumweltbedingungen lag. In der Abfolge von fluvialen Akkumulations- und Eintiefungstendenzen machen sich besonders effektive Änderungen der dominierenden geomorphologischen Verhältnisse und Prozesse bemerkbar. Aufgrund der besonders guten Datierungslage kann insgesamt die holozäne Landschaftsgeschichte zeitlich recht gut dokumentiert werden.

An ausgewählten Profilen wurden detailliertere Untersuchungen durchgeführt, um den Fragen nach der Herkunft (Ausgangsgestein und Abtragungsprozesse) des Materials der holozänen Talfüllungen nachzugehen. Dazu gehörte die Analyse von Vergleichsproben von Dünensanden und aus plio-pleistozänen Sedimentgesteinen im Einzugsgebiet.

Die Talsedimente bestehen überwiegend aus mächtigen Feinsedimentablagerungen mit Vegetationsresten und einem hohen C-Gehalt. Sie zeigen, daß der Talboden zur Akkumulationszeit ein feuchter Vegetationsstandort mit

einer dichten Pflanzendecke war. Die Mehrheit der Talsedimente leitet sich aus dem Material der Dünen und Flugsanddecken der Punahochfläche der Umgebung ab. Das wird interpretiert als Hinweis auf eine äolisch geprägte Morphodynamik außerhalb der Täler. Ein ganzjährig geringer Abfluss (geringe Transportkraft der Fließgewässer) mit permanenter bzw. überwiegender Akkumulationstendenz charakterisiert dagegen die Gerinne.

Akkumulation dominierte während eines Großteils des Holozäns in den Tälern des Río Yavi, wobei die mächtige Terrasse I gebildet wurde. Darauf folgte eine Erosionsphase mit zwei kurzen Ablagerungsepisoden (Terrassen II und III). Insgesamt lassen sich im Río Yavi Einzugsgebiet drei größere Phasen der holozänen Landschaftsentwicklung unterscheiden:

Phase I, Frühholozän (10.500 - 8300 yr B.P.): In dieser Phase begann unter feuchteren Klimabedingungen als heute die Akkumulation der Sedimente der Terrasse I, die durch basale fluviale Schotter aber auch lokal durch humose Sedimente vertreten sind. Zu dieser Zeit und unter diesen Umweltbedingungen besiedelten nomadische Jäger- und Sammler-Gruppen die Region, belegt durch die archäologische Ausgrabung „La Cueva de Yavi“.

Phase II, Mittelholozän (8300 - 2000/1500 yr B.P.): Diese Phase ist durch trockene bis sehr trockene Bedingungen, mit Vorherrschaft der äolischen Morphodynamik und einem mehr oder weniger perennierenden aber reduzierten Gerinneabfluß charakterisiert. In den Tälern werden feinkörnige fluviale Sedimente abgelagert, wobei die Sedimentationsrate mit der Zeit abnimmt. Phase II läßt sich in drei Zeitabschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt (IIa, 8300 - 6100 yr B.P.) ist durch aride klimatische Bedingungen charakterisiert mit der niedrigsten Abflußintensität des Holozäns und einer großen Sedimentationsrate. Dieser Abschnitt entspricht dem „Silencio arqueológico“, d.h. dem Zeitintervall, in dem aufgrund der schlechten Umweltbedingungen Spuren des Menschen fehlen. Im zweiten Abschnitt (IIb, 6100 - 3600 yr B.P.) waren die Klimabedingungen vergleichsweise etwas feuchter (semiarid?). In den Tälern ist eine Abnahme der Sedimentationsrate festzustellen, was als Ergebnis einer Zunahme der Abflußintensität gedeutet werden kann. Starkregenfälle führten zu einem Eintrag von Sedimentkomponenten aus

höhergelegenen Teilen des Untersuchungsraumes. In zunehmendem Maß besiedelte jetzt die prähistorische Bevölkerung das Land. Während des dritten Abschnittes (IIc, 3600 - 2000/1500 yr B.P.) endete die Akkumulation der Terrasse I. Die Klimabedingungen waren während dieses Zeitraumes ebenfalls trocken, aber tendenziell feuchter als im vorhergehenden Abschnitt. Das führte zu einer fortschreitenden Verringerung der Akkumulation in den Talböden. Auf dem Altiplano ist eine zunehmende Vegetationsbedeckung mit Bodenbildung und Fixierung der äolischen Sedimente anzunehmen. Morphodynamische Stabilität mit Bodenbildung macht sich stellenweise auch in Talsedimenten bemerkbar. In diesen paläoökologischen Rahmen gehört archäologisch das erste Auftreten von Vorgängern der Ackerbaukultur.

Phase III, Spätholozän (2000/1500 yr B.P. - Gegenwart): Die letzte Phase der Landschaftsentwicklung wird durch die fortschreitende Besiedlung und anthropogene Landnutzung, vor allem Weidewirtschaft, in der Zeit der prähispanischen Yavi-Kultur und in historischer Zeit geprägt. Die herausragenden geomorphologischen und landschaftsrelevanten Vorgänge dieser Phase sind die Zunahme des Oberflächenabflusses auf dem Punaplateau und die Eintiefung der Täler. Zunehmende Überweidung führte zu einer Abnahme der Vegetationsbedeckung mit dem Resultat zunehmenden Oberflächenabflusses und damit Oberflächenabtrags. Durch die Bodenerosion und die dadurch verringerte Infiltrationskapazität wurde dieser Prozeß weiter verstärkt. In den Tälern mußte es dementsprechend zu einer Erhöhung des Gesamtabflusses kommen bei wachsenden Schwankungen im Abflußregime. Geomorphologisch bedeutete dies zunehmende Erosion und Taleintiefung mit intermittierenden untergeordneten Akkumulationstendenzen. Innerhalb der Phase III lassen sich zwei Abschnitte unterscheiden. Der erste Abschnitt (IIIa, 2000/1500 - 450 yr B.P.), d.h. die Zeit vor der Conquista ist durch die Entwicklung der „Yavi-Kultur“ charakterisiert. Diese Kultur hatte eine im Vergleich mit den Ackerbaukultur-Vorgängern höhere Bevölkerung und betrieb eine wesentlich intensivere Nutzung der Punatäler und der umgebenden Gebiete. Eine Ablagerungsepisode bildete die Terrasse II, die allerdings nur lokal erhalten ist. Der zweite Abschnitt (IIIb, 450 yr B.P. - Gegenwart), entspricht der Zeit nach der Eroberung der Region durch die Spanier. In dieser Zeit bildete sich u.a. die Terrasse III. Die Mechanismen des anthropogenen Einflusses waren im Prinzip die gleichen



wie im vorigen Zeitabschnitt, allerdings von stärkerer Intensität. Eine wesentliche Rolle spielte dabei eine geänderte Viehhaltung sowie der wirtschaftliche Wandel der Region zu einem Produzenten und Lieferanten land- und viehwirtschaftlicher Erzeugnisse. Das führte insgesamt zu einer verstärkten Aktivierung der ariden Morphodynamik, deren Auslöser aber ein im wesentlichen anthropogener ist.

## **ABSTRACT**

The study area is the Yavi River basin, which is located in the northern part of the Puna plateau in NW-Argentina at altitudes around 3500 m a.s.l.. Within the Yavi River basin investigations of paleoecological indicators, mainly fluvial terraces and dunes, provide evidence for periods during the Holocene, which were characterized by morphodynamic and climatic conditions substantially different from today. The main focus of this study was the sedimentological analysis of the fluvial deposits. These sediments represent continuous paleoecological archives covering most of the Holocene. In addition, a thorough correlation and establishment of a chronological frame was achieved making use of archeological and historical remains as well as a total number of 38 radiocarbon dates (which is considered a remarkable number in dryland areas).

Forming the base for this study, 30 profiles at outcrops in five different areas/parts of the study area have been described and documented, mainly in order to reconstruct stratigraphical and paleoenvironmental conditions. In this context, the succession of fluvial accumulation and subsequent incision reflects the more effective changes of the predominant geomorphic conditions and processes. Particularly owing to the well-established absolute chronology, it has therefore been possible to reconstruct a precise Holocene landscape history for the study area. Detailed analysis of selected profiles were carried out in order to determine the provenance (parent rock, source area and type of transport) of the sedimentary material of the valley fills. For this purpose a set of dune sands as well as Plio-Pleistocene sediments cropping out in the study area was used as comparative samples.

The sediments of the valley fill are mainly composed of thick accumulations of fine sand, containing plant remains and being characterized by a high carbon

content. For the time of deposition this implies relatively humid conditions and a dense vegetation cover throughout the valley bottom. To a large extent the sedimentary material originates from dunes and sand sheets of the surrounding Puna plateau. This could be interpreted as evidence for predominant aeolian morphodynamics on the plateau outside the valleys. In contrast the streams are characterized by reduced but perennial discharge (low transport capacity of the fluvial streams), resulting in a dominant if not permanent accumulation tendency.

During most of the Holocene aggradation predominated within the valleys of the Yavi River. This led to the accumulation of the thick terrace I, followed by an erosional phase and two short intervals of accumulation (terraces II and III). This way three main episodes of Holocene landscape evolution can be distinguished within the study area:

Phase I - Lower Holocene (10500 – 8300 B.P.): Under more humid climate conditions than present, in this phase the accumulation of terrace I commenced. A basal gravel layer, but locally also humic sediments are characteristic for the sediments of this terrace. Archeological excavations of the site “La Cueva de Yavi” prove the presence of nomadic groups of hunters-collectors who occupied the area during this phase.

Phase II – Mid-Holocene (8300 – 2000/1500 B.P.): This phase was characterized by dry to very dry conditions, with predominance of aeolian morphodynamics and reduced but permanent surface runoff in the valleys. Fine river sediments were deposited while the accumulation rate of the sediments gradually decreased. Phase II can be subdivided in three periods. During the first period (IIa 8300 – 6100 B.P.) climatic conditions were arid, resulting in the lowest runoff intensity of the entire Holocene and a high rate of sedimentation. This period corresponds to the “Archeological Silence”, an interval without any archeological findings.

During the following period (IIb 6100 – 3600 B.P.), climatic conditions became somewhat more humid (semiarid climate?). In the valleys, a reduction of the sedimentation rate took place, which is considered to be the result of an increase in runoff intensity. Intense precipitation events transferred sediments from the higher

parts of the Yavi River basin to the valleys. Progressively, the repopulation of the area commenced.

In the third period (IIc 3600 - 2000 / 1500 B.P.), the accumulation of Terrace I ended. Climatic conditions were still dry, but somewhat more humid than in the preceding period, causing the progressive reduction of accumulation rates in the valleys. On the high plateau, plant cover might have become denser, going along with the development of soils and partial fixation of wind sediments. This morphodynamic stability reflected by the soil development can partially be observed in the sediments of the valley fill as well. Within this palaeoecological frame, the first agrarian / pottery cultures in the area developed.

Phase III – Upper Holocene (2000 / 1500 B.P. – Present): The youngest phase of landscape development was characterized by increasing occupation and intensified land use (especially herding) by the Yavi culture during Prehispanic and later historical times. An increased surface runoff in the high Puna plateau and the valley incision have been inferred to be the most important geomorphological processes in this phase.

Increased grazing and a reduction of plant cover eventually resulted in an increase of surface runoff, causing processes of surface denudation. Soil erosion and subsequent reduction of infiltration capacity consequently amplified these processes. Under pronounced seasonality, the total runoff significantly increased in the valleys. Geomorphologically, this was reflected by a progressive phase of erosion, going along with the incision of the valleys but also episodic accumulations. Within phase III, two different periods have been distinguished. The first period (IIIa 2000 / 1500 - 450 B.P.) – preceding the Spanish conquest – is characterized by the development of the “Cultura Yavi”. Compared to the preceding agrarian / pottery cultures, this culture had a larger population and intensified the use of the Puna valleys and their adjacent areas. An episode of accumulation allowed the formation of Terrace II, which is preserved only in one location. The second period (IIIb 450 B.P. – Present) corresponds to the times of the Spanish conquest in the area. The accumulation of Terrace III took place in this period. While the mechanisms of anthropogenic control on landscape development were similar to those of the preceding period, the

processes became more intense. In this context, the changes in grazing practices and the increasing economic importance of the region regarding agricultural and livestock production are thought to have contributed to this development. Finally this caused the overall intensification of processes inherent to the arid morphodynamic system, essentially triggered by anthropogenic influence.

## RESUMEN

En la cuenca del río Yavi, ubicada en el sector norte de la Puna del Noroeste Argentino, con alturas de aproximadamente 3500 m s.n.m.), los indicadores paleoecológicos, principalmente terrazas de acumulación fluvial y dunas, reflejan la existencia de intervalos durante el Holoceno con condiciones morfodinámicas y climáticas que, en parte, difieren marcadamente de las actuales. El objeto principal fue el estudio sedimentológico de las acumulaciones fluviales. Ellas representan acumulaciones así como archivos paleoclimáticos con continuidad temporal a lo largo de gran parte del Holoceno y pudieron correlacionarse y ordenarse cronológicamente, a través de fechados  $^{14}\text{C}$  (38 muestras, lo que representa una cantidad importante, considerando que se trata de una región seca) y el apoyo adicional mediante restos arqueológicos e históricos.

Como base de la investigación, se levantaron 30 perfiles en cinco sectores de la cuenca, orientados principalmente a reconstruir la estratigrafía y las condiciones paleoambientales. En la sucesión de tendencias de acumulación y erosión fluvial, se reconocen especialmente cambios efectivos en las condiciones y procesos geomorfológicos. Debido a las excelentes posibilidades de realizar fechados, se pudo documentar temporalmente con precisión la historia del paisaje durante el Holoceno.

En perfiles seleccionados, se realizaron estudios de detalle para dar respuesta a los interrogantes sobre la proveniencia (roca madre, área fuente y tipo de transporte) de los materiales que constituyen el relleno sedimentario holoceno. Para ello se realizó además el análisis de muestras de comparación en arenas de dunas y sedimentitas Plio-Pleistocenas que afloran en la cuenca.

Los sedimentos del valle se componen mayormente de potentes acumulaciones de materiales finos, con restos de vegetación y un alto contenido de carbono. Ellos comprueban que el fondo del valle constituía, al momento de su acumulación, un lugar húmedo, con una densa cobertura vegetal. La mayoría de los sedimentos del valle proviene de las dunas y la cobertura arenosa superficial de la altiplanicie puneña circundante. Esto se interpreta como evidencia de una morfodinámica predominantemente eólica fuera de los valles. Los cursos de agua, contrariamente, se caracterizaron por un escurrimiento reducido pero perenne y debido a la menor capacidad de carga, con una tendencia permanente o por lo menos, dominante, a la acumulación.

Durante la mayor parte del Holoceno, dominó la agradación en los valles, lo que dió lugar a la formación de la potente Terraza I. Siguió luego una fase de erosión con dos episodios de acumulación cortos (Terrazas II y III). En conjunto, se reconocen en la cuenca del Río Yavi tres grandes fases de desarrollo del paisaje durante el Holoceno:

Fase I, Holoceno Inferior (10.500 - 8300 yr B.P.): Bajo condiciones de clima más húmedo que las actuales, comienza en esta fase la acumulación de sedimentos de la Terraza I, representados por una acumulación base de gravas fluviales y también, localmente, por sedimentos humosos. En este momento, la región estuvo ocupada por grupos nómades de cazadores-recolectores, comprobadas localmente por las excavaciones arqueológicas en el sitio „La Cueva de Yavi“.

Fase II, Holoceno Medio (8300 - 2000/1500 yr B.P.): Esta fase se caracterizó por condiciones secas a muy secas, con el predominio de la morfodinámica eólica y un escurrimiento superficial reducido pero perenne. En los valles se acumularon sedimentos finos fluviales, con una tasa de sedimentación decreciente. La fase II pudo ser subdividida en tres momentos. El primer momento (IIa, 8300 - 6100 yr B.P.) se caracteriza por condiciones de clima árido, con la menor intensidad de escurrimiento del Holoceno y una elevada tasa de sedimentación. Este momento, corresponde al „Silencio arqueológico“, es decir, al intervalo en el cual no se conocen hallazgos arqueológicos. En el siguiente momento (IIb, 6100 - 3600 yr B.P.), las condiciones climáticas fueron algo más húmedas (clima semiárido?). En

los valles se produce una reducción de la tasa de sedimentación, lo que se considera como el resultado de un incremento de la intensidad del escurrimiento. Episodios de lluvias intensas, produjeron aportes de sedimentos provenientes de los sectores altos de la cuenca del Río Yavi. Progresivamente, se produce el repoblamiento de la región. En el tercer momento (IIc, 3600 - 2000/1500 yr B.P.), finaliza la acumulación de la Terraza I. Las condiciones climáticas fueron igualmente secas, pero algo más húmedas que en el momento anterior, lo que se reflejó en una nueva reducción de la tasa de acumulación en los valles. En la altiplanicie se habría incrementado la cobertura vegetal, con desarrollo de suelos y la fijación parcial de los sedimentos eólicos. La estabilidad morfodinámica con desarrollo de suelos también se observa parcialmente en los sedimentos del valle. En este marco paleoecológico, se desarrollan las primeras culturas agroalfareras en la región.

Fase III, Holoceno Superior (2000/1500 yr B.P. - Presente): La última fase de desarrollo del paisaje estuvo marcada por la ocupación y uso de la tierra creciente (especialmente pastoreo) por parte de la cultura prehispánica Yavi y en tiempos históricos. Los procesos geomorfológicos en esta fase fueron el incremento del escurrimiento superficial en la altiplanicie puneña y la incisión en los valles. El creciente pastoreo produjo una reducción de la cobertura vegetal, que resultó en un creciente escurrimiento superficial y con ello la erosión superficial. La erosión de los suelos y la consecuente reducción de la capacidad de infiltración de los mismos, dio lugar a que el proceso se continúe incrementándose. En los valles se produjo un incremento del escurrimiento total, con creciente variabilidad del régimen de escurrimiento en verano e invierno. Geomorfológicamente, se reflejó en una erosión progresiva, con incisión de los valles y acumulaciones episódicas. Dentro de la fase III, se reconocieron dos momentos. El primero (IIIa, 2000/1500 - 450 yr B.P.), anterior a la conquista española, se caracteriza por el desarrollo de la „Cultura Yavi“. Esta cultura tuvo, en comparación con las culturas agroalfareras que le precedieron, una mayor población y desarrolló un uso más intensivo de los valles puneños y sus inmediaciones. Un episodio de acumulación permitió la formación de la Terraza II, la cual está solo preservada en una localidad. El segundo momento (IIIb, 450 yr B.P. - Presente), es decir el momento a partir de la conquista española de la región. En este momento, se produce el episodio de acumulación de la Terraza III. Los mecanismos de la influencia antrópica fueron en principio similares a los que

caracterizaron a la cultura Yavi, pero de mayor intensidad. Los cambios en las prácticas de pastoreo y del nuevo rol de la economía regional, como productor de productos agrícolas y ganaderos tuvieron una marcada influencia en estos procesos. Esto condujo a la activación de la morfodinámica, cuyo desencadenante principal fue la influencia antrópica.

## 9 LITERATURVERZEICHNIS

ABBOTT, M.; M. BINFORD; M. BRENNER & K. KELTS (1997): A 3500 <sup>14</sup>C yr High-Resolution Record of Water-Level Changes in Lake Titicaca, Bolivia/Peru. *Quaternary Research* 47, 169-180.

ABRAHAM DE VAZQUEZ, E.; K. GARLEFF; H. LIEBRICHT; S. REGAIRAZ; F. SCHÄBITZ; F. SQUEO; H. STINGL; H. VEIT & C. VILLAGRAN (2000): Geomorphology and paleoecology of the Arid Diagonal in Southern South America. *Zeitschrift für Angewandte Geologie, Sonderheft SH1*: 55-61. Hannover.

ACEÑOLAZA, F. & A. TOSELLI (1981): Geología del Noroeste Argentino. Publ. Esp. Fac. Ciencias Naturales, Univ. Nac. de Tucumán. Publicación N° 1287. Tucumán.

AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4.Aufl. Schweizerbart, Stuttgart.

ALCALDE, J. & M. CAMACHO (1991): Geología e hidroquímica de la cuenca La Quiaca, Dto. Yavi, Jujuy. *Rev. del Inst. de Geol. y Minería* N° 8:17-37, Univ. Jujuy, Argentina.

ALCALDE, J. & KULEMEYER, J. (1999): The Holocene in the South-Eastern region of the Province Jujuy, North-West Argentina. *Quaternary International* 57-58: 113-116.

AMENGUAL, R.; V. MENDEZ; A. NAVARINI; O. VIERA & J. ZANETTINI (1979): Geología de la región noroeste, República Argentina, provincias de Salta y Jujuy. Dirección General de Fabricaciones Militares, escala 1:400.000. Buenos Aires.

ARGOLLO, J. & P. MOURGUIART (1998): Escenarios paleohidrológicos y paleoclimáticos de los últimos 25000 años en los Andes Bolivianos. *Bamberger Geographische Schriften* Bd. 15:1-16, Bamberg.



BIANCHI, A. & C. YAÑEZ, (1992): Las precipitaciones en el Noroeste Argentino (segunda edición). INTA Estación Experimental Agropecuaria Salta. Centro regional Salta - Jujuy.

BIANUCCI, H.; C. FERNANDEZ GARRASSINO & E. SÁNCHEZ (1987): Corrimientos de bajo ángulo entre La Quiaca y Abra Pampa (Pcia. de Jujuy, Argentina). X Congreso Geológico Argentino. Actas 1: 165-168.

BINFORD, M.; A. KOLATA; M. BRENNER; J. JANUSEK; M. SEDDON; M. ABBOTT & J. CURTIS (1997): Climate variation and the Rise and Fall of an Andean Civilization. *Quaternary Research* 47: 235-248.

BOBST, A.; T. LOWENSTEIN; T. JORDAN; L. GODFREY; T. KU & S. LUO (2001): A 106 ka paleoclimate record from drill core of the Salar de Atacama, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology* 173: 21-42.

BRUNOTTE, E., K. GARLEFF & H. STINGL (1988): Anthropogene Beeinflussung der Morphodynamik im Bolsón von Fiambalá / Nordwestargentinien. *Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl., III/41*: 307-327. Göttingen.

BULL, W. (1979): Threshold of critical power in streams. *Geological Society of America Bulletin*, Part I, 90: 453-464.

CABRERA, A. (1976): Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. segunda edición. Tomo 2-1. Bs. As.

CAMACHO, M. (2000): Dataciones radiocarbónicas de la Fase Tauca (Tardiglacial) en la Laguna de los Pozuelos, Puna Jujeña, Argentina. I Congr. Argentino de Cuaternario y Geomorfología, La Pampa.

CLADOUHOS, T.; R. ALLMENDINGER, B. COIRA & E. FARRAR (1994): Late Cenozoic deformation in the Central Andes: fault kinematics from the northern

Puna, northwestern Argentina and southwestern Bolivia. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 7, No 2: 209-228.

DOMINGUEZ, O. (1954): Geoedafología en el Departamento de Yavi. *Revista del Museo Municipal de Ciencias Naturales y Tradición*. Mar del Plata: 56-111.

ECHENIQUE, M. (1996): Desarrollo Histórico y Social de Yavi. Persistencia y Adaptación ante los procesos modernizantes en la Puna de Jujuy. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Jujuy. Jujuy.

FERNANDEZ, J. (1973): Primeros fechados radiocarbónicos de formaciones holocenas de la Puna, portadoras de materiales arqueológicos. *Actas V Congr. Geol. Arg. III*: 223-226. Neuquén.

FERNANDEZ, J. (1984): Variaciones climáticas en la Prepuna jujeña. Intervalo 5000 - 2000 años A.P. de interés para la arqueología. IANIGLA, *Anales* N° 6: 73-82, Mendoza.

FERNANDEZ, J.; V. MARKGRAF; H. PANARELLO; M. ALBERO, F. ANGIOLINI; S. VALENCIO. & M. ARRIAGA (1991): Late Pleistocene/Early Holocene environments and climates, fauna, and human occupation in the Argentine Altiplano. *Geoarchaeology* 6(3): 251-272.

FERNÁNDEZ, R. & E. FARÍAS (1985): La Formación El Mudadero (Holoceno Inferior?) en el sudoeste de la provincia de Tucumán y sus relaciones con unidades similares del norte de la República Argentina (compendio). III Reunión Grupo Periglacial Argentino. IANIGLA, Mendoza.

FERNÁNDEZ DISTEL, A. (1986): Las cuevas de Huachichocana, su posición dentro del precerámico con agricultura incipiente del Noroeste argentino. *KAVA*, Band 8 : 353-430, Bonn.

FERNÁNDEZ DISTEL, A. (1988/89): Ubicación temporal, a través de nuevos fechados radiocarbónicos del Complejo Cerámico San Francisco, Jujuy, Argentina. *Paleoetnológica* 5: 191-204. Buenos Aires.

GARCIA, L. (1995): Las primeras cerámicas en la Puna de Jujuy. *Cuadernos* N° 75-80. Jujuy.

GARLEFF, K., F. SCHÄBITZ, H. STINGL & H. VEIT (1991): Jungquartäre Landschaftsentwicklung und Klimageschichte beiderseits der Ariden Diagonale Südamerikas. *Bamberger Geographische Schriften* Bd. 11: 359-394, Bamberg.

GARLEFF; K. & H. STINGL (1996): Desarrollo del relieve durante el Cuaternario tardío en la región subtropical árida/semiárida de la alta cordillera argentina. El ejemplo de la Sierra de Famatina. *Münchner Geol. Hefte* 19 (A): 403-410.

GARLEFF, K., H. STINGL & H. VEIT (1993): New dates on the Late Quaternary history of landscape and climate in the Bolsón of Fiambalá/Argentina (Province Catamarca). *Zbl. Geol. Paläont.* Teil I (1/2): 333-341. Stuttgart.

GEROLD, G. (1981): „Desertifikation“ in Südbolivien - Untersuchungen im Badlandbereich des Andinen Beckens von Tarija. *Würzburger geog. Arb.* 53:73-109. Würzburg.

GEROLD, G. (1983): Vegetationsdegradation und fluviatile Bodenerosion in Südbolivien. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.-Bd.* 48. 1-16. Berlin. Stuttgart.

GEYH, M. (2000): Establishing a reliable chronology of lake level changes in the Chilean Altiplano: a result of close collaboration between geochronologists and geomorphologists. *Zbl. Geol. Pal.* Heft 7/8: 985-995.

GEYH, M. ; M. GROSJEAN, L. NUÑEZ & U. SCHOTTERER (1998): Der <sup>14</sup>C-reservoir-effekt der spätglazialen-frühholozänen humiden Phase in der Atacama-Wüste, Nordchile. *Terra Nostra* 98/5:183. Bayreuth.

GEYH, M.; M. GROSJEAN, L. NUÑEZ & U. SCHOTTERER (1999): Radiocarbon Reservoir Effekt and Timing of the Late-Glacial/Early Holocene Humid Phase in the Atacama Desert (Northern Chile). *Quaternary Research* 52: 143-153.

GONZALEZ; A. & J. PEREZ: (1972): Historia Argentina, Argentina Indígena, víspera de la conquista. Paidós, Buenos Aires.

GONZALEZ, A. & H. LAGIGLIA (1973): Registro nacional de fechados radiocarbónicos. Necesidad de su creación. *Relaciones. Soc. Arg. de Antropología*, Tomo VII, NS: 291-312.

GRAF, K. (1977): Nuevos datos palinológicos del Cuaternario alto de Bolivia. *Bol. Geol. del Serv. Geol. Bol. Serie A, Vol I, N° 1*.

GRAF, K. (1981): Palynological investigations of two Post-glacial peat bogs near the Boundary of Bolivia and Peru. *Journal of Biogeographie* 8: 353-368.

GRAF, K. (1986): Klima und Vegetationsgeographie der Anden, Grundzüge Südamerikas und pollenanalytische Spezialuntersuchung Boliviens. *Schriftenreihe Phys. Geogr., Univ. Zürich, Vol. 19: 147 S.*

GRAF, K. (1992): Pollendiagramme aus den Anden. Eine Synthese zur Klimageschichte seit der letzten Eiszeit. *Schriftenreihe Phys. Geogr., Univ. Zürich, Vol. 34: 138 S.*

GROSJEAN, M. (1994): Paleohydrology of the Laguna Lejía (north Chilean Altiplano) and climatic implications for late-glacial times. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 109: 89-100.

GROSJEAN, M. (1998): Late Quaternary humidity changes in the Atacama Altiplano: regional, global climate signals and possible forcing mechanisms. *Zbl. Geol. Paläont. Teil, H. 3-4*.

GROSJEAN, M. (2001): Mid-Holocene Climate in the South-Central Andes: Humid or Dry?. *Science* 292: 2391.

GROSJEAN, M. & L. NUÑEZ (1994): Lateglacial, Early and Middle Holocene Environments, Human Occupation, and Resource Use in the Atacama (Northern Chile). *Geoarchaeology*, 9: 271-286.

GROSJEAN, M.; L. NUÑEZ; I. CARTAJENA & B. MESSERLI (1997): Mid-Holocene climate and culture change in the Atacama Desert, Northern Chile. *Quaternary Research* 48: 239-246.

GROSJEAN, M.; J. VAN LEEUWEN; W. VAN DER KNAAP; M. GEYH; B. AMMANN; W. TANNER; B. MESSERLI; L. NUÑEZ; B. VALERO-GARCES & H. VEIT (2001): A 22.000 <sup>14</sup>C year B.P. sedimente and pollen record of climate change from Laguna Miscanti (23°S), northern Chile. *Global and Planetary Change* 28: 35-51.

GROSJEAN, M; I. CARTAGENA, M.A. GEYH, L. NÚÑEZ (2003): From proxy data to paleoclimate interpretation: the mid-Holocene paradox of the Atacama Desert, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194: 247-258.

HAERRE, W. (1968): Die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs in Böden nach dem Chromschwefelsäure-Verfahren. *Geol. Jb.* 85, S. 407-434.

HANSEN, B. & D. RODBELL (1995): A late-glacial/Holocene pollen record from the eastern Andes of Northern Peru. *Quaternary Research* 44:216-227.

IGARZÁBAL, A. (1993): Sedimentación y evolución morfológica cuaternaria del bolsón de Pozuelos (Depto. Rinconada - Pcia. de Jujuy). Guía de Campo provincia de Jujuy. VI reunión de campo del Cuaternario. Cadinqua-Univ. Nac. de Jujuy: 48-53.

IRIONDO, M. (1992): El Chaco. *El Holoceno en la Argentina*, Vol. 1: 50-63. M. Iriondo (Hg.), Cadinqua.

IRIONDO, M. & N. GARCIA (1993): Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 101: 209-220.

JORDAN, E. (1981): Die rezenten Dünengebiete Boliviens und Ihre regional-genetische differenzierung. *Würzburger Geogr. Arb.*, H. 53, Geograph. Probleme in Trockenräumen der Erde: 159-194, Würzburg.

KIEGEL, H. (2001): Rezente und historische Erosionsprozesse und ihre anthropogenen Beeinflussungen im Einzugsgebiet des Río Yavi, Argentinische Puna. Dissertation, Universität zu Köln, 182 pp.

KENNAN L., S. LAMB & C. RUNDLE (1995): K-Ar dates from the altiplano and Cordillera Oriental of Bolivia: implications for Cenozoic stratigraphy and tectonics. *Jour. of South American Earth Sciences*, vol. 8, n° 2: 163-186.

KRAPOVICKAS, P. (1973): Arqueología de Yavi Chico (provincia de Jujuy, República Argentina). *Rev. del Inst. de Antropología de la Univ. Nac. de Córdoba*, N° IV. Córdoba.

KRAPOVICKAS, P. (1977): Arqueología de Cerro Colorado (Departamento Yavi, provincia de Jujuy, República Argentina). *Obra del Centenario del Museo de La Plata*, T II: 123-148.

KRAPOVICKAS, P. (1987-88): Nuevos fechados radiocarbónicos para el sector oriental de la Puna y la Quebrada de Humahuaca. *Runa*, vol. XVII-XVIII: 207-220, Buenos Aires.

KRAPOVICKAS, P. (1992): Las vinculaciones entre instalaciones prehistoricas y actuales Yavi Chico, Cerro Colorado Sitio 1 y Yavi. *Cuadernos 3 Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales*. UNJu.

KULEMEYER, J. A. (1998): El uso de los recursos naturales entre los cazadores-recolectores tempranos del borde oriental de la Puna. *Bamberger Geographische Schriften* Bd. 15, S. 236-255, Bamberg.

KULEMEYER, J. A.; L. LAGUNA & A. VIANA (1989): Arqueología del sitio La Cueva de Yavi y zonas aledañas (Departamento de Yavi, Provincia de Jujuy). Breve reseña. *Cuadernos* N° 1, Fac. de Hum. y Cs. Soc., UNJu.

KULEMEYER, J. A.; L. LUPO; J. J. KULEMEYER & L. LAGUNA (1999): Desarrollo paleoecológico durante las ocupaciones humanas del precerámico del norte de la Puna Argentina. *Bamberger Geographische Schriften* Bd. 19: 236-255. F. Schäbitz u. H. Liebricht (Hg.). Festschr. Zum 65. Geburtstag von Prof. Dr. K. Garleff. Bamberg.

KULEMEYER, J. J. (1988): Estratigrafía y evolución paleoambiental del cuaternario entre las localidades de Yavi y Yavi Chico (Depto. de Yavi, provincia de Jujuy). Trabajo de Seminario, Fac. de Cs. Nat. e Instituto Miguel Lillo, UNT. Inédito.

KULEMEYER, J. J. (1992): Génesis del abrigo La Cueva de Yavi y sus sedimentos asociados. *Cuadernos* 4, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales: 167-173, UNJu. Jujuy.

KULEMEYER, J. J. (1998): Holozäne Landschaftsentwicklung im Nordosten der Puna von Jujuy (Argentinien). *Terra Nostra* 5: 98.

KULEMEYER, J. J. & F. LOPEZ (1995-96): Reconocimiento de las materias primas líticas del sitio La Cueva de Yavi. *Estudios Atacameños* 12:19-30. San Pedro de Atacama.

KULEMEYER, J. J. & L. LUPO (1998): Evolución del paisaje bajo influencia antrópica durante el Holoceno Superior en la cuenca del río Yavi, Borde oriental de la Puna. Jujuy, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften* Bd. 15:256-268. Bamberg.

KULL, C. (1999): Modellierung paläoklimatischer Verhältnisse, basierend auf der jungpleistozänen Vergletscherung- ein Beispiel aus den nordchilenischen Anden. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Bd. 35, Heft 1: 35-64.

KULL, C. & M. GROSJEAN (1998): Albedo changes, Milankovitch forcing, and late Quaternary climate change in the central Andes. *Climate Dynamics* 14: 871-881.

LAGUNA, L. (1996): Arqueología del Sitio La Cueva de Yavi. Tesis de licenciatura. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. UNJu. Inédito.

LAVALLEE, D.; M. JULIEN & J. WHEELER (1982): Telarmachay: niveles precerámicos de ocupación. *Rev. Del Museo Nacional*. Tomo XLVI: 55-133. Lima, Perú.

LUPO, L. (1990): Palinología de una secuencia del Holoceno en el valle de Tafí, provincia de Tucumán, Argentina. *FACENA*, Ser. Cienc. Nat. 8:87-98, Corrientes, Argentina.

LUPO, L. (1998): Estudio sobre la lluvia polínica actual y la evolución del paisaje a través de la vegetación durante el Holoceno en la cuenca del río Yavi. Borde Oriental de la Puna, Noroeste argentino. Tesis Doctoral, Universität Bamberg.

LUPO, L. & M. ECHENIQUE (1995): Etnobotánica en la comunidad puneña de Yavi. Jujuy, Argentina. Parte I. *Parodiana*, N° 9. Buenos Aires.

MARKGRAF, V. (1985): Paleoenvironmental history of the last 10.000 years in Northwestern Argentina. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, T.1 (11/12): 1739-1748, Stuttgart.

MENSCHING; H. (1990): Desertifikation. Ein weltweites Problem der ökologischen Verwüstung in den Trockengebieten der Erde. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt. 170 S.



MESSERLI, B.; C. AMMANN; M. GEYH; M. GROSJEAN; B. JENNY; K. KAMMER & M. VUILLE (1998): The problem of the „Andean Dry Diagonal“: Current precipitation, late Pleistocene snow line, and lake level changes in the Atacama Altiplano (18°S-28°/29°S). *Bamberger Geog. Schriften*, Bd. 15:17-35.

MESSERLI, B.; M. GROSJEAN; G. BONANI; A. BÜRGI; M. GEYH; K. GRAF; K. RAMSEYER; H. ROMERO; U. SCHOTTERER; H. SCHREIER & M. VUILLE (1993): Climate change and natural resource dynamics of the Atacama altiplano during the last 18,000 years: a preliminary synthesis. *Mountain Res. And Dev.* 13 (2): 117-127, Berkeley.

MÜLLER, M. (1980): Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Forschungsstelle Bodenerosion Mertesdorf (Ruwertal), Univ. Trier. 2. verbesserte Auflage.

MURUAGA, C. (1990): Geología y estratigrafía del Grupo Salta en los alrededores de Yavi y Yavi Chico. Depto. Yavi-Provincia de Jujuy. Diplom Arbeit. Fac. de Cs. Nat., Univ. Nacional de Tucumán. 117 pp.

NUÑEZ, L.; M. GROSJEAN; B. MESSERLI & H. SCHREIER (1995-96): Cambios ambientales holocénicos en la puna de Atacama y sus implicancias paleoclimáticas. *Estudios Atacameños* 12:31-40. San Pedro de Atacama.

PADUANO, G.; M. BUSH; P. BAKER; S. FRITZ & G. SELTZER (2003): A vegetation and fire history of Lake Titicaca since the Last Glacial Maximum. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 194: 259--279.

PRIETO, M. & R. HERRERA (1992): Las perturbaciones climáticas de fines del siglo XVIII en el área andina. *Estudio del país del interior* N° 1:7-35, Junta de Andalucía, Sevilla.

PRIETO, M.; R. HERRERA & P. DUSSEL (1998): Clima y disponibilidad hídrica en el sur de Bolivia y noroeste de Argentina entre 1570 y 1710. Los documentos

españoles como fuente de datos ambientales. *Bamberger geogr. Schriften*, Heft 15: 35-56. Bamberg.

QUADE, J.; J. RECH; J. BETANCOURT & C. LATORRE (2001): Response to Grosjeans „Mid-Holocene Climate in the South-Central Andes: Humid or Dry?". *Science*, 292: 2391-2392.

REIZNER, B. (1998): Rekonstruktion der Klima- und Landschaftsgeschichte der Sierra de Santa Victoria, Provincia de Salta, Argentinien. Unveröffent. Diplomarbeit, Univ. Bayreuth.

RIVELLI, F. (1993): Las dunas de Abra Pampa y sus alrededores. Guía de campo, provincia de Jujuy. *VI reunión de campo del Cuaternario*, CADINQUA, Jujuy.

RUTHSATZ, B. (1974): Los arbustos de las estepas andinas del noroeste argentino y su uso actual. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* XVI: 27-45.

RUTHSATZ, B. (1977): Pflanzengesellschaften und ihre Lebensbedingungen in den Andinen Halbwüsten Nordwest - Argentinien. *Dissertationes Botanicae* Band 38:1-168.

RUTHSATZ, B. (1983): Der Einfluß des Menschen auf die Vegetation semiarider bis arider tropischer Hochgebirge am Beispiel der Hochanden. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* Bd. 96: 535-576.

RUTHSATZ, B. & U. FISEL (1984): The Utilization of Natural Resources by a Small Community on the Highlands of Bolivia and its effects on Vegetation Cover and Site Conditions. *Erdwissenschaftliche Forschung* XVIII: 211-234.

RUTHSATZ, B. & C. MOVIA (1975): Relevamiento de las estepas andinas del Noroeste de la provincia de Jujuy, Rep. Argentina. Fundación Educación, Ciencia, Cultura. Buenos Aires, 127 pp.

SCHÄBITZ, F. (1998): Erste Ergebnisse zur jungquartären Vegetations- und Klimaentwicklung auf der Ostflanke der Sierra de Santa Victoria, Prov. Jujuy, NW-Argentinien. *Terra Nostra* 98/5:141. Bayreuth.

SCHÄBITZ, F. (2000): Vegetation and climate history of the eastern flank of the Sierra de Santa Victoria, Jujuy Province, NW-Argentina (first results). *Zentralblatt - für Geologie und Paläontologie*, Bd. 7-8: 969-984.

SAYAGO, J. & M. COLLANTES (1990): Los depósitos holocénicos de Yavi (provincia de Jujuy, Argentina), y su significado paleoambiental. V. Congr. Arg. de Paleontología y Bioestratigrafía, Actas I: 177-182. Serie Correlación Geológica N° 7. Tucumán.

SERVANT, M. & J. FONTES (1984): Les basses terrasses fluviales du Quaternaire recent des Andes Bolivienne. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie* XIV: 15-28.

SERVANT, M. & S. SERVANT-VILDARY (2001): Holocene climatic changes in the Bolivian Andes from wetland deposits in non-glacial valleys. Extended abstract. Proceedings, PEPI Workshop on the Paleoclimatology of the Central Andes, Tucson, Arizona, 11 to 16 January 2001.

SERVANT, M. & S. SERVANT-VILDARY (2003): Holocene precipitation and atmospheric changes inferred from river paleowetlands in the Bolivian Andes. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 194: 187-206.

SILVESTRE, F.; M. SERVANT; S. SERVANT-VILDARY; CH. CAUSSE; M. FOURNIER & J.-P. YBERT (1999): Lake-level Chronology on the Southern Bolivian Altiplano (18°-23°S) during Late-Glacial Time and the Early Holocene. *Quaternary Research* 51, 54-66.

TROLL, C. & K. PAFFEN (1964): Karte der Jahreszeiten-kimate der Erde. *Erdkunde* XVIII: 5-28.

TURNER, J. (1959): Estratigrafía del Cordón de Escaya y de la Sierra de la Rinconada (Jujuy). *R.A.G.A.*, 13 (1-2): 15-44. Buenos Aires.

TURNER, J. (1960): Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias. *Acad. Nac. Cs.*, 41 (2): 163-196. Córdoba

TURNER, J. (1964): Descripción Geológica de la Hoja 2c Santa Victoria (Provincias de Salta y Jujuy). Bol. 104, Inst. Nac. de Geol. y Min., Min. de Ec. de la Nación, Buenos Aires.

TURNER, J. & R. MON (1979): Cordillera Oriental. 2do. Simposio de Geología Regional Argentina.-Acad. Nac. de Ciencias I. 57-94. Córdoba.

VEIT, H. (1991): Jungquartäre Relief- und Bodenentwicklung in der Hochkordillere im Einzugsgebiet des Río Elquí (Nordchile, 30° S). *Bamberger Geographische Schriften* Bd. 11, S. 81-97, Bamberg 1991.

VEIT, H. (1992): Jungquartäre Landschafts- und Bodenentwicklung im chilenischen Andenvorland zwischen 27-33° S. *Bonner Geogr. Abh.*, Heft 85: 196-208.

VEIT; H. (1993): Untersuchungen zur Genese und zum Alter Jugquartärer fluvialer und limnischer Sedimente im nordchilenischen Trockenraum. *Berliner Geographische Arbeiten*, Heft 79: 163-187. Berlin.

VEIT, H. (1994): Jungquartäre Landschafts- und Klimaentwicklung am Südrand der Atacama (Norte Chico, Chile). Ein Beitrag zur Paläogeooökologie der „Ariden Diagonale“ Südamerikas. Habilitationsschrift. 261 pp. Univ. Bayreuth.

VEIT, H. (1995): Jungquartäre Landschafts- und Klimaentwicklung der zentralen Anden und ihres westlichen Vorlandes: Kenntnisstand und Probleme. *Geomethodica* N° 20:163-194. Basel.

VEIT, H. (1996): Holocene landscape and climate evolution of the Central Andes. *Zbl. Geol. Paläont.* Teil I, H.7/8: 887-895. Stuttgart.

VEIT, H. (1998): Holocene climatic changes and atmospheric paleocirculation in the northwestern part of the „Arid Diagonal“ of South America. *Bamberger Geographische Schriften* Bd. 15:344-358, Bamberg.

VEIT, H.; M. GROSJEAN & B. MESSERLI (1998): Late Quaternary palaeoclimates and palaeoenvironments of the dry Central Andes. *Terra Nostra* 98/5:166-167. Bayreuth.

VOGEL, J. & J. LERMAN (1969): Groningen radiocarbon dates VIII. *Radiocarbon*, Vol. 11, N° 2: 351-390. Tucson, Arizona.

WEISCHET, W. (1988): Die Niederschlagsbedingungen in Nordwestargentinien, speziell das Problem ihres vertikalen Wandels. Latinoamerika-Forschung. Gedächtniskolloquium W. Eriksen. *Jahrb. Geogr. Ges. Hannover*, 47-64.

WEISCHET, W. (1996): Regionale Klimatologie. Teil 1: Die Neue Welt. Amerika, Neuseeland, Australien. Stuttgart, 468 pp.

WERNER, D. (1976): Die Vegetation der argentinischen Puna und des Puna-Ostrandes. Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Kiel.

WIRRMANN, D. & P. MOURGUIART (1995): Late Quaternary Spatio-temporal limnological variations on the Altiplano of Bolivia and Peru. *Quaternary Research* 43: 344-354.

WOLFE, B.; R. ARAVENA; M. ABBOTT; G. SELTZER; J. GIBSON (2001): Reconstruction of paleohydrology and paleohumidity from oxygen isotope records in the Bolivian Andes. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 176: 177-192.

ZIPPRICH, M. (1998): Jungquartäre Klima- und Landschaftsentwicklung der Sierra de Santa Victoria, Provincia de Jujuy, Nord-West-Argentinien. Unveröffent. Diplomarbeit. Univ. Bayreuth.

ZIPPRICH, M.; B. REIZNER; W. ZECH; H. STINGL & H. VEIT (2000): Upper Quaternary landscape and climate evolution in the Sierra de Santa Victoria (north-western Argentina) deduced from geomorphologic and pedologic evidence. *Zbl. Geol. Paläont.* Teil I, Heft 7/8: 997-1011, Stuttgart.



*Foto 1. Steppenlandschaft auf steinigem Boden in der „Pampa de Yavi“, im Hintergrund Vicuñas.*

*Foto 2. Im Vordergrund: Jungpleistozäne fluviale Sedimentfolge in der Quebrada de Farfan. Im Hintergrund: plio-pleistozäne Sedimente bei Yavi Chico.*



*Foto 3. Zwölf Meter mächtige Terrasse I bei Casti*

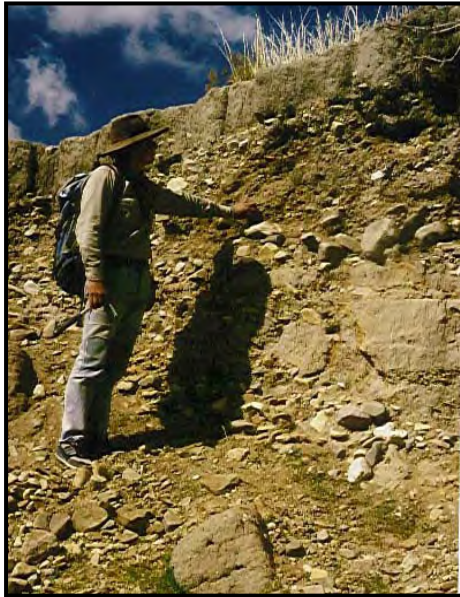


Foto 4. Zwei Meter mächtige Terrasse II bei Casti (Profil Casti 3).

Foto 5. Terrasse III in der Quebrada de Piscuno (Profil Yavi 6, 2,5m mächtig).

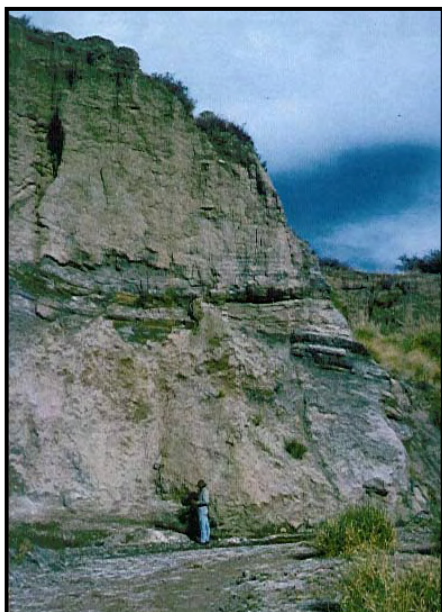


Foto 6. Schuttsedimente mit humosen Einlagerungen im Profil Chico 2 (ca. 26m mächtig).





Foto 7. Profil Chico 5. Historische fluviale Sedimente mit einem Oberschenkelknochen eines europäischen Pferdes (Kreis) auf humosen Feinsedimenten

ANHANG 1: <sup>14</sup>C- Daten

## UNTERSUCHUNGSGEBIET YAVI CHICO

Profil/Tiefe	N° Lab.	Material	Methode	Alter (yr B.P.)
Chico 4-195	Beta-104259	Org. Sed.	Rad. Standard	7220±70
Chico 6-1636	Beta-104247	Org. Sed.	Rad. Standard	42170±2160
Chico 6-1830	Beta-104248	Org. Sed.	Rad. Standard	5980±70
Chico 3-100	Beta-104262	Holzkohle	Rad. Standard	910±40
Chico 3-380	Beta-104263	Holzkohle	Rad. Standard	1050±50
Chico 1-200	Beta-104257	Org. Sed.	Rad. Standard	2330±60
Chico 1-420	Beta-104258	Holzkohle	Rad. Standard	3570±50
Chico 2-595	Beta-104267	Org. Sed.	AMS	3780±60
Chico 2-1687	Beta-104268	Org. Sed.	Rad. Standard	6790±60
Chico 2-2333	Beta-104269	Org. Sed.	AMS	8010±40

## UNTERSUCHUNGSGEBIET LA PALCA

Profil/Tiefe	N° Lab.	Material	Methode	Alter (yr B.P.)
Palca 9 –139	Hv-20733	Org. Sed.	Rad. Standard	2380±135
Palca 9 –610	Hv-19744	Org. Sed.	Rad. Standard	4095±130
Palca 9 –696	Hv-19745	Org. Sed.	Rad. Standard	3910±80
Palca 9 –715	Hv-19743	Org. Sed.	Rad. Standard	4035±75
Palca 9 –768	Hv-19746	Org. Sed.	Rad. Standard	4490±210
Palca 9 –1011	Hv-19742	Org. Sed.	Rad. Standard	4695±50
Palca 9 –1033	Hv-19741	Org. Sed.	Rad. Standard	4775±90
Palca 9 –1186	Hv-20734	Org. Sed.	Rad. Standard.	4950±200
Palca 8-1200	Beta-104255	Org. Sed.	AMS	4790±50
Palca 4-250	Beta-104.246	Org. Sed.	AMS	1860±50
Palca 6-180	Beta-104.256	Org. Sed.	AMS	2260±50
Palca 2-750	Beta-104.266	Org. Sed.	Rad. Standard	5240±70
Palca 5-120	Beta-104.251	Org. Sed.	Rad. Standard	2020±60
Palca 5-970	Hv-21.257	Org. Sed.	Rad. Standard	3575±130
Palca 5-1140	Hv-21.258	Org. Sed.	Rad. Standard	4360±85
Palca 5-1288	Hv-21.259	Org. Sed.	Rad. Standard	5145±115
Palca 5-1420	Hv-20.735	Org. Sed.	Rad. Standard	5500±165
Palca 1-1100	Beta-104.250	Org. Sed.	Rad. Standard	5090±70

## UNTERSUCHUNGSGEBIET YAVI

<b>Profil/Tiefe</b>	<b>N° Lab.</b>	<b>Material</b>	<b>Methode</b>	<b>Alter (yr B.P.)</b>
Yavi 3-105	Beta-104.249	Org. Sed.	AMS	4290±40
Yavi 3-429	Hv-20.730	Org. Sed.	Rad. Standard	6160±190
Yavi 3-586	Hv-20.731	Org. Sed.	Rad. Standard	7995±130
Yavi 3-640	Hv-20.732	Org. Sed.	Rad. Standard	7860±220
Yavi 4-500	Beta-104.265	Org. Sed.	AMS	6990±50

## UNTERSUCHUNGSGEBIET CASTI

<b>Profil/Tiefe</b>	<b>N° Lab.</b>	<b>Material</b>	<b>Methode</b>	<b>Alter (yr B.P.)</b>
Casti 3-50	Beta 104.260	Bone collagen	AMS	1090±60
Casti 1-300	Beta-104.245	Org. Sed.	AMS	1860±50
Casti 4-1100	Beta-104.253	Org. Sed.	Rad. Standard	9260±70

## UNTERSUCHUNGSGEBIET CHALHUALMAYOC

<b>Profil/Tiefe</b>	<b>N° Lab.</b>	<b>Material</b>	<b>Methode</b>	<b>Alter (yr B.P.)</b>
Chal 1-25	Beta 104.264	Peat	Rad. Standard	2850±60
Chal 2-130	Beta-104.252	Org. Sed.	Rad. Standard	7430±110

## ANHANG 2

### Profilbeschreibung Yavi 3:

<b>0-50cm</b>	Sandiger Lehm, mit ebener, paralleler Schichtung. Enthält steinerne archäologische Reste, deren Alter nicht bestimmt werden konnte.
<b>50-70cm</b>	Mittelgroße, kantengerundete Kiese mit einer Matrix aus Grobsand. Es fand sich ein Pferde-Femur sowie zahlreiche Fragmente mit eingebrannte und unbestimmter angeschwemmter Knochen, aber wir nehmen an, daß sie aus der Erosion eines ca. 300m flußaufwärts bei Yavi entdeckten Knochendepot stammen. Gleichermäßen wurden archäologische Reste gefunden, sowohl steinernes als auch keramisches Material, dessen Alter nicht präzisiert werden konnte.
<b>70-100cm</b>	Mittelsand mit Kreuzschichtung, weiterhin treten Feinkieslinsen auf. Die Basis dieser Schicht wird durch eine Erosionsdiskordanz gebildet. An der Kontaktoberfläche mit der hangenden Lage bildete sich eine 1cm mächtige Eisenoxid-Schicht aus.
<b>100-175cm</b>	Grauer Ton, mit dünnen Schichten schwarzgefärbten, humosen Tons. Zeigt Wurzelröhren. In 105cm Tiefe mit C-14 datiert auf 4290 ± 40 Jahre B.P. (Beta-104.249). Die mikroskopische Analyse der Kornform von Quarzkörnern einer Probe a 47cm ergab 90% mattierte Körner, unter welchen die gerundeten und kantengerundeten dominieren (63% und 22% der Gesamtanzahl in der ersten bzw. 61% und 27% in der zweiten Probe).
<b>175-238cm</b>	Schluffiger, humoser Ton, mit reichhaltigen Pflanzenresten und organischen Kohlenstoff. Die mikroskopische Analyse der Kornform von Quarzkörnern zweier Probe, aus 175 resp. 214 cm Tiefe, ergab zu 100% mattierte Körner, unter welchen die gerundeten und sehr gerundeten (61% bzw. 18% der Gesamtanzahl) dominieren.
<b>238-241cm</b>	Feinsand von massiver Struktur, mit Wurzelröhren.
<b>241-341cm</b>	Humoser Ton, mit paralleler Feinschichtung. Es finden sich reichhaltige Pflanzenreste, organischer Kohlenstoff und Wurzelröhren. Die mikroskopische Analyse der Kornform von Quarzkörnern einer Probe in 334cm Tiefe ergab 97% mattierte Körner, unter welchen die gerundeten und kantengerundeten (58% bzw. 28% der Gesamtanzahl) dominieren.
<b>341-366cm</b>	Einschaltungen von Sandlinsen und humosem Ton, mit Wurzelröhren. Die mikroskopische Analyse der Kornform von Quarzkörnern einer Probe aus 357cm Tiefe ergab 97% mattierte Körner, unter welchen die gerundeten und kantengerundeten (56% bzw. 21% der Gesamtanzahl) dominieren.
<b>366-393cm</b>	Bis zu 4cm große Kiese und sandig-schluffige Matrix, mit zwischengeschalteten tonig-schluffigen Schichten, welche Pflanzenreste enthalten. Es handelt sich um den oberen Bereich der Bohrung; es war nicht möglich zu bestimmen, ob diese Schicht einer rezente Ablagerung des Río Yavi entspricht oder ob es sich um einen kleinräumigen Fazieswechsel handelt.
<b>393-487cm</b>	Humoser Ton, mit reichhaltigen Pflanzenresten, mit paralleler Feinschichtung . In 429cm Tiefe mit C-14 datiert auf 6160 ± 190 Jahre B.P. (Hv-20.730).
<b>487-514cm</b>	Mittelsand und Feinsand mit tonig-humosen Einschaltungen.
<b>514-523cm</b>	Mittelsand und Feinsand mit Einschaltungen von tonig-humosen Lagen (6cm). Liegt über tonig-humosen Schluff (3cm).
<b>523-539cm</b>	Mittelsand und Feinsand mit Einschaltungen von tonigen und humosen Lagen (10cm). Liegt über humosen Ton mit Pflanzenresten (6cm).
<b>539-549cm</b>	Mittelsand und Feinsand (5cm). Liegt über einer Lage tonig-humosen Schluffs mit Pflanzenresten (5cm).
<b>549-560cm</b>	Mittelsand und Feinsand mit bis zu 1,5cm großen Kiesen (8cm). Liegt über einer Lage tonig-humosen Schluff (3cm). Die mikroskopische Analyse der Kornform von Quarzkörnern einer Probe aus 550cm Tiefe ergab 87% mattierte Körner, unter welchen die kantengerundeten und gerundeten (48% bzw. 22% der Gesamtanzahl) dominieren.
<b>560-602cm</b>	Mittelsand und Feinsand, massiv (14cm). Humoser, schluffiger Ton mit paralleler Feinschichtung, mit reichhaltigen Pflanzenresten (28cm). In 586cm Tiefe mit C-14 datiert auf 7995 ± 130 Jahre B.P. (Hv-20.731).
<b>602-620cm</b>	Bis zu 3cm große Kiese, mit sandig-schluffiger Matrix (6cm), bedeckt von schluffig-humosen Ton, mit paralleler Feinschichtung und Pflanzenresten (12cm).

- 620-640cm** Bis zu 2cm große Kiese, mit sandiger Matrix (10cm), bedeckt von tonig-humosen Schluff, mit Pflanzenresten (10cm). In 640cm Tiefe mit C-14 datiert auf  $7860 \pm 220$  Jahre B.P. (Hv-20.732).
- 640-655cm** Bis zu 2cm große Kiese, mit sandig-schluffiger Matrix (7cm), gefolgt von schluffigen Fein- und Mittelsand (6cm) und tonig-humosen Schluff mit Pflanzenresten (2cm).
- 655-675cm** Feinsand und Mittelsand, etwas schluffig. Massive Struktur, zeigt zwischen 657-660cm Tiefe eine tonig-humose Schluffeinlagerung.
- 675-732cm** Tonig-humoser Schluff, mit Pflanzenresten; wahrscheinlich handelt es sich um Cyperaceen. In einer Tiefe von 704cm fanden sich Gipskristalle, die eine ca. 5mm mächtige Schicht bilden.
- 732-816cm** Feinsand und Mittelsand, etwas schluffig. Massive Struktur, zeigt zwischen 758-760 und 747-750cm Tiefe eingeschaltete Feinkieslagen.

## ANHANG 3:

## Schwerminerale in Profil Yavi 3 (%):

Tiefe (cm)	Anthophyllit	Apatit	Augit	Biotit	Chlorit	Epidot Gruppe	Granat	Braune Hornblende	grüne Hornblende	Hypersthen	Muskovit	Titanaugit	Titanit	Turmalin	Zirkon
105	0,5	0,5	22,1	5,3	15,8	2,1	0	6,3	42,2	2,6	1,6	0	0,5	0	0,5
135	0,4	2,5	2,9	13,2	47,3	2,5	0	2	18,1	0,4	10,3	0	0	0	0,4
170	0,4	0,8	0,4	15,2	37	4,3	0	5,8	24,8	0,4	10,1	0	0,4	0	0,4
180	0	1	0	11,2	79,5	0,5	0	0,5	0,5	0	6,8	0	0	0	0
230	0	0,7	0,4	13,9	7,2	11,8	0,4	11,1	48,4	1,8	2,1	0,4	0,4	0	1,4
240	0	0	0,4	27,2	65,3	0	0	0	2,2	0,4	4,5	0	0	0	0
251	0	0,9	1,3	3	5,2	3,9	0	8,2	64,1	9,1	1,3	0,4	1,3	0	1,3
266	0	0,3	0,3	4,7	8,1	1,7	0,3	8,1	54,1	16,6	0,7	0,3	0,7	0	4,1
287	1,1	0,4	2,2	1,1	0,7	1,8	0,7	9,6	63,5	13,7	0,4	0	0,4	0	4,4
307	0	0,4	4	19,7	10,8	2,3	0,4	7,6	43,6	10,8	0	0	0	0	0,4
337	0	0,8	0	7,7	17,4	1,6	0,4	5,3	57,9	7,3	0,4	0	0	0,4	0,8
345	0	2,3	0,4	4,5	3,2	0,4	0,9	5,9	75,3	5	0	0,4	0,9	0,4	0,4
360	0	1,7	0	15,8	17,9	0	0	6,4	54,7	2,2	0	0	0,4	0	0,9
422	0	0	11,2	0	0	1,5	1	15,5	63,5	3,9	0	0,5	1,9	0,5	0,5
496	0	0,4	1,2	2,8	0	3,2	0,9	8,9	77,7	1,6	0	0,4	1,6	0,9	0,4
513	0	0	1,7	0,4	0	5,3	0,4	7	79,1	2,6	0	0	2,2	0	1,3
526	0	0	0,4	1,5	0	6,1	0,4	8,9	74,5	5,4	0	1,2	0,8	0	0,8
542	0	0	1,2	0	0	3,3	0	8,6	79,1	6,6	0	0,4	0,4	0	0,4
573	0	0	1,3	0	0	4	0	7,1	83,9	2,7	0	0	0,5	0	0,5
676	0	0,4	0,8	0,4	0,4	5,6	0	4,4	81,6	4,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
693	0	0	3	0	0	9,3	0,4	5,1	67,5	11,4	0	0	0,8	0,8	1,7
721	0	0	3,4	0	0	5,8	0	7,3	72,2	8,3	0	0	1,5	0	1,5
745	0	0	2,4	0,4	0	3,2	0,4	5,6	75,2	8	0	0,4	2,8	0,4	1,2
774	0	1,5	3,6	0	0	9,3	0	2,6	71,8	4,6	0	1,5	5,1	0	0
794	0	0,4	5,3	0	0	2,4	0,8	4,5	72,4	8,1	0	0,8	3,7	0,4	1,2
815	0	0	4,9	0	0	7,4	0	3,9	73,9	7,4	0	1	1,5	0	0

**ANHANG 4****Profilbeschreibung Palca 5:**

<b>0-100cm</b>	Fanglomerat mit sandiger Matrix.
<b>100-130cm</b>	Toniger Schluff. Mit C-14 datiert auf 2020 ± 60 Jahre B.P. (Beta 104251).
<b>130-190cm</b>	Mittelsand und Feinsand, massiv, mit Wurzelröhren. Zeigt zwei linsenartige Einschaltungen von Feinkies mit je 2cm Mächtigkeit.
<b>190-215cm</b>	Kiese mit Eisenoxid-Überzügen. Steinerne archäologische Reste wurden gefunden.
<b>215-235cm</b>	Mittelsand und Feinsand, massiv.
<b>235-260cm</b>	Kiese mit Eisenoxid-Überzügen.
<b>260-270cm</b>	Mittelsand und Feinsand, massiv.
<b>270-282cm</b>	Toniger Schluff mit Wurzelröhren.
<b>282-320cm</b>	Kiese mit Eisenoxid-Überzügen.
<b>320-355cm</b>	Mittelsand und Feinsand mit eingeschalteter Kieslinse.
<b>355-380cm</b>	Massiver toniger Schluff.
<b>380-405cm</b>	Kiese mit Eisenoxid-Überzügen.
<b>405-430cm</b>	Toniger Schluff mit Eisenoxid-Überzug.
<b>430-455cm</b>	Kiese mit Eisenoxid-Überzügen.
<b>455-495cm</b>	Schluffiger Sand mit zwei zwischengeschalteten tonigen Schlufflagen von je 2cm Mächtigkeit.
<b>495-525cm</b>	Feinkies, mit sandiger Matrix.
<b>525-575cm</b>	Mittelsand mit zwei Einschaltungen von Feinkies mit je 8cm Mächtigkeit.
<b>575-650cm</b>	Mittelsand mit sechs zwischengeschalteten Lagen tonigen Schluffs von je 3cm Mächtigkeit.
<b>650-665cm</b>	Massiver toniger Schluff.
<b>665-680cm</b>	Mittelsand, mit Wurzelröhren.
<b>680-690cm</b>	Massiver toniger Schluff.
<b>690-800cm</b>	Kantengerundete Kiese, bis zu 10cm Größe.
<b>800-900cm</b>	Mittelsand. Bildet eine Linse.
<b>900-960cm</b>	Vom Hangenden durch eine Erosionsdiskordanz getrennt. Kantengerundete Kiese bis zu 15cm Größe. Sandige Matrix. An der Erosionsoberfläche bildete sich eine 1cm mächtige Eisenoxid-Schicht aus.
<b>960-1010cm</b>	Toniger Schluff, paralleler Feinschichtung. Mit C-14 datiert auf 3575 ± 130 Jahre B.P (Hv 21257).
<b>1010-1127cm</b>	Toniger Schluff, paralleler Feinschichtung, mit schluffigem Sand durchsetzt.
<b>1127-1160cm</b>	Toniger Schluff; zeigt Wurzelröhren. Mit C-14 datiert auf 4360 ± 85 Jahre B.P (Hv 21258).
<b>1160-1194cm</b>	Schluffiger Sand, zeigt Wurzelröhren.
<b>1194-1272cm</b>	Schluffiger Sand, paralleler Feinschichtung, zeigt Wurzelröhren.
<b>1272-1341cm</b>	Aus 13 Paaren mit tonigem Schluff durchsetzten Fein- und Mittelsand-Lagen zusammengesetzt. Zeigt Wurzelröhren. Mit C-14 datiert auf 5145 ± 115 Jahre B.P (Hv 21259).
<b>1341-1384cm</b>	Toniger Schluff mit eingelagertem Fein- und Mittelsand. Zusammen stellt die Schicht eine linsenartige Struktur dar.
<b>1384-1406cm</b>	Mittelsand und Feinsand mit paralleler Feinschichtung aus tonigem Schluff.
<b>1406-1426cm</b>	Schluffiger Ton mit paralleler Feinschichtung. Mit C-14 datiert auf 5500 ± 165 Jahre B.P (Hv 20735).

**ANHANG 5:**  
**Schwerminerale und C<sub>org</sub>-Gehalte im Profil Palca 5 (%):**

Tiefe (cm)	Apatit	Augit	Biotit	Chlorit	Epidot Gruppe	Granat	braune Hornblende	grüne Hornblende	Hypersthen	Muskovit	Rutil	Titanaugit	Titanit	Turmalin	Zirkon	C <sub>org</sub>
965	0	4,5	0	0	2,7	0	6,3	71,2	9,9	0,9	0	0	1,8	0,9	1,8	5,68
975	1,3	2,5	0	0	0	0	12,5	61,2	16,2	1,3	0	0	1,3	0	3,7	7,92
985	0	1,6	0	0	6,6	0	6,6	64	13,1	4,9	1,6	0	0	0	1,6	13,9
995	0	2,9	0	0	2,2	0	8,7	66,4	16,8	0	0	0	1,5	0	1,5	11,19
1005	0	0	0	0	7,4	3,7	7,4	66,7	14,8	0	0	0	0	0	0	6,09
1012	0	9,2	6	21,2	0	0	2,8	44	14,8	0,4	0	0	0,8	0	0,8	1,44
1022	0	1	0	0	4,4	1	12,7	55,3	20,2	1	0	0	0	0	4,4	13,4
1032	0	1,6	0	0	1,6	0	12,7	66,7	12,7	3,1	0	0	0	1,6	0	7,15
1042	2,1	1	0	0	5,2	0	13,6	59,3	13,6	1	0	0	2,1	0	2,1	10,85
1052	0	7,7	0	0	0	0	7,7	67,8	13,8	1,5	0	0	0	0	1,5	7,7
1064	0,7	2	0	0	0	0,7	8,7	61,7	22,8	0	0	0	0	0	3,4	5,79
1074	0,7	2,1	0,7	0	2,1	0	7,2	63,1	15,7	3,5	0	0,7	1,4	0,7	2,1	6,73
1084	2,2	1,1	0	0	2,2	2,2	0	72,7	9,8	6,5	1,1	0	0	0	2,2	9,15
1094	4,7	0,6	0	0	0,6	1,2	8,1	69	9,4	1,2	2,3	0	0	0	2,9	3,17
1104	0	1,7	0,5	0	2,8	0	6,6	79	8,3	1,1	0	0	0	0	0	4,93
1114	0	2,4	0	0	4,8	1,6	8,1	64,5	17,8	0	0	0	0	0	0,8	4,84
1124	0,9	2,8	0	0	2,8	1,9	17	64,3	9,4	0	0	0	0,9	0	0	2,26
1130	0	1,1	1,1	0	2,8	0	10,2	68,8	13,7	0	0	0	1,7	0	0,6	3,5
1137	0	2,3	11,4	0	4,5	0	6,8	52,3	6,8	5,7	0	0	0	0	10,2	1,82
1143	0	2,4	3,5	0	1,2	1,2	11,8	63,5	14,2	1,2	0	0	0	0,5	0,5	3,27
1150	0,5	1	0	0	2,5	0	9,8	70	12,8	0,5	0	0	1,4	0,5	1	5,9
1157	2	4	2	0	15	2	6	52	7	0	0	2	4	0	4	5,95
1164	0,7	4,2	2,1	0	2,1	0	7,1	69	9,9	0,7	0	0	0,7	0	3,5	4,03
1172	0,8	0	2,4	0	0,8	0	4	77,4	10,6	1,6	0	0,8	0	0	1,6	5,17
1181	0	0	19,4	0	1,5	0	4,5	58,2	8,9	3	0	0	3	0	1,5	2,51
1189	0	9,8	9,2	0	3,5	0	7	62	6,4	0,7	0	0	1,4	0	0	1,84
1196	0,5	1,4	7,4	0,5	4,1	0,5	8,7	69,6	5,5	0	0	0	0,9	0	0,9	1,38
1205	0	4,8	4,8	0	8,3	1,2	9,5	59,5	10,7	0	0	0	0	0	1,2	2
1213	0,6	2,8	0	0	3,9	0,6	10	70,4	8,9	0	0	0	0,6	0	2,2	3,19
1222	0,9	3,2	1,4	0	2,8	0	9,2	65,5	11,5	1,4	0	0	3,2	0	0,9	4,6
1231	1	7,3	8,3	2,1	5,2	0	14,6	51,1	7,4	1	0	1	1	0	0	1,62
1240	2,4	13	1,2	0,6	3	1,2	6,5	53,2	17,1	0	0	0	0,6	0	1,2	1,61
1249	0	10,2	5,1	0	5,1	2,7	0	71,8	5,1	0	0	0	0	0	0	1,41
1258	0	1,2	1,2	0	2,5	0	18,8	61,3	13,8	0	0	0	1,2	0	0	2,56
1267	0,9	4,4	0,4	0	2,2	0	9,6	63,3	15,7	0	0	0	1,7	0,9	0,9	6,23
1276	0,4	2,3	0	0,4	4,7	0	7,6	76	7,4	0	0	0,4	0,8	0	0	3,82
1284	0,7	0,7	3,4	0,4	4	0,4	8,1	77,9	3,3	0	0	0	0,7	0	0,4	0,58
1291	0	2,7	7,5	0,4	0,9	0	7,1	66,4	11,5	0,4	0	0	0,9	0,4	1,8	4,6
1298	0,4	2,3	13,6	1,5	1,1	0,4	6,9	59,9	11,1	0,8	0	0,4	0,4	0,4	0,8	2,68
1305	0,5	2,3	5,6	0,5	0,5	0	5,6	73,7	10,3	0,5	0	0	0,5	0	0	2,23
1311	0,4	1,2	3,3	0	0	0	10,4	74,4	9,9	0	0	0	0	0,4	0	1,33
1318	0,4	2,3	4,6	0,9	0,9	0	11,8	72,9	4,6	0,4	0	0,4	0	0,4	0,4	0,8
1325	0,3	1,6	13,3	3,7	0	0	5,5	65,7	8,7	0,3	0	0	0,6	0,3	0	0,85
1331	0,7	1,5	9,7	2,3	0	0	9,4	70	6	0	0	0	0	0	0,4	2,61
1338	0,4	0	74,1	10,3	0	0	0,4	12	2	0,4	0	0	0,4	0	0	1,87
1348	0,5	2,9	3,8	0,5	3,4	0	8,6	72,1	8,2	0	0	0	0	0	0	3,82
1355	0	2,3	14,1	5,8	1	0	6	61,5	8,4	0	0	0	0,3	0,3	0,3	5,2
1362	0	2,4	41,5	13	0	0	7,3	30,9	3,3	0	0	0	0	0,8	0,8	4,43
1369	0	0,8	66,3	7,5	0,4	0	0,8	20,9	2,9	0	0	0	0,4	0	0	5,06
1376	0,4	2,1	12,5	2,5	0,8	0	5,8	68,9	5,4	0	0	0	0,4	0,8	0,4	3,61
1389	0	7,4	3,7	0	3,3	0,4	6,2	65,1	12,1	0	0	0,7	1,1	0	0	1,34
1395	0	3,6	6,3	0,9	1,8	0	5,4	76,1	4,5	0	0	0	0,9	0	0,5	0,68
1400	0,9	1,8	2,7	0,4	0,4	0	4,8	85,5	3,5	0	0	0	0	0	0	0,12
1416	0,8	1,5	6,8	15,8	9,1	0,7	2,2	48,1	9,1	2,2	0	0	1,5	0	2,2	7,45



## ANHANG 6

### Profilbeschreibung Palca 9:

<b>0-120cm</b>	Sandiger Lehm.
<b>120-158cm</b>	Schluffiger Ton. Mit C-14 datiert auf 2380 ± 135 Jahre B.P (Hv 20733).
<b>158-171cm</b>	Schluffiger Ton.
<b>171-198cm</b>	Toniger Lehm mit eben- paralleler Feinschichtung.
<b>198-202cm</b>	Sandiger Lehm.
<b>202-209cm</b>	Toniger Lehm.
<b>209-242cm</b>	Schluffiger Ton.
<b>242-251cm</b>	Toniger Lehm.
<b>251-324cm</b>	Feinsand und Mittelsand.
<b>324-331cm</b>	Sandiger Lehm mit eben-paralleler Schichtung.
<b>331-336cm</b>	Mittelsand und Feinsand.
<b>336-349cm</b>	Schluffiger Lehm.
<b>349-369cm</b>	Mittelsand und Feinsand mit eben-paralleler Schichtung.
<b>369-405cm</b>	Feinsand und Mittelsand mit eben-paralleler Schichtung.
<b>405-488cm</b>	Ton mit Wurzelröhren.
<b>488-497cm</b>	Ton mit eben- paralleler Feinschichtung.
<b>497-503cm</b>	Ton mit Wurzelröhren.
<b>503-521cm</b>	Toniger Sand paralleler Feinschichtung, mit Wurzelröhren.
<b>521-533cm</b>	Mittelsand und Feinsand.
<b>533-569cm</b>	Ton mit Wurzelröhren.
<b>569-605cm</b>	Sandiger Lehm.
<b>605-615cm</b>	Schluffiger Ton laminada, mit Wurzelröhren. Mit C-14 datiert auf 4095 ± 130 Jahre B.P (Hv 19744).
<b>615-656cm</b>	Schluffiger Sand, mit vereinzelt Geröllen bis zu 10cm Größe.
<b>656-676cm</b>	Feinsand und Mittelsand paralleler Feinschichtung, mit Wurzelröhren.
<b>676-680cm</b>	Mittelsand und Feinsand paralleler Feinschichtung, mit Eisenoxid-Überzug.
<b>680-691cm</b>	Feinsand und Mittelsand, mit Wurzelröhren.
<b>691-702cm</b>	Schluffiger Ton mit Wurzelröhren und Pflanzenresten. Mit C-14 datiert auf 3910 ± 80 Jahre B.P (Hv 19745).
<b>702-728cm</b>	Ton mit Wurzelröhren und Pflanzenresten. Mit C-14 datiert auf 4035 ± 75 Jahre B.P (Hv 19743).
<b>728-738cm</b>	Mittelsand und Grobsand, mit Eisenoxid-Überzug.
<b>738-762cm</b>	Sandiger Lehm, mit Eisenoxid-Überzug.
<b>762-771cm</b>	Toniger Schluff mit Wurzelröhren. Mit C-14 datiert auf 4490 ± 210 Jahre B.P (Hv 19746).
<b>771-778cm</b>	Feinsand und Mittelsand
<b>778-802cm</b>	Sandiger Lehm.
<b>802-805cm</b>	Toniger Lehm.
<b>805-811cm</b>	Toniger Lehm mit paralleler Feinschichtung. Zeigt Wurzelröhren.
<b>811-831cm</b>	Feinsand und Mittelsand mit vereinzelt kantigen Geröllen bis zu 4cm Größe.
<b>831-839cm</b>	Sandiger Lehm, mit Eisenoxid-Überzug.
<b>839-844cm</b>	Schluffiger Lehm mit paralleler Feinschichtung.
<b>844-854cm</b>	Ton mit paralleler Feinschichtung und mit Eisenoxid-Überzug.
<b>854-863cm</b>	Feinsand und Mittelsand, mit paralleler Feinschichtung.
<b>863-868cm</b>	Mittelsand und Feinsand mit Geröllen bis zu 5cm Größe, mit Eisenoxid-Überzug.
<b>868-893cm</b>	Feinsand und Mittelsand, mit Eisenoxid-Überzug.
<b>893-897cm</b>	Massiver Sandiger Lehm.
<b>897-904cm</b>	Schluffiger Sand mit paralleler Feinschichtung.
<b>904-924cm</b>	Schluffiger Franco mit paralleler Feinschichtung. Zeigt Wurzelröhren.
<b>924-947cm</b>	Mittelsand und Feinsand. Eben-parallele Schichtung.
<b>947-954cm</b>	Feinsand und Mittelsand mit eben-paralleler Schichtung.
<b>954-997cm</b>	Bis zu 10cm große Kiese, mit Matrix aus Mittel- und Feinsand mit eben-paralleler Schichtung. Eisenoxid-Überzüge.
<b>997-1004cm</b>	Feinsand und Mittelsand mit Geröllen bis zu 5cm Größe.
<b>1004-1011cm</b>	Toniger Lehm mit paralleler Feinschichtung.
<b>1011-1047cm</b>	Schluffiger Ton. Mit C-14 datiert auf 4775 ± 90 Jahre B.P (Hv 19741) und 4695 ±

	50 Jahre B.P.(Hv 19742).
<b>1047-1052cm</b>	Toniger Sand.
<b>1052-1057cm</b>	Schluffiger Ton.
<b>1057-1063cm</b>	Schluffiger Lehm mit paralleler Feinschichtung.
<b>1063-1068cm</b>	Schluffiger Lehm.
<b>1068-1073cm</b>	Sandiger Lehm.
<b>1073-1078cm</b>	Sandiger Schluff, mit eben-paralleler Schichtung.
<b>1078-1084cm</b>	Schluffiger Franco. Zeigt Wurzelröhren.
<b>1084-1140cm</b>	Schluffiger Sand, mit eben-paralleler Schichtung. Zeigt Wurzelröhren.
<b>1140-1154cm</b>	Toniger Schluff. Zeigt Wurzelröhren.
<b>1154-1210cm</b>	Schluffiger Ton mit paralleler Feinschichtung. Mit C-14 datiert auf $4950 \pm 200$ Jahre B.P (Hv 20734)

**ANHANG 7:**  
**Schwerminerale und C<sub>org</sub>-Gehalte im Profil Palca 9 (%):**

Tiefe (cm)	Apatit	Augit	Biotit	Chlorit	Epidot Gruppe	Granat	braune Hornblende	grüne Hornblende	Hypersthen	Muskovit	Rutil	Sulfate	Titanaugit	Titanit	Turmalin	Zirkon	C <sub>org</sub>
60	1,8	10,8	8,1	22,4	1,3	0	4	44,8	5,8	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0,22
132	1,5	2	16,6	68,6	0	0	0,5	8,3	0	2	0	0	0	0	0	0,5	0,64
145	3	4,3	1,3	15,3	6,2	0	5,7	59,6	3	0,4	0	0	0,4	0,4	0	0,4	0,62
164	0,5	2,4	9,8	58,5	2,9	0	1,5	19,5	2,4	2	0	0	0,5	0	0	0	0,66
184	2,4	2,8	4	18,8	7,6	0	3,2	57,6	1,6	1,2	0	0	0,4	0	0	0,4	0,5
200	4,4	0	1,9	14,8	13,6	0	1,2	61,1	0,6	0	0	0	1,2	0	0,6	0,6	0,08
205	3	1,5	2,7	14	6,4	0	5,7	63,2	2,3	0,4	0	0	0,4	0,4	0	0	0,49
225	2,6	1,9	13,1	47	0,4	0	6,3	20,5	2,2	4,5	0	0	0	1,1	0,4	0	0,93
246	1,6	1,6	0	4,4	0	0	6,7	81,3	3,8	0	0	0	0	0	0	0,6	0,53
287	3,3	0,9	1,9	7,5	9,3	0	2,3	72	2,3	0,5	0	0	0	0	0	0	0,04
327	3,1	0,4	6,2	40,4	4,8	0	2,2	41,2	0,9	0,4	0	0	0	0,4	0	0	0,07
333	2	3,5	1	2,5	9,1	0	1,5	77,9	2	0	0	0,5	0	0	0	0	0
342	1,6	3,1	0	0,8	15,7	0	1,6	74	0,8	0	0	0	0,8	0	0	1,6	0,18
359	0	0	15	83,1	0	0	0	1,4	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,01
387	1,9	1,5	3,9	8,7	10,2	0	1,5	71,3	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0
446	13	2,7	4,5	4,9	10,3	0	7,2	52,5	1,3	3,6	0	0	0	0	0	0	0,68
475	0	0,4	10,9	71,8	0,4	0	1,5	10,9	1,5	1,8	0	0	0	0	0,4	0,4	0,32
505	0	2,6	5,2	4,7	0,8	0	8,6	67	9,9	0,8	0	0	0	0,4	0	0	0,7
512	1	3,5	2	3	5,5	0	2	77	5,5	0	0	0	0	0	0,5	0	0
527	1	1	1,5	6,7	15,3	0	2,1	70,4	1	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0,03
551	14,3	0	9,5	38,1	14,3	0	4,8	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0,86
587	3,6	0,8	2,8	15,4	11,3	0	4,5	59,2	1,2	0,4	0	0	0,8	0	0	0	0,04
610	0,5	0	15,3	75,2	1,1	0	0,5	6,3	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0,31
635	2,5	3	7,5	8	4,1	0	4,1	65,8	4,5	0	0	0	0	0	0,5	0	0,03
666	1,3	3,4	0,8	3	12,2	0	3	67,8	4,2	0,4	0	0	1,3	0	1,3	1,3	0,07
678	1,8	1,2	0,6	2,4	23,6	0	1,2	63,2	2,4	0,6	0	0,6	1,2	0	0,6	0,6	0,03
685	0,5	0,5	2	7,8	14,2	0	6,9	65,2	2,4	0,5	0	0	0	0	0	0	0
696	0	0	11,4	88,1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0,2
700	1,2	7	6,3	18,8	2,7	0	7,5	43,1	9,4	1,2	0	0	0	1,2	0,4	1,2	1,65
774	1	1	3,3	45,4	6,3	0	1	39,5	1	0,5	0	0	0	0	0,5	0,5	0,08
786	0	0	9,8	79,4	0,5	0	2,1	6,7	0	1	0	0	0	0	0,5	0	0,09
798	2,3	2,3	11,8	52,7	1,4	0	0,5	27,6	0,9	0	0	0,5	0	0	0	0	0
803	4,3	1,1	5,4	48,4	6	0	2,2	28,3	1,6	1,1	0	1,1	0	0	0	0,5	0,57
808	0,9	0	2,3	90,4	0	0	0,5	4,1	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0,26
821	3,2	3,8	1,3	2,5	16,4	0	0,6	63,9	7	0	0	0	0	0	1,3	0	0
835	0,7	0	2,8	39	3,6	0,7	2,1	47,5	3,6	0	0	0	0	0	0	0	0,05
841	0	0	13,5	74,2	1,1	0	0	11,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,51
849	3,6	0,6	12,2	73,3	0	0	0,6	6,7	1,2	1,8	0	0	0	0	0	0	1,83
858	2,6	3,9	1,7	3,5	7,8	0	3	71,1	6	0	0	0	0	0,4	0	0	0,25
867	4,5	2,5	1	0,5	10,9	0,5	2	63,7	11,9	0	0	0	0,5	0	0,5	1,5	0,15
884	4,4	5	0,6	1,1	3,8	0	0	69,1	13,3	0	0	0,6	0,6	1,5	0	0	0,06
899	0,5	1,6	3,7	22,2	5,3	0	1	55,6	8,5	0	0	0	1,6	0	0	0	0,11
904	0,5	1,4	2,9	26,1	8,2	0	1	57,5	1,9	0	0	0	0	0	0	0,5	0,11
918	0	0	10,6	54,3	2,1	0	2,1	22,3	7,5	1,1	0	0	0	0	0	0	0,8
939	1	5,6	0	1	9,6	0	1,5	71,7	7,1	0	0	0,5	0,5	0	1,5	0	0,02
954	4,1	4,6	0,5	4,1	9,1	0	1	65	10,1	0	0	0,5	0	0,5	0,5	0	0,04
979	3,2	9	0,5	3,2	16,7	0	0,5	51,2	12,2	0	0	0,5	0,5	0	0	2,5	0,04
1004	1,9	1	1	15,8	13	0	1	61,5	4,3	0	0,5	0	0	0	0	0	0,06
1011	0	0	8,8	88,8	0	0	0,5	1,4	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1,45
1033	6,8	4,6	1,5	6,1	9,2	0	3,8	37,4	29	0,8	0	0,8	0	0	0	0	2,24
1053	2,7	9,3	0,6	1,1	9,9	0,6	0,6	61,5	11,5	0	0	0	0	1,1	1,1	0	0,14
1058	8,9	11,1	0	6,7	1,1	0	6,7	38,9	24,4	1,1	0	1,1	0	0	0	0	1
1064	0	2,6	2,6	13,2	0	0	0	68,5	10,5	0	0	0	2,6	0	0	0	2,09
1074	0,8	0	15,4	80,7	0	0	0	2,3	0,8	0	0	0	0	0	0	0	1,06
1079	0	0	25,8	67,3	0	0	0	5,9	1	0	0	0	0	0	0	0	2,55
1085	0	0	21,8	64,2	0	0	0	11,4	2,1	0,5	0	0	0	0	0	0	1,44
1100	0	5,9	0	75,8	0	0	0	15,5	2,3	0	0	0	0,5	0	0	0	1
1111	0,9	3,6	0,9	6	0	0	1,3	77,9	8,1	0	0	0	1,3	0	0	0	0,17
1122	2,3	4	2,8	11,3	0	0	1,7	63,8	13	0	0	0	1,1	0	0	0	0,11
1133	0	0	5,7	44,3	0	0	1	42,8	6,2	0	0	0	0	0	0	0	0,08
1151	0	0	9,1	89,3	0	0	0	1	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0,37
1172	0	0	6,6	87,5	0	0	0	3,6	0,7	1,6	0	0	0	0	0	0	1
1186	0	6,2	6,2	4,9	2,4	0	3,7	50,6	23,5	0	0	0	0	0	0	2,5	2,5
1200	0	2,4	2,4	2,4	3,7	0	7,3	55	23,2	1,2	1,2	0	0	1,2	0	0	1,86

**ANHANG 8:**  
**Granulometrische Analyse der Profilsequenz Palca 9 (%):**

	Grobsand	Mittelsand	Feinsand	Grobschluff	Mittelschluff	Feinschluff	Ton
60	0,33	8,30	53,56	9,80	5,60	5,80	16,61
132	0,10	0,85	6,98	11,70	11,80	15,35	53,22
145	0,45	4,30	16,79	8,90	9,88	12,89	46,79
164	0,14	1,80	11,60	13,40	12,30	14,90	45,86
184	0,80	6,01	18,40	9,35	8,80	11,90	44,74
200	4,70	31,85	44,34	5,26	1,76	3,39	8,70
205	0,00	3,93	20,84	4,11	5,48	9,87	55,77
225	0,00	0,22	1,07	7,20	13,91	17,50	60,10
246	30,04	10,21	11,99	16,94	26,62	4,10	0,10
287	3,80	34,00	49,20	5,25	2,24	1,17	4,34
327	3,20	19,80	33,00	16,00	9,50	4,50	14,00
333	8,93	38,30	40,40	5,63	1,90	1,10	3,74
342	0,00	1,11	16,05	30,48	16,05	9,34	26,97
359	11,89	54,90	28,10	1,51	0,63	0,73	2,24
387	1,18	40,10	48,72	3,59	1,03	1,13	4,25
446	0,14	1,20	2,80	9,20	9,46	11,70	65,50
475	0,00	0,11	0,17	0,37	11,80	20,25	67,30
505	0,00	0,20	11,06	2,17	5,43	14,13	67,01
512	2,90	40,85	44,00	3,50	1,95	1,50	5,30
527	3,39	55,34	33,59	2,01	2,49	0,56	2,62
551	0,05	0,15	0,75	2,48	9,73	13,25	73,59
587	0,10	28,53	53,43	6,66	2,54	2,35	6,39
610	0,00	0,29	5,40	4,81	12,37	16,10	61,03
635	0,21	18,93	65,20	7,03	2,31	1,73	4,59
666	11,08	33,33	45,04	4,07	1,42	1,03	4,03
678	20,96	41,32	31,22	1,65	1,09	1,05	2,71
685	5,10	33,68	52,63	4,33	1,14	1,00	2,12
696	0,00	0,18	2,82	9,16	21,86	20,59	45,39
700	0,00	0,24	1,54	3,68	4,03	14,60	75,91
774	0,49	27,24	46,39	5,53	3,40	3,11	13,84
786	0,91	1,41	55,16	25,23	2,12	3,13	12,04
798	0,19	7,75	70,85	9,99	2,19	1,70	7,33
803	0,57	2,01	6,69	5,16	10,32	13,24	62,01
808	1,27	3,35	9,01	9,71	19,64	14,33	42,69
821	7,04	42,23	42,76	2,51	1,21	1,04	3,21
835	0,25	25,61	52,86	8,41	2,97	2,26	7,64
841	0,38	5,79	23,45	22,47	13,65	14,74	19,52
849	0,15	0,05	1,36	0,15	9,78	15,38	73,13
858	0,05	21,75	65,31	4,55	2,47	1,97	3,90
867	5,07	41,08	45,21	3,09	1,29	1,39	2,87
884	0,40	32,46	55,20	4,62	1,39	1,44	4,49
899	5,07	23,00	49,32	10,31	4,23	2,39	5,68
904	2,73	33,64	44,92	8,45	3,23	1,44	5,59
918	1,40	3,90	5,63	14,76	21,22	12,98	40,11
939	20,70	54,38	22,90	0,65	0,40	0,40	0,57
954	3,54	39,07	53,63	0,68	0,58	0,58	1,92
979	12,53	51,28	32,35	1,24	0,79	0,45	1,36
1004	5,24	29,93	53,74	5,04	1,09	1,13	3,83
1011	0,51	1,84	6,92	15,67	17,10	13,94	44,02
1033	0,00	0,05	0,92	10,65	26,08	28,79	33,51
1053	0,40	38,66	49,94	2,99	1,52	1,18	5,31
1058	0,00	0,07	6,80	10,12	26,83	27,97	28,21
1064	0,84	9,29	16,43	6,77	26,10	19,70	20,87
1074	4,19	15,89	13,24	20,08	12,79	9,71	24,10
1079	0,21	1,25	21,52	15,20	56,52	0,78	4,52
1085	0,20	2,97	14,75	19,40	21,63	12,76	28,29
1100	0,00	3,28	27,56	17,14	12,58	9,89	29,55
1111	1,07	23,45	65,06	4,86	1,07	1,02	3,47
1122	7,67	20,46	58,20	9,16	1,10	1,24	2,17
1133	2,40	37,23	42,77	8,87	2,77	1,48	4,48
1151	0,15	1,71	10,43	33,90	20,92	10,24	22,65
1172	0,05	0,15	1,57	12,32	25,18	17,12	43,61
1186	0,00	0,05	0,69	1,04	13,26	21,02	63,94
1200	0,00	0,25	1,96	20,72	24,49	23,74	28,84

**ANHANG 9:****Granulometrische Analyse der Plio-Pleistozänen Proben (%):**

<b>Tiefe (cm)</b>	<b>Grobsand</b>	<b>Mittelsand</b>	<b>Feinsand</b>	<b>Grobschluff</b>	<b>Mittelschluff</b>	<b>Feinschluff</b>	<b>Ton</b>
<b>PP1</b>	0,00	11,62	83,93	2,66	1,40	0,35	0,04
<b>PP2</b>	2,90	39,77	43,91	6,18	4,23	1,33	1,68
<b>PP3</b>	0,00	16,49	74,91	3,33	3,33	0,16	1,78
<b>PP4</b>	0,00	36,51	38,63	1,72	1,72	1,33	20,09
<b>PP5</b>	2,68	60,12	20,93	2,83	1,67	0,87	10,90

**ANHANG 10:****Schwermineralanalyse der Plio-Pleistozänen Proben (%)**

Tiefe (cm)	Anthophyllit	Apatit	Augit	Biotit	Chlorit	Epidot Gruppe	Granat	braune Hornblende	grüne Hornblende	Hypersthen	Muskovit	Sulfate	Titanaugit	Titanit	Turmalin	Zirkon
PP1	0	0	51	1,5	1,9	0	0,5	2,4	19,1	17,2	0	5,9	0	0	0	0,5
PP2	0	0,4	1,4	0,7	1,1	0,4	0	2,6	88,3	0,4	1,8	1,1	0	1,4	0,4	0
PP3	0	0,9	21,2	1,8	0,9	0	0,4	5,3	63,7	0,4	0,9	2,8	0	0,9	0,4	0,4
PP4	0,5	0,5	0,9	0	0	0,9	0	4,9	89	0	0	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5
PP5	0	0,9	1,4	5,1	13	0	0	1,8	76,4	0	0,5	0,9	0	0	0	0

**ANHANG 11:****Granulometrischen Analyse äolischer Sedimente der Punafläche (%):**

Tiefe (cm)	Grobsand	Mittelsand	Feinsand	Grobschluff	Mittelschluff	Feinschluff	Ton
OB1	1,36	19,67	59,65	11,33	1,59	1,74	4,66
OB2	5,80	24,92	51,72	9,51	1,32	2,55	4,18
OB3	0,31	41,01	55,01	0,08	0,31	1,54	1,74
OB4	4,85	21,02	47,72	16,46	2,60	3,16	4,19
OB5	3,72	3,40	40,62	23,18	9,68	9,00	10,40
OB7	5,22	30,47	32,22	11,08	3,75	6,96	10,30
OB8	5,36	23,20	39,56	10,29	8,09	4,66	8,84
OB9	0,00	30,15	65,71	1,24	1,70	0,39	0,81

**ANHANG 12:****Schwermineralanalyse äolischer Sedimente der Punafläche (%)**

Tiefe (cm)	Apatit	Augit	Biotit	Chlorit	Epidot Gruppe	Granat	braune Hornblende	grüne Hornblende	Hypersthen	Muskovit	Sulfate	Titanaugit	Titanit	Turmalin	Zirkon
OB1	1,3	12	5,8	6,7	6,3	0,9	4,9	52,3	7,1	0	0	0	2,7	0	0
OB2	0,4	6,3	1,2	0	4	0,4	7,5	67,9	4	0	0	0,4	7,1	0,4	0,4
OB3	0,4	9,6	0,4	1,4	22,8	0	3,6	58,8	2,6	0	0	0,4	0	0	0
OB4	0,6	14,8	6,8	6,8	6,3	1,1	2,9	51,5	5,2	1,7	0	0,6	1,1	0	0,6
OB5	1,5	3,5	7,5	15,5	3	1	7,5	53,5	3	0	0	0,5	3	0,5	0
OB6	0	10,1	3	8,9	0	0,8	6,8	54,5	8	0	0,4	0,8	6,3	0	0,4
OB7	0	8,6	0,6	4,3	0	0,6	4,9	67,6	6,1	0,6	0	0,6	5,5	0	0,6
OB8	4	7,5	0,5	1	0	1	7	67,5	2	0,5	6	0,5	2,5	0	0
OB9	0	41,3	0	0,4	0	0,4	5,8	28,4	21,1	0	2,2	0	0,4	0	0



## **ERKLÄRUNGEN**

Ich erkläre hiermit, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig verfaßt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ich erkläre ferner, daß ich nicht diese oder eine gleichartige Doktorprüfung an einer anderen Hochschule endgültig nicht bestanden habe.

Bayreuth, 06.04.2005