

# **Geoökologische Untersuchungen im PNN Puracé / Kolumbien**

**Ein Ansatz zur Optimierung der Erfassung von Geo- und Bio-  
Ressourcen in hochandinen Ökosystemen**

Inauguraldissertation

zur  
Erlangung des Doktorgrades  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von  
Volker Heck  
aus Düsseldorf

Düsseldorf 2006

Gedruckt mit der Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der  
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referent: Prof. Dr. Ekkehard Jordan  
Koreferent: PD Dr. Dr. Wilfried Linder

Tag der mündlichen Prüfung: 17.05.2006

## Verzeichnisse

### Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation .....	13
1.1	Ziele der Arbeit.....	15
1.2	Stand der Forschung und Einordnung in die Literatur nach Sachgebieten .....	17
1.3	Aufbau der Arbeit .....	21
2	Landschaftsökologie.....	23
2.1	Die Grundlagen landschaftsökologischer Forschung.....	23
2.2	Die geographische Dimension .....	27
2.3	Methoden der landschaftsökologischen Raumgliederung.....	30
2.4	Die Landschaftsökologischen Erfassungsstandards .....	31
2.5	Der Plan de Ordenamiento Territorial (POT).....	34
2.5.1	Grundlagen .....	34
2.5.2	Hauptinhalte und Ziele des POT .....	35
2.5.2.1	Das physisch-biotische Untersystem.....	37
2.5.2.2	Das wirtschaftliche Untersystem.....	38
2.5.2.3	Das soziale Untersystem.....	41
2.5.2.4	Das politisch-administrative Untersystem.....	42
2.5.2.5	Das räumlich funktionale Untersystem .....	42
2.5.3	Bewertung des POT.....	43
2.6	Synthese der landschaftsökologischen und raumplanerischen Grundlagen ...	44
2.7	Gesetzliche Grundlagen für den Naturschutz in Kolumbien.....	46
3	Material und Untersuchungsmethoden.....	48
3.1	Karten- und Luftbildmaterial .....	48
3.1.1	Satellitengestützte Fernerkundungsdaten.....	48
3.1.2	Kartenmaterial.....	51
3.1.3	Luftbilder .....	52
3.1.3.1	Aerotriangulation .....	53
3.1.3.1.1	Vorarbeiten und Schwierigkeiten.....	53
3.1.3.1.2	Lösungsstrategie.....	54
3.1.3.1.3	Ergebnis der Aerotriangulation.....	60
3.1.4	DGM und Folgeprodukte.....	61
3.2	Aufgenommene Geofaktoren in Anlehnung an die LE und den POT .....	62
3.2.1	Relief.....	62
3.2.2	Gewässernetz .....	63
3.2.3	Vegetation.....	64
3.2.4	Böden.....	65
4	Untersuchungsraum.....	70
4.1	Kolumbien: Historische und geographische Rahmenbedingungen .....	70
4.1.1	Geschichte und Gesellschaft.....	71
4.1.2	Landesnatur .....	73
4.1.2.1	Klima .....	74
4.1.2.2	Geologie und Morphologie im südlichen Kolumbien.....	77
4.2	Das Schutzgebietssystem in Kolumbien .....	80
4.3	Das Arbeitsgebiet im Norden des Volcán Puracé .....	82
4.3.1	Siedlungsgeschichte in der Zentralkordillere und in Popayán.....	82

4.3.2	Morphologie und Geologie .....	84
4.3.3	Klimamessungen im Untersuchungsgebiet .....	91
4.3.3.1	Lokalklima.....	91
4.3.3.2	Rekonstruktion des Paläoklimas in der Cadena Volcánica.....	108
4.3.3.3	Die heutige Lage der Vegetationshöhenstufen.....	109
4.4	Die Piloträume in der Cadena Volcánica.....	112
4.4.1	Administrative und siedlungsgeographische Grundlagen .....	113
4.4.2	San Rafael .....	115
4.4.3	Pilimbalá und Nordflanke der Cadena Volcánica .....	124
4.5	Bodensequenzen .....	134
4.5.1	Bodenprofil III 3.....	136
4.5.2	Bodenprofil III 2.....	138
4.5.3	Bodenprofil IV 1.....	142
4.5.4	Interpretation der Bodenuntersuchungen.....	146
5	Übertragbarkeit der Ergebnisse .....	149
5.1	Aufnahme der Geofaktoren und deren Übertragbarkeit .....	149
5.2	Abweichungen und neue Standards der LE für die Innertropischen Anden ..	150
5.2.1	Vorschlag für die Mindestanforderungen einer geoökologischen Kartierung in den Tropen und die nötigen Arbeitsschritte zu deren Anwendung .....	152
5.2.2	Vorschlag für die Mindestanforderungen einer Kartierung nach dem POT in einem geschützten Naturraum der Hochanden .....	159
5.2.3	Die Übertragung der Kartiererergebnisse.....	161
6	Synthese und Ausblick .....	174
6.1	Grundlagen .....	174
6.2	Integrative Ergebnisbetrachtung .....	176
6.3	Ausblick: Die Zukunft des PNN Puracé und der benachbarten Schutzgebiete ... .....	182
7	Zusammenfassungen.....	186
7.1	Zusammenfassung.....	186
7.2	Summary.....	187
7.3	Resumen.....	188
8	Literaturverzeichnis .....	190
Anhang	.....	211

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Lage der Untersuchungsgebiete im Norden des PNN Puracé.....	15
Abbildung 2.1:	Landschaftsökologie: Begriff und Verortung nach LESER.....	24
Abbildung 2.2:	Bestandteile eines Landschaftsökosystems, die im Rahmen der LE..... untersucht werden.....	32
Abbildung 2.3:	Systeme und Untersysteme des POT.....	37
Abbildung 2.4:	Landschaftsbildende Faktoren und ihre Interrelationen nach ZONNEVELD.. .....	38
Abbildung 2.5:	Landschaftsgestaltende Faktoren unter Einbeziehung des Menschen..	43
Abbildung 3.1:	Ausschnitt aus der digitalen topographischen Karte des ..... Untersuchungsgebietes (Blatt 365 im Maßstab 1:50.000 des IDEAM).....	52
Abbildung 3.2:	Passpunktnahme auf Grundlage der Landsat-Komposite im ArcGIS und den im Programm IMATie organisierten Luftbildern. ....	55

Abbildung 3.3: Lage der genutzten Passpunkte in den für die Aerotriangulation..... genutzten Befliegungsstreifen. ....	57
Abbildung 3.4: Lage der Verknüpfungspunkte und der für die Aerotriangulation..... genutzten Passpunkte in den Befliegungsstreifen.....	58
Abbildung 3.5: Workflow für die Erstellung von DGM und Orthophoto vom ..... Zusammenfügen der Luftbildhälften .....	60
Abbildung 3.6: Beispiel für ein standardisiertes Bodenaufnahmeformular.....	68
Abbildung 4.1: Die geographische Lage Kolumbiens. ....	70
Abbildung 4.2: Die Höhenabhängigkeit der mittleren Jahresniederschläge im Querprofil . der kolumbianischen Anden bei ca. 5° N.....	76
Abbildung 4.3: Geologische Karte des Departamento del Cauca.....	78
Abbildung 4.4: Die Verteilung der kolumbianischen Großschutzgebiete. ....	81
Abbildung 4.5: Die Lage des PNN Puracé in der Zentralkordillere. ....	83
Abbildung 4.6: Der Norden des PNN Puracé mit den beiden Untersuchungsgebieten .... San Rafael und Pilimbalá. ....	85
Abbildung 4.7: Photostandorte innerhalb des Untersuchungsgebietes im Norden des .... PNN Puracé. ....	85
Abbildung 4.8: Die Höhenstufen im Norden des PNN Puracé und dessen Umland. ....	90
Abbildung 4.9: GID-Klimadiagramm der Station Popayán Flughafen Machángara .....	92
Abbildung 4.10: GID-Diagramm der Station San Agustin 1. ....	94
Abbildung 4.11: Temperaturgradient von Bodentemperaturen in 1 m unter GOF. ....	96
Abbildung 4.12: Die Temperaturen im Macizo Colombiano und die Lage der..... Klimastationen.....	101
Abbildung 4.13: Die Oberflächentemperaturen im Macizo Colombiano. ....	103
Abbildung 4.14a: GID-Diagramm der Station Termales de Pilimbalá. ....	106
Abbildung 4.14b: Klimadiagramm der Station San Rafael.....	106
Abbildung 4.14c: GID-Diagramm der Station Paletará. ....	107
Abbildung 4.14a-c: Klimadiagramme der Stationen, Termales de Pilimbalá, San Rafael.. und Paletará. ....	107
Abbildung 4.15: Sonnenstunden der Station Paletará. ....	108
Abbildung 4.16: Orthophoto des Untersuchungsgebiets San Rafael.....	116
Abbildung 4.17: Expositionskarte des Untersuchungsgebietes San Rafael. ....	118
Abbildung 4.18: Hangneigungskarte des Untersuchungsgebietes San Rafael.....	119
Abbildung 4.19: Geoökologische Kartierung des Untersuchungsgebietes San Rafael.....	120
Abbildung 4.20: Orthophoto des Untersuchungsgebiets Pilimbalá. ....	124
Abbildung 4.21: Expositionskarte des Untersuchungsgebietes Pilimbalá.....	126
Abbildung 4.22: Hangneigungskarte des Untersuchungsgebietes Pilimbalá.....	127
Abbildung 4.23: Geoökologische Kartierung des Untersuchungsgebietes Pilimbalá... ..	129
Abbildung 4.24: Generalisierte Verteilung der aufgenommen Bodentypen in den..... verschiedenen Höhenstufen des PNN Puracé. ....	135
Abbildung 4.25: Graphische Darstellung der Laborergebnisse des Bodenprofils III 3. ....	138
Abbildung 4.26: Graphische Darstellung der Laborergebnisse des Bodenprofils III 2. ....	142
Abbildung 4.27: Graphische Darstellung der Laborergebnisse des Bodenprofils IV 1. ....	146
Abbildung 4.28: Lage der verschiedenen Bodentypen und Subtypen .....	147
Abbildung 5.1: Beispiel der Feldkartierung anhand eines Ausschnittes des..... Kartiergebietes Pilimbalá.....	153
Abbildung 5.2: Übertragung der Kartierergebnisse aus den Pilotgebieten in benachbarte Choren im Norden des PNN Puracé .....	162

Abbildung 5.3: Landsat-Szenen von August 1989 (links) und August 1999 (rechts)...	164
Abbildung 5.4: Vergleichende Darstellung der beiden Landsat-Szenen aus den Jahren .. 1989 und 1999. ....	165
Abbildung 5.5: Übertragung der Vegetationseinheiten nach überwachter Klassifizierung. .....	166
Abbildung 5.6: Flächenanteile im Norden des PNN Puracé auf Basis der Orthophotos.... .....	167
Abbildung 5.7: Zusammengefasste Flächenanteile im Norden des PNN Puracé auf..... Basis der Orthophotos.....	168
Abbildung 5.8: Flächenanteile der Vegetationsformationen im Norden des PNN Puracé . auf Basis der Landsat-Szenen. ....	169
Abbildung 5.9: Gruppierung der Flächenanteile auf Basis der Landsat-Szenen.....	171
Abbildung 5.10: Die Flächenanteile in der Cadena Volcánica auf Basis der Landsat- Szenen. ....	172
Abbildung 5.11: Die Flächenanteile in der Cadena Volcánica nach Gewichtung auf Basis der Landsat-Szenen.....	173
Abbildung 6.1: Die sich aktuell gegenüberstehenden Akteure im PNN Puracé.....	181
Abbildung 6.2: Szenario zur Zukunft des PNN Puracé und des im Norden gelegenen .... PNN Nevado del Huila. ....	184
Abbildung A 1: GID-Diagramm der Station Neiva Flughafen.....	211
Abbildung A 2: Bodenaufnahmeformular I 1.....	212
Abbildung A 3: Bodenaufnahmeformular I 2.....	212
Abbildung A 4: Bodenaufnahmeformular II 2.....	213
Abbildung A 5: Bodenaufnahmeformular III 1.....	214
Abbildung A 6: Bodenaufnahmeformular III 2.....	215
Abbildung A 7: Bodenaufnahmeformular III 3.....	215
Abbildung A 8: Bodenaufnahmeformular IV 1.....	216
Abbildung A 9: Bodenaufnahmeformular IV 2.....	216
Abbildung A 10: Bodenaufnahmeformular IV 3.....	217
Abbildung A 11: Bodenaufnahmeformular IV 4.....	218
Abbildung A 12: Bodenaufnahmeformular IV 6.....	219

## Photoverzeichnis

Photo 4.1: Inversionsschicht über dem Cauca-Tal in ca. 3.500 m.ü.d.M.....	104
Photo 4.2: Die Gipfel der Cadena Volcánica de los Coconucos vom südlichen Gipfel des Puracé aus gesehen. ....	110
Photo 4.3a: Bodenfließen am Nordhang des Kraters des Volcán Puracé. ....	110
Photo 4.3b: Ausschnittsvergrößerung des Photos 4.3a.....	111
Photo 4.4: Frostsprengung im äußeren Kraterbereich des Puracé.....	111
Photo 4.5: Brennen des Páramo. ....	114
Photo 4.6: Blick von einer im Norden gelegenen Endmoräne auf die 26,5 ha große ..... Laguna San Rafael und die im Hintergrund liegende, wolkenverhangene ..... Cadena Volcánica de los Coconucos.....	117
Photo 4.7: Blick von Westen über die Laguna Larga im Sektor San Rafael. ....	122
Photo 4.8: Ausschnitt aus dem hochandinen Wald im Untersuchungsgebiet San Rafael. .....	123

Photo 4.9: Blick nach Nordosten von der Nordflanke des Vulkan Puracé auf den Sektor Pilimbalá.....	125
Photo 4.10: Die Nordflanke des Puracé mit Blick auf das Untersuchungsgebiet.....	128
Photo 4.11: Komposite zweier Aufnahmen, die den Norden des Untersuchungsraumes.. Pilimbalá zeigt. ....	130
Photo 4.12: Krater der Cadena Volcánica de los Coconucos vom östlichen Kraterrand ... des Puracé. ....	132
Photo 4.13: Bodenprofil III 2 (Laguna Mina). ....	139
Photo 4.14: Bodenprofil IV 1 (Puracé – Pilimbalá).....	143
Photo 5.1: Aufgegebener oder in Brache befindlicher Acker in der Páramostufe. ....	155
Photo 5.2: Beweidung mit Vieh im Sektor San Rafael.....	156
Photo 5.3: Frühere Weide im Sektor Pilimbalá. ....	157
Photo 5.4: Von einem Indígena gefangene Regenbogenforelle im Sektor San Rafael. ....	160

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Begriffe der geographischen Dimension nach verschiedenen Autoren.....	28
Tabelle 2.2: Wirtschaftliche Aktivitäten innerhalb des wirtschaftlichen Untersystems des. POT.....	40
Tabelle 3.1: Wellenlängen und spektraler Bereich bei Landsat TM und ETM+ .....	49
Tabelle 3.2: Kombination von Satellitenbildkanälen bei Landsat TM und ETM+ .....	50
Tabelle 3.3: Zur Erstellung des Blocks genutzte Luftbildstreifen, ungefähre Maßstab .... und Beispielrechnung zur sich ergebenden geometrischen Auflösung. ....	53
Tabelle 3.4: Genauigkeit der zur Luftbild-Entzerrung verwendeten Punkte.....	56
Tabelle 3.5a: Verteilung der Verknüpfungspunkte in den Photos des Blockes.....	61
Tabelle 3.5b: Zusammenfassung der Photodaten .....	61
Tabelle 3.6: Untersuchte Parameter in allen Bodenproben .....	67
Tabelle 4.1: Bezeichnungen der Vulkane und Krater der Coconucos von Nordwesten..... nach Südosten .....	86
Tabelle 4.2: Namen und Bedeutungen der Vulkane und Krater der Coconucos .....	87
Tabelle 4.3: Bekannte historische Eruptionen und Erdbeben des Vulkans Puracé .....	88
Tabelle 4.4: Dominanz-Typen des Vulkanismus in der Cadena Volcánica de los Coconucos von Südosten nach Nordwesten.....	89
Tabelle 4.5: Bodentemperaturen und durch den Korrekturfaktor von –3K errechnete..... Lufttemperaturen entlang des Transekts Popayán – Volcán Puracé:.....	98
Tabelle 4.6: Gliederung Bodenprofil III 3: .....	137
Tabelle 4.7: Bodenchemische Untersuchungsergebnisse III 3.....	138
Tabelle 4.8: Gliederung Bodenprofil III 2 .....	140
Tabelle 4.9: Bodenchemische Untersuchungsergebnisse III 2.....	141
Tabelle 4.10: Gliederung Bodenprofil IV 1 .....	143
Tabelle 4.11: Bodenchemische Untersuchungsergebnisse IV 1.....	145
Tabelle 5.1: Bei unterschiedlichen Hangneigungen und Nutzungen auftretende .... Prozesse in der Subpáramo- und Páramostufe .....	158
Tabelle 5.2: Arbeitsphasen mit Inhalten .....	158
Tabelle 5.3: Flächenanteile im Norden des PNN Puracé auf Basis der Orthophotos..	167

Tabelle 5.4: Übertragung der Flächeninhalte auf den Norden des PNN Puracé auf Basis der Landsat-Szenen .....	169
Tabelle 5.5: Gruppierung der Vegetationsformationen auf Basis der Landsat-Szenen	170
Tabelle 5.6: Übertragung der Flächenanteile auf die Cadena Volcánica auf Basis der ..... Landsat-Szenen .....	171
Tabelle 5.7: Gewichtete Übertragung der Flächenanteile auf Basis der Landsat-Szenen. ....	172
Tabelle A 1: Bodenchemische Untersuchungen Profil I 2.....	213
Tabelle A 2: Bodenchemische Untersuchungen Profil III 1.....	214
Tabelle A 3: Bodenchemische Untersuchungen Profil IV 3 .....	217
Tabelle A 4: Bodenchemische Untersuchungen Profil IV 4 .....	218
Tabelle A 5: Bodenchemische Untersuchungen Profil IV 6 .....	220
Tabelle A 6: Im Untersuchungsgebiet vertretene Flora nach Vegetationsgesellschaften .. ..	221
Tabelle A 7: Alphabetische Liste der Flora mit Familien und Assoziationen oder..... Vegetationsgesellschaften im Untersuchungsgebiet.....	229
Tabelle A 8: Vegetationsgesellschaften mit den entsprechenden Assoziationen .....	238



## Glossar

Eine Vielzahl feststehender Begriffe haben im Spanischen besondere, zum Teil über die im Deutschen normalerweise vorhandene Bedeutung hinausgehende Inhalte. Zum besseren Verständnis sollen an dieser Stelle trotzdem die Begrifflichkeiten synonym gesetzt werden, die am ehesten der Bedeutung der spanischen Worte entsprechen, da auch im Text der Arbeit meist die landesüblichen Ausdrücke verwendet werden.

Alcalde	Bürgermeister
Alcaldía	Bürgermeisteramt; Sitz der verschiedenen Ämter der Gemeinde. Zum Beispiel Planungsamt, Gesundheitsamt usw.
Cabecera	Hauptort eines Municipios; beispielsweise Puracé
Cabildo	Gemeinschaftsrat der indigenen Gemeinschaften
Cadena	Kette, Bergkette; hier: Cadena Volcánica de los Coconucos: vulkanische Bergkette innerhalb des Macizo Colombiano vom Cerro Pan de Azúcar im Süden bis zum Puracé im Norden
Volcánica	
Campesino	Bauer
Cerro	Berg
Coconucos	indigener Bevölkerungsstamm in der Zentralkordillere Kolumbiens, auch: vulkanische Bergkette innerhalb des Macizo Colombiano vom Cerro Pan de Azúcar im Süden bis zum noch aktiven Puracé im Norden
Cuenca	Becken, Flussbecken, hier: Wassereinzugsgebiet eines Flusses
Departamento	2. Verwaltungsebene in Kolumbien, dem dt. Bundesland vergleichbar. Die Departamentos Cauca und Huila sind zwei von 32 Departamentos Kolumbiens.
Dueño	Besitzer oder Pächter eines Landstücks oder auch eines Geschäftes
Finca	Grundstück, Landgut, meist kleiner landwirtschaftlicher Betrieb
Finquero	Besitzer oder Pächter einer Finca
Hacendado, Hacendero	Besitzer oder Pächter einer Hacienda
Hacienda	Landgut, Farm; meist gebräuchlich ab einer landwirtschaftlichen Nutzfläche von 100 ha
Indígena	Eingeborener, „Indio“, indigene Ureinwohner Kolumbiens
Invierno	Winter, Regenzeit in Kolumbien
Isla	Insel
Laguna	Lagune, See
Ley	Gesetz
Macizo	hier: Gebirgsmassiv; Teil der kolumbianischen Zentralkordillere nördlich des Nudo de Pasto bis zum Parque de los Nevados reichend
Municipio	3. Verwaltungsebene in Kolumbien: Großgemeinde, Stadtgemeinde
Núcleo	Kern, hier im Sinne von Ökosystem mit besonders hoher Diversität; auch: Siedlungskern eines Municipios

Nudo	Knoten, hier: Zone der Anden im Norden der Stadt Pasto, in der sich die Anden in die drei Kordillerenäste aufspalten
Paez	indigener Bevölkerungsstamm vor allem in der Zentralkordillere Kolumbiens ansässig, auch Zufluss des Río Cauca
Payanés(es)	Bewohner der Stadt Popayán
Planeación	Planungsamt innerhalb der verschiedenen Verwaltungseinheiten Kolumbiens
Quebrada	Rachel; Schlucht, nicht perennierendes Gerinne in Gebirgen
Río	Fluss
Verano	Sommer, Trockenzeit in Kolumbien
Vereda	Bezirk eines Municipios
Violencia	Phase der Gewalt im letzten kolumbianischen Bürgerkrieg nach der Ermordung Präsidentschaftskandidaten Gaitán (Liberale Partei) in den Jahren 1948-1953. In dieser Zeit kam es vor allem auf dem Land zu Kämpfen zwischen linken und rechten Gruppen. Dies führte zu einem noch stärkeren Wachstum der Städte Kolumbiens.

### Abkürzungsverzeichnis

CAM	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, Departamentsbehörde im Depto. Huila, zuständig für regionale Entwicklung und Umweltfragen im oberen Magdalenatal mit Sitz in Neiva
CIPAV	Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, Cali: Institut zur Entwicklung nachhaltiger landwirtschaftlicher Produktionssysteme
CODE	Consejo Departamental de Estadística, Departamentsbehörde für Statistik
C.R.C.	Corporación Autónoma Regional del Cauca: Departamentsbehörde, zuständig für regionale Entwicklung und Umweltfragen im Departamento del Cauca mit Sitz in Popayán
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca: Departamentsbehörde, zuständig für regionale Entwicklung und Umweltfragen im Departamento Valle del Cauca mit Sitz in Cali
DAAD	Deutscher Akademischer Austausch Dienst, Sitz: Bonn
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística, kolumbianisches Amt für Statistik
DEM	Digital Elevation Model: Digitales Höhenmodell
DGM	Digitales Geländemodell
DGPS	Differenzial GPS – Differenziales Globales Positionierungssystem
Depto.	Departamento, entspr. Bundesland
ELN	Ejército de Liberación Nacional: Nacionales Befreiungsheer, zweitgrößte Rebellen­gruppe des Landes, die sich auf Che Guevara beruft.
EPL	Ejército Popular de Liberación; Populäres Befreiungsheer, mit 500 – 700 Kämpfern die kleinste noch verbliebene Guerilla Kolumbiens
ESA	European Space Agency: Europäische Raumfahrtagentur

FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations Organization, Sitz: Rom
FARC	Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia: zu deutsch: Bewaffnete Revolutionäre Streitkräfte Kolumbiens, maoistisch orientierte Guerilla, kämpft für eine gerechte Landverteilung und die sozialistische Revolution. Die FARC haben zum Untersuchungszeitraum die Kontrolle über das Arbeitsgebiet
GEA	Grupo de Estudios Ambientales: Arbeitsgruppe innerhalb des biologischen Instituts der Universität del Cauca, die sich mit Umweltfragen beschäftigt
GEF	Global Environment Facility, gegründet 1991, hilft Entwicklungsländern bei Gründung und Durchführung von Umweltschutzprojekten
GID	Geographisches Institut der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
GIS	Geographisches Informationssystem
GMT	Greenwich Mean Time (Kolumbien +5h zur Sommerzeit in Europa)
GOF	Geländeoberfläche
GPS	Global Positioning System: weltweitestes satelliten - gestütztes Positionierungssystem
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario, Kolumbianisches Institut für Agroindustrie
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: Meteorologischer Dienst Kolumbiens, erhebt und verwaltet unter anderem Klimadaten
IFPRI	International Food Policy Research Institute, Washington, USA
IGAC	Instituto Geográfico Augustin Codazzi: staatliches geographisches Institut mit Sitz in Santafé de Bogotá, nach Augustin Codazzi, General und Naturforscher Kolumbiens, der im 19. Jh. das Land bereiste und kartierte
INCORA	Instituto Nacional para la reforma agraria: Nationales Institut für Agrarreform und Landverteilung
INDERENA	Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables: frühere staatliche Umweltbehörde, heute im Umweltministerium Kolumbiens
INGEOMINAS	Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (vormals : Instituto de Investigación e Investigación Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear): Geologisches Institut Kolumbiens, gegründet im Jahre 1916.
IUCN	International Union for Conservation of Nature
Jvh.	Jahre vor heute
K	Kelvin
KA GÖK 25	Kartieranleitung Geoökologische Karte im Maßstab 1:25.000, Vorläufer der Landschaftsökologischen Erfassungsstandards, in der Arbeit synonym verwendet
LE	Landschaftsökologische Erfassungsstandards, Nachfolger der KA GÖK 25
m.ü.d.M.	Höhe über dem Meeresspiegel in Meter
NASA	National Aeronautic and Space Administration: Nationale Raum-

	fahrtorganisation der USA
NAVSTAR GPS	NAVigation System with Timing And Ranging: Positionierungssystem mit Zeit- und Abstandsbestimmung
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index: Normalisierter Differenzen-Vegetations-Index
PNN	Parque Natural Nacional : kolumbianischer Nationalpark
POT	Plan de Ordenamiento Territorial (Municipal) : Kolumbianischer Raumordnungsplan
ppm	Parts per Million – Teilchen pro Million
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje, nationales Institut für Lehre
SINA	Sistema Nacional Ambiental : Nationales Umweltschutzsystem
SPOT	Système Probatoire d'Observation de la Terre : Probesystem zur Erdbeobachtung der ESA
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission: Radarmission des Space Shuttle Discovery vom 11. bis zum 22. Feb. 2000
$T_{L\ 2m}$	Lufttemperatur in 2 Meter Höhe
$T_B$	Bodentemperatur
U.A.E.S.P.N.N.	Unidad Administrativa Especial Sistema de Parques Nacionales Naturales : Nationalparkverwaltung, gegliedert in 6 Subregionen mit Hauptsitz in Santafé de Bogotá
UMATA	Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria: Abteilung der Gemeindeverwaltung. Berät vor allem Campesinos, die Fincas geringer Fläche bewirtschaften.
USDA	United States Department of Agriculture
WAAS	Wide Area Augmentation System , deutsch: Erweiterungssystem für einen großen Bereich : satellitengestütztes DGPS, ohne dass ein zusätzlicher Empfänger nötig ist.

***„Estoy seguro de que si nos permiten, y si algún día llegamos a tener al frente del país a una generación que conozca la dignidad, Colombia será capaz de dar sola el primer paso para construir su mañana”***

Germán Castro Caycedo: “Con las manos en alto”, 2001, 11<sup>1</sup>

## **1 Einleitung und Motivation**

Die hier vorgelegte Dissertation ist als konsequente Fortsetzung meiner im Jahre 1997 begonnenen Tätigkeiten in Südamerika zu sehen: Schon nach den ersten Stunden auf der Südamerika-Exkursion stand für mich fest, dass ich thematisch mein Hauptstudium auf die Andenstaaten ausrichten würde.

Es entstand so ab 1998 eine rege und fruchtbare Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Institutionen in Südamerika, die zunächst zu mehreren Praktika in Ecuador, Bolivien und Peru führten. Schließlich bekam ich 1999 die Möglichkeit, meine Magisterarbeit in einer erdbebenbetroffenen Gemeinde der Kaffezone Kolumbiens über das gesetzlich vorgeschriebene Raumordnungsverfahren (POT) zu verfassen. Mit den überregionalen Behörden und durch die weitreichenden Kontakte meines Doktorvaters konnten schon in dieser Phase weitere Projekte verabredet werden, die schließlich über GIS- und POT – Schulungen und Betreuungen von Examenskandidaten zu der hier vorgelegten Dissertation führten.

Eine solche Arbeit ist gerade in einem Bürgerkriegsland wie Kolumbien nur in Verbindung mit örtlichen Institutionen zu leisten. Daher sei hier den nachfolgend aufgeführten Personen herzlichst gedankt:

Herrn Prof. Dr. Ekkehard Jordan, der mich seit Beginn meiner Hilfskrafttätigkeit im Sommersemester 1996 und bei den diversen Lehrveranstaltungen motiviert hat, nach Abschluss des Studiums noch engere Verbindungen nach Südamerika zu knüpfen.

---

<sup>1</sup>CAYCEDO, G. C. (2002): Con las manos en alto – Episodios de la guerra en Colombia, Santafé de Bogotá, 254 S.

Ich bin sicher dass, wenn es uns erlaubt ist, und wir zudem irgendwann einmal eine Generation an der Spitze des Staates haben werden, für die Würde kein Fremdwort ist, Kolumbien in der Lage sein wird, den ersten Schritt alleine zu tun, seine Zukunft zu gestalten.

Daneben gilt der Dank Herrn PD Dr. Dr. Wilfried Linder für die schnellen Umsetzungen und Anpassungen der Software LISA, so dass die zugrunde liegenden Geländemodelle und Orthophotos erst gerechnet werden konnten. Dies gilt in gleicher Art für die vielen Unterstützer im Geographischen Institut, allen voran Dr. Michael Braitmeier und Lars Ungerechts.

Der Dank des Verfassers gilt neben den angesprochenen Kolleginnen und Kollegen in Düsseldorf vor allem den unzähligen Helferinnen und Helfern vor Ort im Departamento del Cauca, die das Gelingen der vorliegenden Arbeit mit ihrer Hilfsbereitschaft und Herzlichkeit erst ermöglicht haben. An dieser Stelle ist zunächst wiederum mein Doktorvater, Herr Prof. Dr. Ekkehard Jordan zu nennen, der mit seinem Engagement über die Jahre hinweg ein festes Band zwischen den verschiedenen Institutionen in Popayán und dem Geographischen Institut der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf geknüpft hat, die im Jahre 2001 in einem von ihm durchgeführten GIS-Kurs mündeten. Im Zuge dessen wurde die Einladung an Annette Frese und Sandra Naumann ausgesprochen, im Municipio Popayán die Daten ihrer Abschlussarbeiten zu erheben. Der Autor hat die beiden Arbeiten vor Ort betreut und so die zum Teil schon in Düsseldorf geknüpften Kontakte vertieft, so dass die Geländearbeiten in einer politisch schwierigen Zeit im April und Mai, sowie September bis März der Jahre 2002/03 durchgeführt werden konnten. Dass die Arbeiten zu einem positiven Abschluss gebracht werden konnten, ist vor allem den Angehörigen der Grupo de Estudios Ambientales der Universidad del Cauca zu verdanken.

Herauszuheben sind Dr. Apolinar Figueroa Casas, der Leiter der Gruppe, sowie Claudia Valencia Camargo, Luz Stella Pemberty, Maria Cristina Benitez. Ganz besonderer Dank geht an die beiden Helfer im Gelände Juan Pablo Martinez und Samir Carlos Joaqui Daza. Zudem standen die Angehörigen des Departamento de Geografía der Universidad del Cauca immer wieder für Fragen und Anregungen zur Verfügung, genannt sei hier Reinaldo García García.

Neben der Universität ist insbesondere zwei Organisationen zu danken: Zum ersten der U.A.E.S.P.N.N. mit dem damaligen Direktor in Popayán Alvaro Gómez Cerón, wie auch Maria Teresa Amayo, der heutigen Direktorin und damaligen Chefin des PNN Puracé und beider Stellvertreter, Luis Alfonso „Bambam“ Ortega Fernandez. Bei der Beschaffung von Satellitenbildmaterial und internen Berichten der U.A.E.S.P.N.N. war Daniel Castañeda Tabares behilflich, Jhon Jairo Ordoñez Delgado sorgte ebenso wie Juan

Carlos Gaitán im Gelände dafür, dass das Projekt nicht an den Begegnungen mit der Guerilla und sonstigen widrigen Umständen scheiterte. Zum anderen handelt es sich um die Mitarbeiter von INGEOMINAS Popayán, Adriana Agudelo, Bernardo Pulgarín, die insbesondere mit eigentlich unzugänglicher Literatur und manchem wichtigen Ratschlag Anteil am Gelingen der Arbeit haben.

Schließlich dankt der Verfasser dem DAAD für die Gewährung eines viermonatigen Auslandsstipendiums, da ohne die finanzielle Hilfe die Arbeit in der vorliegenden Form sicherlich nicht zu erstellen gewesen wäre.

## 1.1 Ziele der Arbeit

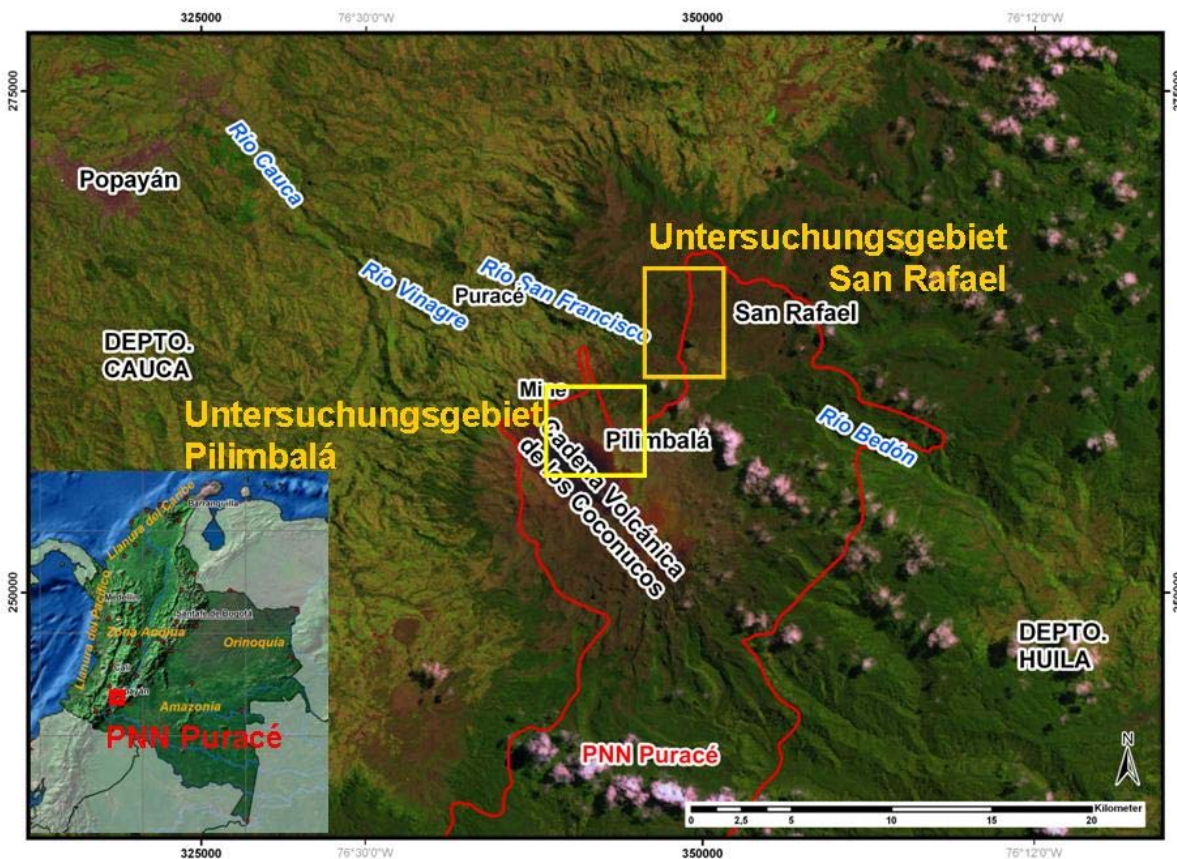


Abbildung 1.1: Lage der Untersuchungsgebiete im Norden des PNN Puracé.

Dargestellt sind im Ausschnitt der Landsat-Szenen 9-58 und 9-59 die Untersuchungsgebiete der Choren San Rafael im Norden der Ríos Bedón und San Francisco sowie Pilimbalá, auf der Nordflanke des Vulkan Puracé. Weiter im Westen liegt das Caucatal mit der Departamentshauptstadt Popayán und der Cabecera Puracé, im Osten das Magdalenatal und das Departamento Huila. Die großräumige Einordnung ist durch die Kolumbienkarte unten rechts gegeben, näheres dazu in den Kapiteln 4ff.

Quellen: Landsat 9-58 und 9-59, ESRI, Eigene Darstellung.

In der vorliegenden Promotionsarbeit wird ein Raum eines tropischen Hochgebirges geoökologisch untersucht. Es handelt sich um den Norden des PNN Puracé mit den beiden Untersuchungsgebieten San Rafael und Pilimbalá (vgl. Abbildung 1.1). Die zugrunde liegende Methodik zur Kartierung und Analyse bilden die Landschaftsökologischen Erfassungsstandards (LE), vormals KA GÖK 25. Diese sind in Mitteleuropa etabliert, da sie in den gemäßigten Breiten eine gute Arbeitsanleitung zur Erfassung geoökologischer Daten liefern, müssen aber aufgrund der klimatischen und morphologischen Verhältnisse an die Tropen, vor allem tropische Hochgebirge, angepasst werden. So können auch in diesem Raum verlässliche Daten geliefert werden.

Es soll mit den hier vorzustellenden Ergebnissen aus dem Norden des PNN Puracé und der dargelegten Methodik eine Grundlage geschaffen werden, auf Basis derer die zuständigen Stellen und auch Universitäten zu planerischen oder diagnostischen Zwecken eine Anleitung finden, hochandine Ökosysteme in ihrer Komplexität zu analysieren. Im Speziellen dienen die im Rahmen der Dissertation vorgelegten Karten und Ergebnisse für die Projektpartner in Popayán als Basis für künftige Vorhaben in ähnlichen Ökosystemen, vor allem Großschutzgebieten.

Die LE werden um die von der kolumbianischen Raumordnungsplanung (POT) vorgegebenen Gesetze und Verfahren ergänzt. Somit soll die Anpassung der in der KA GÖK 25 vorgeschlagenen Methoden an die politischen und planerischen Vorgaben im Lande ermöglicht werden.

Durch die Kombination aus geoökologischer und raumplanerischer Methodik können im Arbeitsgebiet des nördlichen PNN Puracé gute Kartierergebnisse für einen peripheren Untersuchungsraum eines tropischen Hochgebirges erarbeitet werden. Vor allem ist der innenpolitischen Situation Kolumbiens mit einem schwelenden Bürgerkrieg insofern Rechnung zu tragen, als nicht immer alle Bereiche des Untersuchungsgebietes frei zugänglich sind, und damit die temporäre Dimension der Datenerfassung von großer Bedeutung ist. Es ist deshalb eine zeitlich wenig aufwendige, aber trotzdem umfassende Datenerhebung nötig. Eine Grundlage für diese Synthese aus aussagefähiger Feld- und



Labormethodik bieten die LE.

Um zu dem Ergebnis zu gelangen, ist es notwendig, die tradierten Kartiertechniken im Feld mit den sich bietenden Verfahren aus dem GIS- und Photogrammetrie-Bereich zu kombinieren, da die Daten- und Quellenlage in dem südamerikanischen Land um ein Vielfaches schlechter ist als beispielsweise in Deutschland.

Mittels der im Internet frei verfügbaren Satellitenbilder und der SRTM-Radarmission ist eine gute Ergänzung gegeben, um durch Standardluftbildflüge kartographische Grundlagen zu liefern, die die bislang in dem Land vorhandenen topographischen und thematischen Karten qualitativ bei weitem übertreffen.

Diese Kombination aus Fernerkundungsmethodik und ökologischer Geländeaufnahme in typischen Geoökotopgefügen der Hochgebirgstropen liefert so gute Ergebnisse, dass sie auf ambivalente Ökosysteme ähnlicher Gebiete übertragen werden können.

## **1.2 Stand der Forschung und Einordnung in die Literatur nach Sachgebieten**

Grundlage für die in der vorliegenden Promotion gewonnenen methodischen und planerischen Ergebnisse sind folgende Studien aus der Geographie und deren Nachbarwissenschaften.

Kolumbien stand nach den ersten Beschreibungen durch VON HUMBOLDT, CODAZZI und HETTNER im 19. und 20. Jahrhundert lange Zeit im Schatten der südlicher gelegenen Andenstaaten, da sie sich vor allem aufgrund der weniger delikaten innenpolitischen Situation in den letzten 100 Jahren gefahrloser bereisen ließen. Leider dauern die bürgerkriegsähnlichen Zustände bis zum heutigen Tag mit unvermittelter Härte an, es kommt immer wieder zu Übergriffen zwischen den rechten Paramilitärs und den linksgerichteten Guerillagruppen (SEVILLA et al. 2002, STATISTISCHES BUNDESAMT 1992 und 1993, VICE-PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA 2002, ZISS 1997).

Es musste daher auch auf Geoökologische Studien aus den südlich Kolumbiens gelegenen Andenstaaten zurückgegriffen werden, von TROLL (1952 und 1975), FITTKAU (1968), ELLENBERG (1975 und 1977); LAUER (1976), DRONIA (1983), LAUER und FRAN-

KENBERG (1985), LAUER und ERLNBACH (1987) sowie JORDAN (1996) vorliegen. Insbesondere die Landschaftsbeschreibungen von Kolumbien und dem Departamento del Cauca sind in jüngster Zeit von Seiten des IDEAM (1999 und 2001b) und BARONA und GNECCO (2001a und b) veröffentlicht worden. Dies gilt auch für die Arbeiten im nordandinen Raum durch CUATRECASAS (1987), HOLDRIDGE (Costa Rica, 1987), JORDAN (1987) über die Ruiz-Katastrophe und LEYVA (1997), in jüngerer Zeit beschäftigt sich auch BENDIX (u.a. 2004) mit geoökologisch-klimatischen Untersuchungen, die sich zum Teil auf das Arbeitsgebiet übertragen lassen.

Die ersten Beschreibungen der Páramos liefern VON HUMBOLDT und Codazzi im 19. Jahrhundert, wobei einzig VON HUMBOLDT das Untersuchungsgebiet der vorliegenden Dissertation erreichte und den Vulkan Puracé bestieg. Im Folgenden lieferte HETTNER lediglich Beobachtungen aus der Ostkordillere, insbesondere der Páramos nahe Bogotá, von seiner Reise in die kolumbianischen Anden in den 1880er Jahren (HETTNER 1969).

Im 20. Jahrhundert, hier vor allem nach 1950, trat die Erforschung der Páramos vor allem unter ökologischen Gesichtspunkten weiter in den Mittelpunkt des Interesses: zu nennen sind hier in erster Linie die Studien VAN DER HAMMENS (1995), STURMS (1978 und 1983), CLEEFs (1981 und 1992), LUTEYNS (1992) und HOFSTEDES (1992, 1997 und 2002) von europäischer, wie auch die von RANGEL (1985, 1986, 1995 und 2000) und LOZANO (1985, 1986) von kolumbianischer Seite. Eine Reihe der Arbeiten entstanden in multinationalen Projekten, wie die sozialgeographische Promotion von LÓPEZ (2004) über die Páramos Ecuadors. Es finden erst in jüngerer Zeit Symposien und internationale Konferenzen statt, die die Prozessketten der Páramo-Regionen von Costa Rica, Venezuela, Kolumbien, Ecuador und dem Norden Perus thematisieren (IDEAM 2002, HOFSTEDE 1997 und 2002). Hiermit wird den heutigen Grasländern der tierra fría und tierra helada der Nordanden endlich ein ähnliches Augenmerk geschenkt, wie dies schon seit den Arbeiten TROLLS (1952, 1968 und 1975), LAUERS (1976), RUTHSATZ (1977 und 1983) und ERIKSENS (1984) aus der zentralandinen Punastufe für die deutsche Geoökologie der Fall ist. Es hat allerdings auch zuvor einleitende Arbeiten, vornehmlich in der kolumbianischen Zentralkordillere gegeben, die im Projekt „*Estudios de Ecosistemas Tropandinos*“ (u.a. 1995) unter Federführung VAN DER HAMMENS vor allem im PNN

Los Nevados, der Sierra Nevada de Santa Marta und in einem Transekt im Norden des Untersuchungsraumes dieser Dissertation durchgeführt wurden.

Daneben existieren Vegetationsstudien in Assoziationen von kolumbianischer Seite (DUQUE und RANGEL 1987 und 1989). Die meisten Untersuchungen wurden bis zum heutigen Tag, nicht zuletzt wegen der politischen Situation und der besseren Erreichbarkeit, in den Páramos der Ostkordillere und der mittleren Zentralkordillere durchgeführt: BALSLEV und LUTEYN (1992), VAN DER HAMMEN und DOS SANTOS (1995), RANGEL und GARZÓN 1995, ECOAN (1998) und RANGEL trug ein Sammelwerk im Jahr 2001 dazu bei.

So beschränkten sich die Studien im PNN Puracé bislang meist auf die geologischen Verhältnisse, die vermehrt erst seit den 1980er Jahren durchgeführt wurden. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind bislang zumeist unveröffentlicht und liegen nur als Aktennotizen in den örtlichen Büros in Popayán vor. Eine Ausnahme bildet die Dissertation von SCHMITT (1983) über junge Vulkanite in Südkolumbien. Sie entstand, wie auch die nachfolgend aufgeführten Schriften, bei INGEOMINAS in Popayán, wo die Manuskripte auch eingesehen werden können: es handelt sich um diverse Arbeiten von ACEVEDO, ACOSTA, CEPEDA, ESPINOSA, MONSALVE und PULGARÍN in den Jahren 1980 bis 1999. Neben den geologischen Arbeiten aus der Cadena Volcánica de los Coconucos wurde in der Gemeinde Puracé eine generelle Charakterisierung der Gemeindefläche im Rahmen der kolumbianischen Raumordnungsplanung (POT) erarbeitet, die allerdings für das Untersuchungsgebiet selber unzureichend ist. Grundlagen für diese Raumordnungspläne sind veröffentlicht vom IGAC (1997 und 1999), dem MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (1997a bis d) und dem MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO (1997a bis d).

Neben den aufgeführten landschaftsbeschreibenden und ökologischen Arbeiten beschäftigten sich einige Autoren schwerpunktmäßig mit der wirtschaftlichen und politischen Situation, vor allem unter Einbezug der geschichtlichen Hintergründe in Kolumbien, dem Bürgerkrieg, der Época de la Violencia und den bis heute zu spürenden Auswirkungen (u.a. MERTINS 1978, 1987 und zuletzt 2004, ZISS 1997, SEVILLA et al. 1999, SANTAMARTA 1999, DILGER 2000, GONZÁLEZ 2002) und den gesetzlichen Rahmenbedin-

gungen, wie der Verfassungsreform und den Fragen der Landnahme und Raumordnungsplanung (s.o., daneben U.A.E.S.P.N.N. 1999b, 2001a und b, 2002a und PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA 2002).

Klimageographische Studien in den Nordanden legten SCHMIDT (1952), TROJER (1958 und 1959), WEISCHET (1969, 1980 und 1996), BERNAL GARCÍA (1986), EIDT (1986), GARCÍA (1986, 1992, 1998a und b), letzterer insbesondere für das Departamento del Cauca, vor. Sie befassen sich aufgrund der Datenlage vordergründig mit der Niederschlagssituation. Für die Einbeziehung von Bodentemperaturmessungen machte neben DRONIA (1983) vor allem WINIGER (1979 und 1981) Vorschläge aufgrund von Untersuchungen am Mount Kenya, die wertvolle Hinweise auch für Arbeiten in den tropischen Anden geben und vom Verfasser in Kapitel 4.3.3.1 aufgegriffen werden.

Die für theoretisch-geoökologische Untersuchungen grundlegenden methodischen Arbeiten wurden bis heute von TROLL (1939 und 1975) und den vornehmlich in den 1960er Jahren entstandenen Arbeiten von NEEF (1963, 1964, 1968 und 1969) und HAASE (u.a. 1964 und 1976) geprägt. Zu nennen sind hier weiterhin die Autoren MOSIMANN (1984) und LESER (1983 und 1996). Darauf baut die von LESER und KLINK (1988) herausgegebene Geoökologische Kartieranleitung auf, aus der ZEPP und MÜLLER die 1999 publizierte Landschaftsökologischen Erfassungsstandards (LE) entwickelten. Jüngst erschienen Sammelwerke von SCHNEIDER-SLIWA et al. (1999), BLUMENSTEIN et al. (2000) und zuletzt STEINHARDT et al. (2005), die allerdings eher einen theoretisch-modellhaften Schwerpunkt haben, der für die vorliegende praktisch-methodische Arbeit weniger relevant ist als die grundlegenden Kartieranleitungen (s.u.).

Grundlegende Bodenuntersuchungen in den Nordanden führte JENNY (1948) in den Andosolen durch, daneben gab es eine Reihe von Bodenuntersuchungen in Kolumbien durch das Geographische Institut des Landes (u.a. IGAC 1995). Ein Standardwerk für vulkanische Ascheböden, vornehmlich erarbeitet in den Gemäßigten Breiten, liefert SHOJI (1993). Die Bodenuntersuchungen im Labor wurden nach den in den Werken von LESER (1977), KRETZSCHMAR (1991), SCHLICHTING, BLUME und STAHR (1995), ROWELL (1997), Schoenberger et al. (1998), zum Teil zusammengefasst in DÖRRIE (2001), vor-

gestellten Verfahren durchgeführt.

Für die Bodenuntersuchungen und die Interpretation im Gelände lieferten die SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA (1977), SOIL SURVEY STAFF (1996, 1998 und 1999) und die AG BODEN (1996) die Grundlagen.

Daneben gibt auch die geoökologische Kartieranleitung (LE, vormals: KA GÖK 25) den der Arbeit zugrunde liegenden Interpretationsschlüssel vor. Hierbei ist die Ansprache des Bodens allerdings nur ein Teil der gesamten Analysen im Gelände. Die Methodik der Arbeiten im PNN Puracé fußte so auf LESER und KLINK (1988) und ZEPP und MÜLLER (1999). Dies galt ebenfalls für die Vegetationsaufnahme in den Untersuchungsgebieten, die auf der Methodik von BRAUN-BLANQUET (1964) und ELLENBERG (1974) aufbaute und ebenfalls in der Kartieranleitung wiedergegeben ist.

Die LE liefern auch Vorschläge zum Einsatz von GIS und Fernerkundungsmethodik in geoökologischen Untersuchungen, wie auch erstmals TROLL (1939), JORDAN und KRESSE (1985), WIENEKE (1987), LILLESAND und KIEFER (1994), HUBER (1994), KLENKE 1999, LINDER (1999, 2003 und 2005). In jüngster Zeit gewann die Integration von satellitengestützten Fernerkundungssensoren bei der Vegetationsaufnahme immer größere Bedeutung, wie bei TOIVONEN (2003) und (SAMIRI 2003) dargelegt wurde.

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit gliedert sich wie folgt:

Auf die Darlegung der Motivation und der Ziele sowie die Einführung in den Stand der Forschung nach der publizierten und in lokalen Archiven zugänglich gemachten Literatur in den vorangegangenen Abschnitten des Kapitels 1 erfolgt im 2. Kapitel die Betrachtung und die Synthese der aus landschaftsökologischer Forschung und Raumordnungsplanung zugrunde liegenden Systematik ausgehend von der Wissenschaftsgeschichte und der Vorstellung der LE sowie der kolumbianischen POTs. Hinzu kommen die nationalen Grundlagen und Gesetze für den Naturschutz. In Kapitel 3 werden Material und Arbeitsmethoden vorgestellt. Hierbei handelt es sich um die Fernerkundungsdaten und verfügbare Kartenblätter, die Schaffung der Arbeitsgrundlage und im Gelände aufge-

nommene Geofaktoren. Im folgenden Kapitel 4 erfolgt die Vorstellung des Untersuchungsgebiets mit seinen Besonderheiten innerhalb der Nordanden und den Untersuchungsergebnissen. Kapitel 5 ist der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Grundlage der Landschaftsökologien und raumplanerischen Grundlagen durch die Integration der Fernerkundungsmethodik gewidmet. Das Kapitel 6 beinhaltet die Synthese der Ergebnisse und das Fazit der hier vorliegenden landschaftsökologischen Dissertation. Abschließend wird in Kapitel 7 die Arbeit zusammengefasst.

## 2 Landschaftsökologie

Die Landschaftsökologie ist die Grundlage der Arbeit. Im zweiten Kapitel werden nach einem kurzen forschungsgeschichtlichen Abriss die grundlegenden Begriffe definiert und zugrunde liegende Arbeitsmethodiken aus LE und den politischen Vorgaben der kolumbianischen Raumordnung und des Naturschutzes dargestellt.

### 2.1 Die Grundlagen landschaftsökologischer Forschung

Neben dem Begriff der Landschaftsökologie (TROLL 1939) wird der Begriff der Geoökologie in Deutschland meist synonym verwandt (STEINHARDT et al. 2005). In dem von Häckel im Jahre 1869 geprägten Begriff, der vom griechischen „*oikos*“ stammt, sind die beiden Termini Landschaft und Ökologie enthalten (HOLDRIDGE 1987). Die Ökologie hat ihre Wurzeln in der Biologie. Dort wird der Ausdruck zunächst nur autökologisch, also hinsichtlich der Beziehungen des Organismus auf seine nicht-biotische Umwelt hin betrachtet. Eine Erweiterung erfuhr der Ökologiebegriff erst später, als auch Wechselwirkungen zwischen lebenden Organismen Eingang in der Forschung fanden. Dieser Bereich wird als Synökologie bezeichnet. Hierzu gehört in der neueren ökologischen Forschung auch der Mensch, der als Teil des Gefüges betrachtet werden kann, da er mehr und mehr gestaltend in landschaftsökologische Prozesse eingreift (FINKE 1996).

Mit dem Begriff der Landschaft in Verbindung mit Ökologie, also der Landschaftsökologie oder Geoökologie, kam eine räumliche Komponente der Betrachtung hinzu. Nach TROLL (1975) ist die Geoökologie die Wissenschaft von den Wechselbeziehungen biotischer und abiotischer Umwelt im Raum.

Die Geographie als Raumwissenschaft beschäftigt sich mit einer dreidimensionalen Struktur sowie der Entwicklung der Erdoberfläche. Eine besondere Bedeutung erhält daher der Begriff Umwelt, als „die gesamte Umgebung eines Organismus oder einer Organismengruppe, die von einem Wirkungsgefüge abiotischer, biotischer und anthropogener Faktoren ausgemacht wird, zu dem der Organismus (die Organismen) in direkten, indirekten Wechselbeziehungen steht (stehen), deren Qualität für die Existenz und das Wohlbefinden des/der Lebewesen(s) entscheidend ist.“ (LESER 1997, 446).

Die bei den meisten Autoren erfolgte synonyme Verwendung des Begriffspaares Geoökologie und Landschaftsökologie durchbricht einzig LESER, der dem Begriff der Geo-

ökologie den Begriff der Bioökologie zur Seite stellt. Diese beiden Wissenschaftsdisziplinen bilden bei ihm, wie die folgende Grafik verdeutlicht, gemeinsam die Landschaftsökologie.

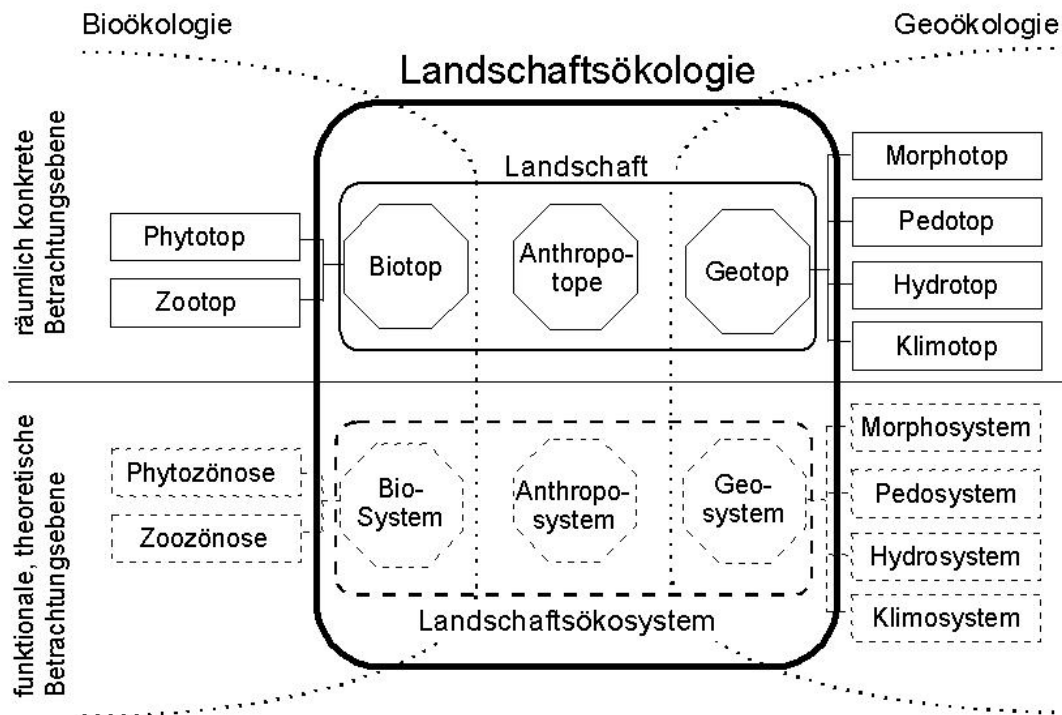


Abbildung 2.1: Landschaftsökologie: Begriff und Verortung nach LESER  
 Quelle: LESER 1997, verändert.

Die komplexe Umwelt wird in der Landschaftsökologie in eine Systemdarstellung überführt, um die komplexen Wirkungsgefüge vereinfacht abzubilden. Die Messungen finden in der realen Umwelt auf einer großmaßstäbigen Ebene in homologen Einheiten statt, die als Biotop, Geotop und Hydrotop bezeichnet werden. Den realen Untersuchungseinheiten stehen mit den Systemen die theoretischen Konstrukte gegenüber, die zur Modellbildung verwendet werden: dem Bio- und dem Geosystem (vgl. Abbildung 2.1).

Der Gegenstand der landschaftsökologischen Forschung ist die Landschaft. Sie wird als System, nämlich das Landschafts- beziehungsweise Geoökosystem, abgebildet, inner-



halb dessen die funktionalen Zusammenhänge der verschiedenen Bestandteile untersucht werden. In der landschaftsökologischen Forschung werden die Verbindungen zwischen einzelnen Landschaftsbestandteilen und der Grad der Verknüpfungen untersucht, die diese Landschaftsökosysteme charakterisieren.

Nach LESER ist es „eine sich aus abiotischen und biotischen Faktoren des Ökotops bzw. des Geosystems aggregierende Funktionseinheit der hochkomplexen realen Umwelt, die somit ein Modell eines Ausschnittes aus der Geobiosphäre bildet, der ein sich selbst regulierendes Wirkungsgefüge darstellt, dessen stets offenes stoffliches und energetisches System sich in einem dynamischen Gleichgewicht befindet.“ (LESER 1997, 132).

Man unterteilt ein Geoökosystem in eine biotische und eine abiotische Komponente; Bio- und Ökosystem. Landschaftsökologisch ist die Verbindung beider Teile besonders wichtig, da die Landschaftsökologie sich per Definition ausdrücklich mit den Wechselwirkungen zwischen belebter und nicht belebter Umwelt befasst.

Eine Schwierigkeit hinsichtlich der einheitlichen Betrachtung von Landschaftsökosystemen ergibt sich in der Folge, da LESER eine strikte Trennung in Biosystem und Geosystem verlangt. Zwar ist vorgesehen, dass auch die Teildisziplinen jeweils periphere Elemente des anderen Systems mit erfassen (LESER 1997), andererseits ist damit eine komplexe Analyse des Landschaftsökosystems der Hochanden, wie sie im Rahmen dieser Arbeit erfolgen soll, schwer möglich.

Es handelt sich bei dem Untersuchungsgebiet am Rande der Ökumene bis in Höhen von ca. 4.000 m.ü.d.M. um einen vom Menschen gestalteten Raum, der seit 1968 zu weiten Teilen Nationalparkgebiet ist. Gerade aufgrund des raumplanerischen Ansatzes des POT (Plan de Ordenamiento Territorial) ist die Integration verschiedener Gesichtspunkte menschlicher Aktivität unabdingbar. In dem vorliegenden Fall bedeutet dies, dass der Mensch als ein Bestandteil des Geoökosystems in großem Maße direkt, wie auch indirekt in das System eingreift, im Nationalpark etwa durch die Unterschutzstellung weiter Räume. Der Eingriff des Menschen ist meist punktuell und nicht regelhaft, beispielsweise in Form von Siedlungen, bestimmten Kulturmaßnahmen in der Landwirtschaft oder auch durch die Festlegung von Grenzen. Es ist also möglich, über politisch-administrative Wege, in die Landschaftsordnung einzugreifen. Der POT Kolumbiens bie-

tet hier eine gesetzlich-methodische Grundlage zur Analyse des Wandels (vgl. Kapitel 2.5).

Dem Menschen wird in der Raumplanung Kolumbiens größere Bedeutung eingeräumt als dies in der klassischen landschaftsökologischen Betrachtung der Fall ist, man verfolgt hier also einen eher pragmatischen Ansatz. Das Ziel ist die ganzheitliche Betrachtung der Geofaktoren unter besonderer Berücksichtigung des Wirkens des Menschen (vgl. Kapitel 2.4f).

### **Die Methodik der landschaftsökologischen Forschung**

Die Vorgehensweise fußt auf der Methodik der Landschaftsökologie, daher ist hier ein Überblick über diesen erst im 20. Jahrhundert begründeten Forschungszweig innerhalb der Geographie geboten.

Der Begründer der von deutschen Physiogeographen entwickelten Methodik der Landschaftsökologie war TROLL, der in seinem 1939 erschienen Aufsatz „Luftbildforschung und ökologische Bodenforschung“ den Begriff der Landschaftsökologie prägte (TROLL 1939). Als weitere frühe Vertreter der landschaftsökologischen Forschung sind Schmithüsen und NEEF zu nennen, die die Ideen TROLLS aufgriffen und vertieften. Im Gegensatz zu Schmithüsen und TROLL stellte NEEF eher den abiotischen Aspekt der Landschaftsökologie in den Vordergrund, allen gemein ist aber der Verweis auf deren interdisziplinären Charakter (FINKE 1996, STEINHARDT et al. 2005).

Das Ziel der Landschaftsökologie ist die Ausweisung und genauere Untersuchung von Raumeinheiten, um so zu einer exakteren Raumgliederung zu gelangen. Mit TROLL begann die Kartierung und Evaluierung der unterschiedlichen Geofaktoren und damit der Schritt von der reinen Beschreibung der Umwelt hin zu quantifizierbaren Verfahren.

Die Landschaftsökologie entwickelte sich in den verschiedenen Ländern auf unterschiedliche Weise. Während in Deutschland die Untersuchungen in der topischen Dimension und die Vergleichbarkeit der Untersuchungen auf großer Maßstabsebene in den Vordergrund rückten, wird beispielsweise in den Niederlanden ein Schwerpunkt auf den raumplanerischen Zweig gelegt (KLINK 1997). Dies unterstreicht die Bedeutung der landschaftsökologischen Forschung gerade in der technischen Zusammenarbeit mit Staaten der so genannten „Dritten Welt“ und damit die Anwendung der Methoden in der vorliegenden Dissertation vor dem Hintergrund der räumlichen Planung ausgehend von

der Gemeindeebene, also der topischen und chorischen Dimension. Eine nähere Erläuterung bildet das Kapitel 2.5 über die kolumbianische Raumordnungsplanung (POT).

## 2.2 Die geographische Dimension

In den 1960er Jahren kam eine verstärkte Diskussion um die Fassung der geographischen Dimension auf. Ziel war es, standardisierte Verfahren der Vorgehensweise bei der Kartierung zu entwickeln.

NEEF vertrat 1963 die Meinung, dass die Komplexität, also die Raumausstattung, einer landschaftsökologischen Raumeinheit einen Einfluss auf die Kartierung dieses Gebietes habe. In der Folgezeit schlossen sich ihm viele Vertreter der Landschaftsökologie an, weshalb nun kurz auf die verschiedenen Dimensionsbegriffe nach NEEF und anderen Autoren eingegangen sei:

Dimensionen landschaftlicher Ökosysteme sind Größenordnungen von geographischen Betrachtungsweisen an Natursystemen, die wiederum hierarchisch in topische, chorische, regionische und geosphärische Dimension gegliedert sind. Diesen Betrachtungsweisen entsprechen die räumlichen Einheiten Ökotope, Mikrochore, Mesochore, Makrochore und Megachore (NEEF 1963). Je nach Autor können die Bezeichnungen für gleiche Dimensionen von Untersuchungsräumen variieren. Es werden die Begriffe nach NEEF verwendet, die in der Tabelle fett gedruckt sind (vgl. Tabelle 2.1).

Innerhalb der verschiedenen Dimensionen kommen unterschiedliche Analyseverfahren zur Anwendung. Wie aus oben stehender Tabelle zu entnehmen ist, bildet die topische Dimension die unterste Hierarchiestufe. Die Untersuchung des Raumes findet hier in Form einer Komplexanalyse statt, wobei zu beachten ist, dass Topo per Definition homogen sind.

Das Homogenitätskriterium ist als besonders wichtig hervorzuheben, da es auch zur Abgrenzung der zu untersuchenden Ökotope dient: Ökotope besitzen eine einheitliche Struktur hinsichtlich des Wirkungsgefüges, des Stoffhaushalts, wie auch der ökologischen Verhaltensweisen (NEEF 1963).

Es liegt im persönlichen Ermessen eines jeden Bearbeiters, eine mögliche Intervallbreite von Merkmalsausprägungen und auch der zu untersuchenden Faktoren zu definieren. Dies ist dann die Basis der Homogenität, die für eine Untersuchung auf der untersten Stufe notwendig ist: „Nur in geographisch homogenen Arealen kann ein gemessener

Wert eindeutig in einen naturgesetzlichen Zusammenhang eingeführt werden.“ (NEEF 1964, 2).

Tabelle 2.1: Begriffe der geographischen Dimension nach verschiedenen Autoren

Dimension	SCHMITHÜSEN 1949	PAFFEN 1953	NEEF 1963	HAASE / RICHTER 1964	HERZ 1974	BARSCH 1978
<b>Topisch</b>	Fliese	Landschaftszelle	<b>Ökotoptop</b>	Ökotoptop	Physiotop	Standort
<b>Chorisch</b>	Fliesengefüge	Landschaftszellen-komplex	<b>Ökotoptopgefüge</b>			Standortgefüge / Nano-chore
		Kleinlandschaft	<b>Mikrochore</b>	Mikrochore / Mikrochoren-gruppe	Mikrochore	Mikrochore
	Naturräumliche Haupteinheit	Einzelland-schaft	<b>Mesocho-re</b>	Mesocho-re (untere Stufe)	Mesocho-re (untere Stufe)	Mesocho-re
	Naturräumliche Großeinheit			Mesocho-re (obere Stufe)	Mesocho-re (obere Stufe)	Makrochore
<b>Regionisch</b>	Naturräumliche Haupteinheit	Großlandschaft	<b>Makrochore</b>	Makrochore	Makrochore	Mikroregion
		Großland-schaftsgruppe				
		Landschafts-unterregion	<b>Megachore</b>			Subregion
		Landschafts-region	<b>Region</b>			Region
		Landschafts-bereich				Makroregion
<b>Geo-sphärisch</b>	Geographische Zone	Landschafts-zone			Makrocho-rengefüge	
		Landschafts-gürtel	<b>Georegion</b>		Megachore	Zone
					Gürtel	

Quellen: Klug und Lang 1983; KLINK 1996; BLUMENSTEIN et al. (2000); LESER 1997; HECK 2000; Löffler und Wundram 2003 und STEINHARDT et al. (2005) (verändert und ergänzt).

Die **topische Dimension** ist methodisch grundlegend für die landschaftsökologische Forschung, der Untersuchungsgegenstand ist die vertikale und laterale Verflechtung: Es können also mittels der komplexen Standortanalyse innerhalb eines Ökotoptop quantitative Messungen erfolgen, die aufgrund des Homogenitätsprinzip auf dessen Gesamtfläche übertragen werden (NEEF 1963). Wie alle übergeordneten Raumeinheiten auch, ist das Ökotoptop kein real existierendes Gebilde, sondern vielmehr ein abstraktes Konstrukt, welches die landschaftliche Heterogenität fassbar macht und zumindest in Kleinräumen

durchbricht und nachfolgend eine Übertragung auf größere Raumeinheiten erst erlaubt (LÖFFLER und WUNDRAM 2003).

In der nächst größeren Dimension wendet sich NEEF von dem in der topischen Dimension postulierten Homogenitätsgrundsatz ab, anstelle dessen wird hier die Heterogenität betont. Die **chorische Dimension** baut sich aus verschiedenen Geotopen zu Geoökotopgefügen auf und besitzt damit eine „Mosaikstruktur“ (NEEF 1963, BLUMENSTEIN et al. 2000). Der Gegenstand der chorologischen Forschung ist das Zusammenspiel (interconnection) der verschiedenen homogenen Tope innerhalb der Chore. Das heißt, dass hier die Beziehungen der einzelnen in der Chore vorhandenen Geotope von Belang sind. Untersucht werden demnach die horizontalen Verflechtungen (HAASE 1976 und 1979). Die Chore können hinsichtlich ihrer Größe von der kleinsten Einheit hin zur größten in Mikro-, Meso-, Makro- und Megachore unterschieden werden.

Um die Nähe zu den Geotopen zu unterstreichen, bezeichnet NEEF die kleinsten heterogenen Raumeinheiten neben dem Begriff der Mikrochore auch als Geoökotopgefüge. Sie bilden noch keine autarken Landschaftseinheiten, vielmehr handelt es sich um heterogene zusammenhängende Flächen. Sie besitzen meist das gleiche Ausgangssubstrat, die Struktur bildenden Prozesse sind noch relativ jung (NEEF 1963). Die Mikrochore wird von den sie aufbauenden topischen Einheiten charakterisiert, womit der Begriff des Geoökotopgefüges zu erklären ist. Die Analyse des Raumes kann so beispielsweise in Form des Catenaprinzips vorgenommen werden. Diese vormals aus der Bodenkunde stammende Methode ist am ehesten geeignet, die in der Regel wiederkehrende Abfolge von Topen nachzuweisen (HAASE 1976; STEINHARDT et al. 2005).

Die nach NEEF weiteren übergeordneten Raumeinheiten seien aus Gründen der Vollständigkeit wiedergegeben. Wie schon beim Übergang von den Geotopen zu den Geochoren eine Generalisierung von Informationen nötig ist, so vollzieht sich dies immer wieder beim Übertritt in eine weitere übergeordnete Raumeinheit, so dass mehr und mehr nur noch die prägnantesten Raummerkmale erfasst und miteinander verglichen werden (LESER 1997).

Mesochoren besitzen eine unterschiedliche Landschaftsgenese, weisen allerdings noch gemeinsame Entwicklungen auf. Der Untersuchungsgegenstand ist weniger ein einzelner Standort, sondern vielmehr die Suche nach etwaigen Dominanzen. Die Mesochoren

bilden im Gegensatz zu den kleineren Raumeinheiten einen genetisch vielseitigen Ausschnitt der Erdoberfläche. Die gemeinsame Basis zur Übertragung der in der topischen Dimension ermittelten Parameter kann hier nicht mehr erfolgen. Quantitative Aussagen können nur über die Interrelationen zwischen den verschiedenen Mikrochoren innerhalb der Mesochore getroffen werden.

Mehrere Mesochoren gleicher Hauptmerkmale bauen die Makrochore auf. Die Makrochore ist bereits nicht mehr der chorischen Dimension zuzuordnen, sie ist die kleinste Raumeinheit der **regionischen Dimension**. Makrochoren sind individuelle Räume, es ist noch möglich, eine prägende Merkmalskombination von Geofaktoren anzugeben.

Anders ist dies bei den Megachoren, bei denen geographische Inhalte stark reduziert erscheinen (NEEF 1963). Die Untersuchungen in dieser Dimension beschränken sich auf die Beschreibung formaler Merkmale. Wie die Mikrochore eine Zwitterstellung zwischen der topischen und der chorischen Dimension innehat, so stellt die Megachore über die Region das Bindeglied zur **geosphärischen Dimension**, also der Georegion dar (NEEF 1963).

### 2.3 Methoden der landschaftsökologischen Raumgliederung

In der Angewandten Landschaftsökologie besteht seit jeher das Ziel, die chaotischen natürlichen Prozesse in eine Ordnung zu zwingen und damit zu systematisieren. Hierfür bedient man sich verschiedener Stell- und Regelgrößen, die auf großmaßstäbiger Ebene aufgestellt werden. Die verschiedenen Räume werden beispielsweise auf der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Basis der geographischen Dimension ermittelt, da es in homogenen Raumeinheiten leichter ist derartige Regelgrößen zu analysieren.

MÜLLER-Miny spricht von einer kausal-funktional-genetischen Beschreibung der Geofaktoren und deren räumlicher Verbreitung als einer Charakterisierung des räumlichen Gefüges (NEEF 1964).

Zur Erfassung der Landschaft gibt es zwei unterschiedliche Wege: Während NEEF (1964) die Gliederung der Landschaft von einem bestimmten Ziel abhängig macht, damit die Bildung der Landschaftseinheiten einen subjektiven Charakter bekommt, ist bei anderen Autoren die Aufnahme aller bestimmenden Geofaktoren nötig, um so ein objektives, ganzheitliches Landschaftsbild zu erhalten.

Die Aufnahme der einzelnen Geofaktoren kann nicht nur nach rein objektiven Gesichtspunkten erfolgen, da immer schon bei der Aufnahme zu einem gewissen Grade eine Evaluierung stattfindet. Die Ausweisung von Raumeinheiten erfolgt immer auf der Basis verschiedener zusammengefasster Faktoren.

Nach FINKE (1996) kann eine für immer und alle Zwecke geltende Raumgliederung nicht erstellt werden. Daher sollte ihm zufolge schon im Vorfeld der Bearbeitungen das Ziel der Arbeit in Form von Arbeitshypothesen formuliert, wie auch deren Verwendbarkeit in der Praxis immer wieder diskutiert werden.

In der Herangehensweise an die Erschließung des Raumes gab es in den beiden deutschen Staaten der 1960er und 1970er-Jahre zwei unterschiedliche Ansätze. Während in der früheren Deutschen Demokratischen Republik das Prinzip der *Naturräumlichen Ordnung* beschritten wurde, wendete man in der Bundesrepublik Deutschland den Weg der *Naturräumlichen Gliederung* an.

Die Untersuchung der Standorte soll demnach auf Grundlage der Komplexanalyse erfolgen, die die Interrelationen zwischen den verschiedenen Landschaftskomponenten beinhaltet. So kann eine Aussage über den Verflechtungsgrad getroffen und damit ein Standortregelkreis erstellt werden (FINKE 1996).

Die verschiedenen Autoren bevorzugten unterschiedliche Messverfahren: Allen gemein ist der Ansatz, eine möglichst genaue Geofaktorenanalyse zu betreiben. Aufgrund des großen Aufwandes bevorzugt MOSIMANN die Möglichkeit, an mehreren Standorten weniger aufwändig zu messen, um den vorhandenen Kostenrahmen nicht zu sprengen (MOSIMANN 1984).

Die Auswahl des Untersuchungsstandortes erweist sich als bedeutsam, da später auf dessen Umgebung geschlossen werden soll. Die flächenhafte Darstellung kann nur dann erfolgen, wenn diese dem Untersuchungsstandort ähnlich ist und eine Übertragbarkeit der Ergebnisse rechtfertigt (FINKE 1996).

## **2.4 Die Landschaftsökologischen Erfassungsstandards**

Die Wurzeln der LE reichen zurück bis in die Zeit der klassischen *Naturräumlichen Gliederung*. Als der erste Vertreter der neuen Form der Landschaftsaufnahme ist TROLL zu nennen, der im Jahre 1941 erstmals eine Kartierung in der Maßstabebene der Topo durchführte (vgl. Abbildung 2.2 und Tabelle 2.1).

Allerdings wurde erst im Jahr 1988 eine Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25.000 (KA GÖK 25) von LESER und KLINK (1988) sowie weiteren Physiogeographen herausgegeben, das Nachfolgewerk sind die LE (MÜLLER und ZEPP 1999).

Das Ziel der Geoökologischen Kartieranleitung ist, aufbauend auf der *Naturräumlichen Gliederung* eine Methodik zur Erfassung von Geofaktoren zu liefern, die mit ökonomisch vertretbarem Aufwand im Feld durchgeführt werden kann.

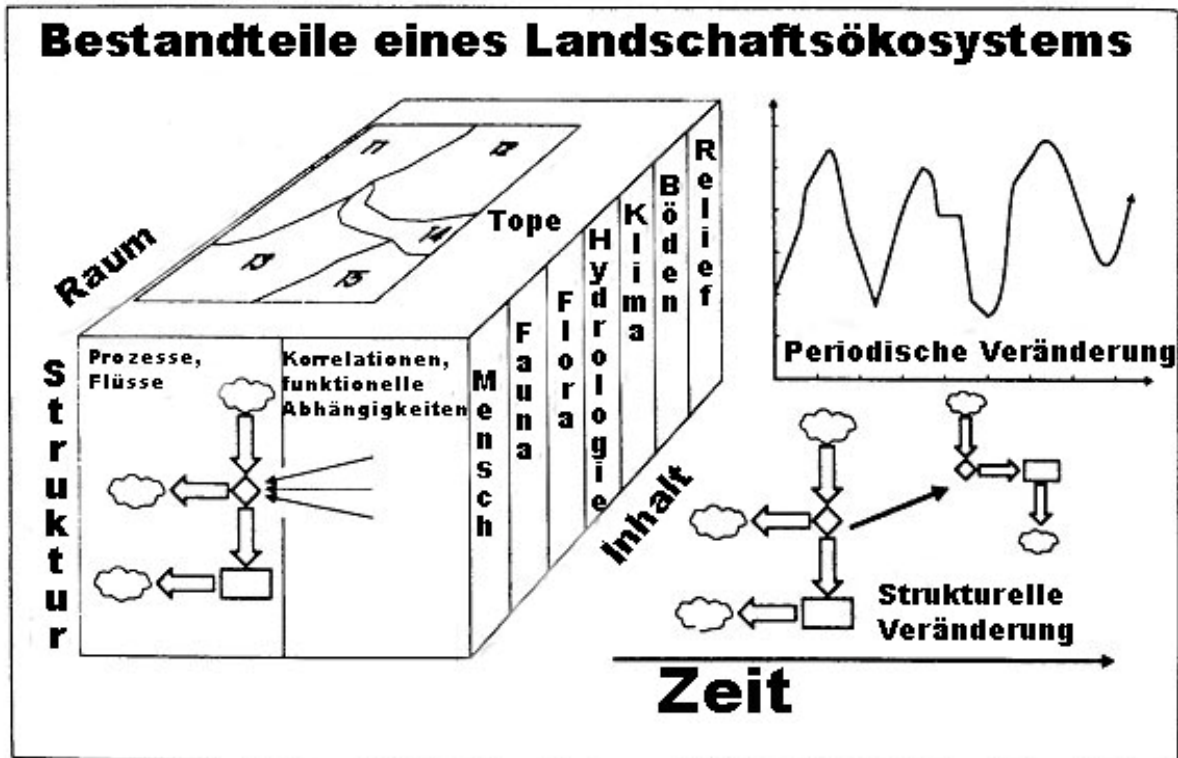


Abbildung 2.2: Bestandteile eines Landschaftsökosystems, die im Rahmen der LE untersucht werden. Verändert nach: HUBER 1994.

Es erfolgt eine Abkehr von den komplexen Standortanalysen und eine stärkere Betonung der Untersuchung geographisch relevanter Parameter und der geoökologischen Funktionszusammenhänge. Ausgehend von einem systemtheoretischen Ansatz soll eine quantitative Darstellung der im Geoökosystem ablaufenden Prozesse ermöglicht werden.

Die LE stützen sich auf die theoretisch-methodischen Grundlagen der Landschaftsökologie und soll eine möglichst umfassende Untersuchung der Ökotope im Sinne NEEFS liefern. Die Geländeaufnahmen können schnell und effizient durchgeführt werden.



Die Grundlage der Kartierung bildet eine Kartierung der Geofaktoren Relief, Boden, Bodenwasser, Oberflächenwasser, Geologie, Klima, Vegetation und anthropogene Einflüsse auf das Ökotox im Maßstab 1:10.000. Die Aufnahme erfolgt möglichst detailliert und wird in Form standardisierter Signaturen und Farben in der Karte fixiert. In die Karten können und sollen auch überprüfte Ergebnisse aus vorangegangenen Arbeiten einfließen, so sie für den Untersuchungsraum zur Verfügung stehen.

Mit den im Feld aufgenommenen Geofaktoren können Strukturgrößen wie Hangneigung, Bodenart, Gründigkeit der Böden, deren Skelettgehalt, Mächtigkeit des A-Horizonts, pH-Werte, Feldkapazität, das Gewässernetz ermittelt werden. Durch die Kombination verschiedener Ergebnisse lassen sich für die Geoökotope Aussagen hinsichtlich der dominanten Strukturen und Nutzungsmöglichkeiten treffen (ZEPP und MÜLLER 1999).

In der Heinrich–Heine–Universität Düsseldorf werden im Rahmen der Universitätsausbildung die Methoden der LE angewandt. Dabei werden sie auch in tropischen Räumen überprüft, in denen die Anwendung dieser für die Mittelbreiten entwickelten Methode, so nicht vorgesehen war. Hierbei haben sich Möglichkeiten und Vorteile der Kartieranleitung, aber auch deren Schwächen herausgestellt, die auch während des Geländeaufenthaltes zu dieser Arbeit in ähnlicher Form auftreten, so dass immer wieder von den vorgegebenen Schritten abgewichen werden und eine Anpassung der Methodik an die tropischen Bedingungen erarbeitet werden muss (vgl. Kapitel 3.2 und 5).

Ein Mangel für die Anwendbarkeit der LE in den Tropen besteht darin, dass sie in der Geländeuntersuchung keine längerfristigen Studien vorsieht, sondern mit Regelgrößen für Mitteleuropa operiert. Nur selten sind Daten aus vorangegangenen Untersuchungen zugänglich. Die vorgegebenen Parameter sollen auf der Basis der Kartierung die Zuweisung bestimmter Kennwerte ermöglichen, sind aber aufgrund der Genese, des Klimas und der Morphologie nicht direkt auf die Inneren Tropen zu übertragen.

Trotzdem bieten die LE einen guten Leitfaden zur umfassenden Analyse des Raumes (HECK 2000), die in der vorliegenden Studie durch Datenerfassungen in der Trocken- und Regenzeit ausgeweitet werden.

Die zweite Grundlage zur Erfassung der Geofaktoren ist der POT, der eigentlich auf Gemeindeebene ausgelegt, als ein sinnvolles Instrument für die Planung in den Schutz-

gebieten erachtet werden kann, da er, wie nachfolgend erläutert, die Integration von landschaftsökologischer und kulturgeographischer Analyse fordert.

## **2.5 Der Plan de Ordenamiento Territorial (POT)**

### **2.5.1 Grundlagen**

Der Plan de Ordenamiento Territorial Municipal (Raumordnungsplan, kurz: POT) ist ein relativ junges Instrument der kolumbianischen Raumplanung. Nach der Verfassung von 1991 ist jede Gemeinde Kolumbiens verpflichtet, einen Raumordnungsplan für ihr Gebiet zu erstellen. Hierbei sind die vordringlichsten Ziele eine Erfassung der naturräumlichen Gegebenheiten sowie der Sozial- und Wirtschaftsstruktur, um eine optimalere Nutzung der Ressourcen zu ermöglichen und einen Dezentralisierungsprozess im Staat Kolumbien einzuleiten. Daher liegt die Erarbeitung und Ausführung der POTs bei den Gemeinden. Es handelt sich um die untere Stufe der kolumbianischen Raumordnung, in der die nationale mit der departamentalen über die regionale Ebene mit der kommunalen Stufe verwoben ist.

Zwar bedient sich die Republik Kolumbien schon seit über 20 Jahren des Mittels der räumlichen Planung, doch beschränkte sich dessen Anwendung fast immer auf die Nutzung und den Schutz der natürlichen Ressourcen (IGAG 1997). Frühere Planungen waren in höchstem Maße technisch und damit ungeeignet, der Gebietsdynamik in den Inneren Tropen zu begegnen. Es fehlten Umsetzungsmöglichkeiten in Form verbindlicher Programme, die die Teilnahme der Zivilgesellschaft noch anderer Institutionen an der Planung umfasste. Der POT soll als eine landesweit gültige Vorgabe dienen, die auf verschiedenen regionalen Raumentwicklungsplänen aufbaut (IGAC 1997). Dies ist vor allem für die Raum- und Nutzungsplanung in geschützten Gebieten essentiell, da die Nationalparks oder andere Schutzgebiete Teil mehrerer Gemeinden sein können und damit die Ziele zwischen diesen abgestimmt werden müssen.

Die im POT empfohlenen Maßnahmen werden nach dem Zeitraum ihrer Umsetzung in schnell (3 Jahre), mittel- (6 Jahre) oder langfristig (9 Jahre) angelegte Projekte unterteilt (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO 1997d).

Die gesetzliche Grundlage für den POT bildet das Gesetz 388 aus dem Jahr 1997, das die folgende Definition für die Raumentwicklung nach dem POT beinhaltet: „Der Plan de

Ordenamiento Territorial ist das Instrument mit dem die Departamentos und die Municipios die Nutzung ihres Gebietes und auch die Prozesse zu dessen Inwertsetzung planen“ (IGAC 1997 und 1999, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO 1997a und b sowie HECK 2000, 14 am Beispiel seiner Durchführung in Caicedonia).

Der POT soll eine Strategie aufzeigen, nach der die Gemeinden die Nutzung und auch die Nutzbarmachung ihres Gebietes durchführen können. Die Strategie soll hinsichtlich der nachhaltigen Entwicklung der Umwelt sowie unter wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Gesichtspunkten erfolgen.

### **2.5.2 Hauptinhalte und Ziele des POT**

Die Erarbeitung des Plan de Ordenamiento Territorial erfolgt in den Alcaldías (Bürgermeister-/Gemeindeämtern) unter Verantwortung des Bürgermeisters und der Planeación, dem Planungsbüro innerhalb der Stadtverwaltung (also für das Projektgebiet die Gemeinde Puracé). Dies soll allerdings nicht nur auf der Ebene der jeweiligen Gemeinde erfolgen, sondern auch die besonderen Strukturen innerhalb der Departamentos mit berücksichtigen, so dass auch regionale und überregionale Einrichtungen, etwa die U.A.E.S.P.N.N., an der Erstellung beteiligt werden sollten.

In der Geländeaufnahme soll zunächst eine Bestandsaufnahme der vorherrschenden Geofaktoren realisiert werden. Dies ist im POT von methodischer Seite nicht klar gefasst, so dass sich eine Kombination mit den LE, wie bereits in Kapitel 2.4 dargelegt, geradezu anbietet (HECK 2000). Die LE ermöglichen detaillierte Erfassungen in relativ kurzer Zeit (ZEPP und MÜLLER 1999). Die ideale Ergänzung liefert der POT für die Analyse der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Wirtschaftszweige und Dienstleistungsangebote.

Die aufgenommenen Daten werden hierarchisiert und evaluiert, es sind die Interdependenzen der Geofaktoren zu erfassen. Dies bedeutet auch, mögliche Konflikte, etwa der Landnutzung, zwischen dem Umweltsystem und dem sozialen System (vgl. Abbildung 2.3) aufzuzeigen. Damit erfolgt eine Bestandsaufnahme der aktuellen Situation und es ist die Möglichkeit gegeben, Maßnahmen zur Verbesserung der Raumstruktur zu ergreifen.

Die grundlegenden Ziele der kolumbianischen Raumordnung basieren auf den verfassungsmäßigen Grundsätzen (Ley 388/1997) und auf der Suche nach einer geeigneten

Ordnung des Raumes, die wiederum nach Kartierung und Evaluierung von physisch- wie auch kultur-geographischen Inhalten erfolgt, die

- zur politisch-administrativen Neugestaltung des Staates führen, eine Basis für die Autonomie der Gebietskörperschaften bilden, zur Dezentralisierung des Staates und zur Stärkung der demokratischen Beteiligung beitragen,
- dem Schutz der ethnischen und kulturellen Vielfalt des Landes Rechnung tragen,
- Strategien, die eine ausgeglichene Raumentwicklung begünstigen, schaffen,
- eine effizientere Zuteilung öffentlicher und privater Investitionen ermöglichen, zu einer geeigneten Verteilung und Ausstattung mit Infrastruktur sowie öffentlicher und sozialer Dienste führen,
- die administrative und institutionelle Koordination für eine gemeinsame, effiziente und wirksame Planung stärken,
- die Verteilung der Aktivitäten im Raum und die Nutzung des Gebietes in Einklang mit der Umwelt regeln (Ley 99/1993; Ley 388/1997),
- schließlich die Prozesse der Inwertsetzung und Nutzung des Raumes regulieren (Planung der Raumnutzung) sollen. Das Ziel ist die optimale Nutzung des Bodens. Dabei muss die von den Gebietskörperschaften ausgewiesene optimale Nutzung ökologisch nachhaltig, wirtschaftlich realisierbar sowie sozial, kulturell und politisch vertretbar sein (IGAC 1997 und 1999).

Zusammenfassend können als Hauptziele der kolumbianischen Raumordnung eine optimale Nutzung der Ressourcen, eine Verbesserung der Lebensqualität und der sozio-ökonomischen Situation der Bevölkerung sowie ein einzuleitender Dezentralisierungs- und Demokratisierungsprozess, also Mitsprachemöglichkeiten im Land genannt werden. Insbesondere die umweltgerechte Planung ist Grundlage der Arbeiten zur Analyse des Nordens des PNN Puracé. Für die genaue Raumdiagnose, also die Ermittlung des Raumpotentials und für die Herausstellung möglicher Nutzungskonflikte, wird die Raum-analyse auf fünf Untersysteme aufgeteilt:

Das physisch-biotische, das wirtschaftliche, das soziale, das politische und das integrative räumlich-funktionale Untersystem (siehe Abbildung 2.3) (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO 1997d und IGAC 1997).

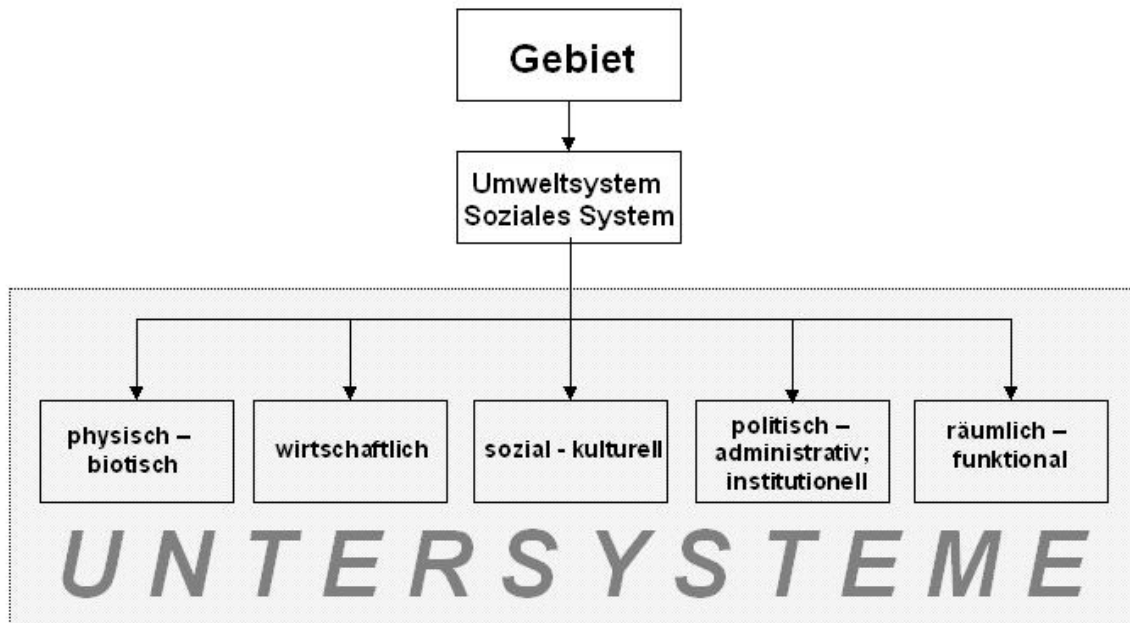


Abbildung 2.3: Systeme und Untersysteme des POT  
Quelle: IGAC 1997; eigene Darstellung

### 2.5.2.1 Das physisch-biotische Untersystem

Das physisch-biotische Untersystem beinhaltet die integrale Analyse der formbildenden bzw. landschaftsbildenden und –gestaltenden Faktoren und Prozesse des Raumes sowie deren Dynamik, Interaktion und Raumwirksamkeit. Betrachtet werden hier insbesondere die Geologie, die Hydrologie, das Klima, das Relief, die Böden, die Vegetation und die Fauna.

Ziel ist die Ausweisung homogener Landschaftseinheiten und eine ökologische Einteilung sowie die Bewertung der natürlichen Grenzen und des Potenzials der ausgewiesenen Räume. Die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen muss dabei im Mittelpunkt der Betrachtung und Analyse stehen. Zudem werden potenzielle Gefahrengebiete

und deren Risiken abgeschätzt, z. B. durch Überschwemmungen, Hangrutsche oder seismischen Aktivitäten (IGAC 1997).

Ein gleichberechtigter Bestandteil auch bei physisch-biotischer Betrachtung ist der Mensch, der durch seine Aktivitäten und Eingriffe in den Raum die Landschaft prägt und verändert und heute einen ebenbürtigen landschaftsbildenden Faktor darstellt, wie in der folgenden Abbildung 2.4 erkennbar ist (IGAC 1997 und MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO 1997d).

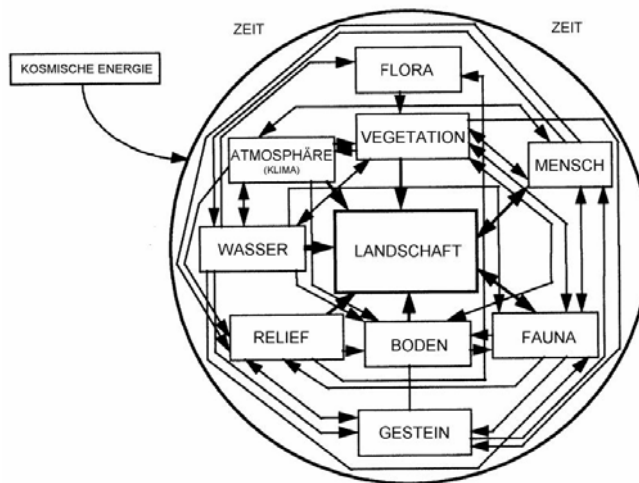


Abbildung 2.4: Landschaftsbildende Faktoren und ihre Interrelationen nach ZONNEVELD  
Quelle: IGAC 1997; verändert; vgl. auch Abbildung 2.5 am Ende des Kapitels.

Abhängig vom Grad der Nutzung sind fünf Landschaftstypen im POT zu unterscheiden:

- Naturlandschaft
- Vom Menschen beeinflusste Naturlandschaft
- Kulturlandschaft
- Suburbane Landschaft
- Städtische Landschaft (IGAC 1997).

### 2.5.2.2 Das wirtschaftliche Untersystem

Das wirtschaftliche Untersystem beschäftigt sich mit der wirtschaftlichen Nutzung des Bodens, die sich ausdrückt in der Land- und Forstwirtschaft, der Gewinnung von Rohstoffen, der industriellen Produktion und dem Dienstleistungssektor. In der Analyse sollen Möglichkeiten zur Optimierung der Produktion und eine geeignete Wirtschaftsstruktur für den Raum gefunden werden (vgl. Tabelle 2.2).

Die Analyse dieses Untersystems soll Antworten auf folgende Fragen geben: welche Güter oder Dienstleistungen bestimmen die Wirtschaft der Gemeinde, welche Wirtschaftssektoren dominieren, wie sind die Produktionsbedingungen, die technische und personelle Ausstattung, für welchen Markt wird produziert, wo sind die Produktionsstandorte, existieren wirtschaftliche Verknüpfungen zwischen den Betrieben (vor- und nachgelagerte Produktionszweige), wie sind die räumlichen Verbindungen zwischen Produktion, Vertrieb etc. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO 1997d)?

Mit der Betrachtung des wirtschaftlichen Untersystems werden demnach mehrere Ziele verfolgt:

- Analyse der gegenwärtigen Wirtschaftsstruktur und der wirtschaftlichen Aktivitäten im Municipio mit Blick auf die Leistungsfähigkeit des Raumes und möglicher Wirtschaftsalternativen.
- Bestimmung der Lage und räumlichen Verteilung der Produktionsstätten im Gemeindegebiet.
- Identifizieren der wirtschaftlichen Möglichkeiten und Grenzen in Relation zu spezifischen Entwicklungsalternativen.
- Identifizieren komparativer Kostenvorteile, um die lokale Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen.
- Ausweisen von (Geo-)Elementen zu deren nachhaltiger Entwicklung.
- Informationsbeitrag zur Optimierung des Produktionssystems (IGAC 1997b).

Tabelle 2.2: Wirtschaftliche Aktivitäten innerhalb des wirtschaftlichen Untersystems des POT

<b>Wirtschaftliche Aktivitäten</b>	
Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Übergangskulturen</li> <li>- halbpermanente Kulturen</li> <li>- Dauerkulturen</li> </ul>
Viehwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traditionelle extensive Viehwirtschaft</li> <li>- verbesserte extensive Viehwirtschaft</li> <li>- intensive Viehwirtschaft</li> </ul>
Waldwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geschützte Waldpflanzung</li> <li>- Waldpflanzung mit kontrollierter Nutzung</li> <li>- Agroforst</li> </ul>
Förderung/Gewinnung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzung der natürlichen Vegetation</li> <li>- Wassernutzung</li> <li>- Bergbau</li> </ul>
Erhaltung und Schutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erhaltung der Natur</li> <li>- Vegetationsschutz</li> <li>- Wiederherstellung</li> </ul>
Industrie und Agrarindustrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kleinindustrie</li> <li>- Mittel- und Großindustrie</li> <li>- Agroindustrie (klein, mittel u. groß)</li> </ul>
Handel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kleinhandel/Einzelhandel</li> <li>- Großhandel</li> </ul>
Dienstleistung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- soziale Grundleistungen</li> <li>- häusliche Dienstleistungen</li> <li>- Zusatzleistungen</li> <li>- Administrative Dienstleistungen</li> </ul>

Quelle: IGAC 1997, verändert und ergänzt.

Das Produktions- und Extraktionssystem ist schließlich Ausdruck der Bodennutzung und Bodeneignung. Sie haben einen großen Einfluss auf die Raumstruktur. Da hier das biophysische mit dem sozioökonomische Untersystem zusammenläuft, ist der Bereich für das Ziel der Raumplanung, eine optimale Bodennutzung zu erreichen, unentbehrlich. Die Analyse des Systems der Produktion und Extraktion soll zu einer Charakterisierung und ökologischen Bewertung der Landschaftseinheiten verhelfen, einen Beitrag zur Bodenbewertung und der Ausweisung von Nutzungskonflikten leisten sowie die Analyse



der wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit der Gemeinde unterstützen. Die Analyse dieser beiden Systeme soll letztendlich Alternativen für eine ökologisch nachhaltige Entwicklung aufzeigen, zu einer optimalen Nutzung des Raumes führen und durch die Ausnutzung komparativer Kostenvorteile die Konkurrenzfähigkeit der Gemeinde steigern (IGAC 1997, und MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO 1997c).

Die Resultate der Analyse des Produktionssystems sind

- die Charakterisierung und Klassifizierung der lokalen Wirtschaft im gemeindlichen, departamentalen (regionalen), nationalen und internationalen Kontext
- die Definition des Produktivitätsniveaus (Menge) und der technologischen Entwicklung der wichtigsten Betriebe und ihrer Aktivitäten
- die interne und externe Verkettung der lokalen Wirtschaft
- die Spezifizierung (Lokalisierung) der lokalen Wirtschaft und ihrer Auswirkungen auf den Produktions-Vertriebs-Konsum-Zyklus
- schließlich die räumliche Ausweisung der Produktions- und Extraktionssysteme in einer thematischen Karte (IGAC 1997).

### **2.5.2.3 Das soziale Untersystem**

Das soziale Untersystem untersucht das Wirken und Handeln des Menschen im Raum, sowie deren Auswirkungen auf die Prozesse und auf die Ordnung und Planung des Gebietes. Im sozialen Untersystem werden Themen behandelt, die im Zusammenhang stehen mit der Siedlungsstruktur und dem Siedlungssystem, dem Wohnungsbau und Wohnungswesen, der Demographie, dem Humankapital, der physischen Infrastruktur, der öffentlichen sozialen Dienste, der öffentlichen Versorgungsleistungen, den kulturellen Aspekten sowie der Organisation und dem sozialen Mitwirken oder der Beteiligung der Gesellschaft (IGAC 1997b; IGAC 1998, 37-39).

Ebenso sind die Verteilung von Industrie-, Gewerbe-, Wohn- und Erholungs- bzw. Freizeitflächen innerhalb der Gemeinde sowie die daraus resultierenden Konflikte wie beispielsweise die unterschiedlichen Nutzungsansprüche und -bedürfnisse oder die Beeinträchtigung der Lebensqualität durch Kontamination Bestandteil der Betrachtung.

Ein wichtiges Ziel dieser Untersuchung ist die Normierung und Regulierung städtebaulicher Maßnahmen. Hieraus resultiert die Ausweisung von Expansionsflächen für Wohnungen, Gewerbe und Industrie sowie die Erstellung von Bebauungsplänen für den

Siedlungsausbau wie auch die Invasion in bestehende Schutzgebiete, so auch den PNN Puracé (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO 1997c).

#### **2.5.2.4 Das politisch-administrative Untersystem**

Gegenstand des politisch-administrativen Untersystems ist die Betrachtung der politischen Handlungsebene. Analysiert werden die institutionelle Führungs- und Verwaltungsstruktur der Gemeinde, die Funktionen und Kompetenzen der Gebietskörperschaften, die normativen Regelungen, die politischen und administrativen Verflechtungen zu anderen Regionen und Verwaltungsebenen sowie die Analyse der öffentlichen Finanzen (IGAC 1998, 30). Besondere Aufmerksamkeit genießt die politische Entscheidungsfindung und deren Umsetzung innerhalb der Gemeinde. Aber auch die Festlegung von Gemeindegrenzen und eine administrative Neugliederung des Raumes sind Teil des Systems.

Ziele der politisch-administrativen Analyse sind:

- Bildung einer funktionsfähigen Regierungs- und Entscheidungsstruktur
- eine ehrliche, korruptionsfreie, kompetente, effiziente, transparente und verantwortungsvolle Verwaltung
- Identifizierung der Funktionen, Kompetenzen und Möglichkeiten sowie der Relationen zwischen den verschiedenen Körperschaften und Institutionen
- Bewertung der staatlichen Eingriffsformen, die sich direkt auf die Funktion und Organisation des Gemeindegebietes auswirken
- Identifizierung der Machtzentren der verschiedenen Interessenvertretungen und ihrer Eingriffsformen in die Raumordnung der Gemeinde
- Schaffung von Beteiligungsmöglichkeiten für die Bevölkerung (IGAC 1997, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO 1997d).

#### **2.5.2.5 Das räumlich funktionale Untersystem**

Das räumlich-funktionale Untersystem beleuchtet Verflechtungen im Untersuchungsgebiet und zu seinem Umland. Komponente der Betrachtung ist das menschliche Siedlungssystem, die Infrastruktur, welche den Informationsfluss und die funktionalen Bindungen erlaubt, der Austausch von Gütern und Diensten zwischen den Siedlungen sowie die Ausstattung der Gemeinde mit Infrastruktur- und Dienstleistungen.

Hauptziel dieses Untersystems ist die Analyse der Zusammenhänge zwischen Siedlungsmuster, Funktion und räumlicher Organisation, die sich in der Nutzung und Raumordnung ausdrückt. Zur Analyse des raum-funktionalen Untersystems werden die zuvor beschriebenen Untersysteme miteinander in Beziehung gesetzt (IGAC 1997).

### 2.5.3 Bewertung des POT

Die Auflistung der verschiedenen raumwirksamen Untersysteme und Prozesse zeigt deutlich die Wichtigkeit der Interaktion zwischen allen Geofaktoren, die auch in der Anökumene vom Menschen und dessen Handeln dominiert ist. Daher erscheint folgende Abbildung (vgl. Abbildung 2.5), die den Menschen noch stärker in den Mittelpunkt stellt, geeigneter, die aktuellen Forschungsarbeiten und die Eingang findenden Geofaktoren zu visualisieren als die im POT wiedergegebene Abbildung (vgl. Abbildung 2.4):

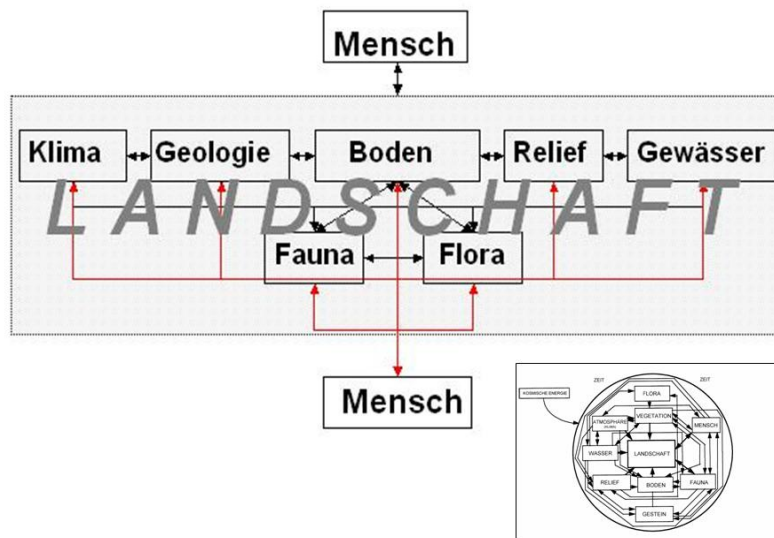


Abbildung 2.5: Landschaftsgestaltende Faktoren unter Einbeziehung des Menschen.

Grau unterlegt sind die sich gegenseitig bestimmenden Geofaktoren, die einerseits als Einzelemente die Landschaft und den Menschen beeinflussen, zum anderen aber auch im Verbund landschaftsgestaltend wirken. Eine Sonderstellung nimmt der Mensch ein, der seinerseits auf einzelne Geofaktoren, wie auch auf die Gesamtlandschaft Einfluss nimmt, wie andererseits von ihnen abhängig ist. Zum Vergleich ist Abbildung 2.4 aus dem POT eingefügt.

Eigene Darstellung.

Sie verdeutlicht ausgehend von der von ZONNEVELD (vgl. Abbildung 2.4; nach IGAC 1997) stammenden Darstellung den wechselseitigen Einfluss des Menschen und der Landschaft oder Geofaktoren, der in alle Prozesse innerhalb eines Ökosystems eingreifen kann. Er tritt daher in der Abbildung zwei Mal auf: zum einen indem er auf die ge-

samte Landschaft einwirkt, zum anderen aber auch durch seine Eingriffe auf einzelne Geofaktoren. Durch derartige Interventionen wird jeweils ein Kreislauf von sich gegenseitig beeinflussenden Geofaktoren ausgelöst, die schließlich im Idealfall wieder zu einem Gleichgewicht kommen. Die Landschaft ist somit der von der Naturausstattung vorgezeichnete aber vom Menschen überprägte Teil der Erdhülle (STEINHARDT et al. 2005; 31).

Das Ergebnis der Untersuchung ist die Ausweisung räumlich-funktionaler Einheiten. Keines der fünf Untersysteme darf nur für sich betrachtet werden. Zur Bestimmung von Entwicklungsmöglichkeiten und Grenzen des Raumes und für die Ermittlung von Nutzungskonflikten müssen alle fünf Untersysteme als ein funktionierendes Kontinuum betrachtet werden. Nur so können die richtigen Maßnahmen für die Raumordnung und Raumentwicklung, gerade in einem Schutzgebiet, getroffen werden.

Trotz der im POT klar dargelegten zeitlichen Dimension für dessen Formulierung und der bei der Raumanalyse zu untersuchenden Geoelemente zeigt die Betrachtung der veröffentlichten POTs deutlich deren Mängel auf, die dadurch entstehen, dass meist fachfremde Bearbeiter kontraktiert werden, die die geforderten Synthesen nicht leisten können.

Als ein Beispiel dient die Gemeinde Caicedonia im kolumbianischen Departamento Valle del Cauca. Der POT des Municipios wurde von Architekturstudenten einer Universität aus Armenia erstellt, die mit der Analyse der raumwirksamen Prozesse überfordert waren (HECK 2000 und LOREK 2000).

## **2.6 Synthese der landschaftsökologischen und raumplanerischen Grundlagen**

Methodische Grundlage der Analysen im Norden des PNN Puracé sind die LE (ZEPP und MÜLLER 1999), die nach deren Anpassung an das vulkanisch geprägte tropische Hochgebirge in einem fragilen andinen Ökosystem wie dem Páramo (vgl. Kapitel 4.4ff und 5.2f) übertragbare Ergebnisse (vgl. Kapitel 5) liefern und der kolumbianische POT (IGAC1997 und 1999).

Vor dem Hintergrund eines dynamischen Bevölkerungswachstums und der instabilen politischen Situation ist die Erweiterung der Arbeitsmethodik um den POT wichtig, da die LE den Menschen als Homo Faber nicht in diesem Maße einschließen.

Konkret bedeutet dies im Untersuchungsgebiet, dass seit dem Beginn der Violencia Teile der Bevölkerung gezwungen sind, an den Rand der Anökumene auszuweichen und in den Hochanden Landwirtschaft zu betreiben. Ferner werden aufgrund der vielfach unbefriedigenden finanziellen Lage der Familien Schlafmohn oder andere zur Herstellung von Drogen geeignete Pflanzen als Alternative zur Subsistenzwirtschaft angebaut, da sie eine hohe Wertschöpfung versprechen (U.A.E.S.P.N.N. 2000b). Im Gegensatz zu den LE sind wirtschaftliche Überlegungen im POT enthalten und vervollständigen so die Methodik.

Eingebunden in die Analyse der Geofaktoren des physisch-biotischen Untersystems werden im ökonomischen Untersystem die Produktion und der Abbau von Bodenschätzen näher betrachtet. Dies soll auch im Hinblick auf eventuelle Optimierung der Produktion erfolgen.

Im sozialen Untersystem wird das Leben und Wirken des Menschen, wie auch die Raumwirksamkeit seines Handelns, untersucht. Dies geschieht über eine Betrachtung der demographischen und kulturellen Faktoren, sowie die Organisation und soziale Mitwirkung der Menschen. Ziel ist die Erfassung des Humankapitals.

Der Betrachtungsgegenstand im politisch-administrativen Untersystem ist die politische Handlungsebene. Besonderes Interesse genießt hier die Umsetzung von Entscheidungen innerhalb des Municipios aber auch die Verflechtungen mit der Region.

Im räumlich-funktionalen Untersystem sollen schließlich die Wechselwirkungen und deren Intensität beleuchtet werden. Hierzu gehören wiederum Produktion wie auch Dienstleistungen auf der Basis der in den anderen Untersystemen bereits untersuchten raumwirksamen Faktoren (IGAC 1997 und 1999).

Die große Relevanz anthropogenen Handelns, der die vorliegende Arbeit durch die Integration von geoökologischen Standards und der raumplanerischen Methodik des POT Rechnung trägt, wird besonders deutlich durch das folgende Zitat aus dem Strategiepapier des deutschen Arbeitskreises (AK) Geomorphologie: „Das Relief der Erde und die auf ihm stattfindenden Stofftransporte sind direkter Ausdruck der natürlichen Weiterentwicklung und der anthropogen ausgelösten Veränderungen an der Erdoberfläche und haben damit Auswirkungen auf das unmittelbare Umfeld des Menschen“ (SCHÜTT 2003, 1).

## 2.7 Gesetzliche Grundlagen für den Naturschutz in Kolumbien

Die letzte Verfassungsänderung in Kolumbien erfolgt im Jahr 1991. In ihr werden die Grundprinzipien der staatlichen Organisation des Landes dargelegt, das sich fortan als dezentralisierter, autonom–unitarischer, partizipativer, pluralistischer und demokratischer Sozialstaat versteht. Die kolumbianische Bevölkerung soll an allen Prozessen auf verschiedenen politischen Ebenen durch Wahlen und Volksentscheide teilhaben. Das Ziel ist die Erhaltung von Naturräumen, die sich durch eine besonders große Biodiversität auszeichnen und deren Möglichkeit zur Selbstentfaltung. Die Naturschutzbelange werden vom INDERENA vertreten (*Erlass 2420/1968 Art. 23b*), erst mit dem *Erlass 622* aus dem Jahr 1977 wird die Nationalparkverwaltung (U.A.E.S.P.N.N.) gegründet, die fortan die Ausweisung nach internationalen Kriterien der IUCN (1994) und das Management der kolumbianischen Nationalparks übernimmt (IDEAM 2003a, U.A.E.S.P.N.N. 1999a und b).

Mit der Einführung der neuen kolumbianischen Verfassung im Jahre 1991 wird auch die Umweltgesetzgebung novelliert. Wie schon in der Vorgängerverfassung dargelegt, werden die Schutzgebiete auch weiterhin von der Nationalparkbehörde U.A.E.S.P.N.N., als ein Teil des Umweltministeriums, verwaltet und betreut. Ein neues Ziel ist die Einbeziehung der in der Nähe und innerhalb der Schutzgebiete wohnenden Bevölkerung. Das Ziel ist eine höhere Akzeptanz für Naturschutzgebiete in der Bevölkerung zu schaffen (U.A.E.S.P.N.N. 2001a und b; 2002a).

Dies geschieht auf Grundlage des aus der Vorgängerverfassung stammenden *Erlass 2811* aus dem Jahr 1974 in Verbindung mit dem *Erlass 622/1977*, welche wiederum auf dem Ley 2 aus dem Jahre 1959 fußen. Es wird erstmals ein Operationsplan für die Planung, Erhaltung und Verwaltung der kolumbianischen Schutzgebiete erstellt. Auf Basis der Verfassung von 1991 und des hier festgeschriebenen Dezentralisierungsgedankens werden im Ley 99/1993 die mit Naturschutz betrauten Behörden und Gremien durch Schaffung des *Sistema Nacional Ambiental (SINA)* reformiert. In dem Gesetz wird die Grundlage für die Beteiligung der lokalen Bevölkerung an Planung und Nutzung von geschützten Räumen geschaffen. Nachdem zuvor eine rigide Politik der Ausweisung der in einem Schutzgebiet lebenden Bevölkerung betrieben wurde, so sah das Ley 2/1959 in Artikel 14 noch ausdrücklich die Umsiedlung der innerhalb der Parkgrenzen lebenden

Bevölkerung vor, versucht man heute die in den Parks verbliebenen Menschen in die Planungen einzubeziehen und ihnen traditionelles Wirtschaften zu erlauben (REPÚBLICA DE COLOMBIA 1977, IDEAM 2003a, REPÚBLICA DE COLOMBIA 2004).

Die U.A.E.S.P.N.N. hat sich nun verpflichtet, sowohl die in einem Schutzgebiet oder in dessen Nähe lebende, wie auch die von der Ausweisung eines Schutzgebietes betroffene Bevölkerung in sämtliche Prozesse, sei es die Einhaltung von internationalen Bestimmungen oder die Abgrenzung von Schutzzonen, einzubeziehen (U.A.E.S.P.N.N. 2001a, b und 2002a).

### **3 Material und Untersuchungsmethoden**

Vor der eigentlichen Geländekampagne konnten bei den Projektpartnern in Popayán während zwei Aufenthalten Luftbilder und Karten digitalisiert werden. Ein Teil der für die Kartierungen im Feld nötigen Arbeitsgrundlagen waren somit bereits vorzubereiten. Dies gilt nicht für die Beschaffung aller notwendigen Materialien, wodurch auch während des Geländeaufenthaltes die Notwendigkeit gegeben war, bei Behörden und Institutionen Daten zu sichten und zu sichern.

#### **3.1 Karten- und Luftbildmaterial**

Die kolumbianischen Großschutzgebiete sind häufig am Rande der Anökumene ausgewiesen, oder befinden sich in völliger Abgeschiedenheit von menschlicher Besiedlung in Ungunsträumen. Sie sind kartographisch gar nicht oder nur unzureichend erfasst. Daher liegen für das Untersuchungsgebiet keine einheitlichen Arbeitsgrundlagen vor. Dies betrifft sowohl die vorhandenen Karten mit unterschiedlichen Maßstäben und Detaillierungsgraden, verschiedenen Projektionen und Kartendaten, wie auch für das zugängliche Luftbildmaterial. Einzig Landsat-Weltraumaufnahmen liegen flächendeckend vor und sind im Internet über die University of Maryland herunterzuladen (<http://www.glcapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>). Gleiches gilt für die aus der NASA-SRTM-Mission erstellten digitalen Höhen- und Geländemodelle (<http://www.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>, und <http://seamless.usgs.gov>, Stand April 2004).

Aus den unterschiedlichen Quellen, die im Rahmen der Arbeit erschlossen und homogenisiert wurden, ist eine genaue Grundlage aus Orthophotos und Geländemodellen gerechnet worden, die die Grundlage für die Analysen und thematischen Karten bildet.

##### **3.1.1 Satellitengestützte Fernerkundungsdaten**

Für die Untersuchungen im PNN Puracé stehen zwei komplette Szenen zur Verfügung. Es handelt sich jeweils um Mosaik aus den beiden Landsat TM-Kacheln 9-58 und 9-59, die von August 1989 und August 1999 vorliegen (Aufnahmezeit ca. 9:52 Uhr Ortszeit). Zudem konnte für den Norden des Nationalparks die Landsat ETM+ - Kachel 9-58 vom 24.08.2003 heruntergeladen werden.



Die Nutzbarkeit der Landsat–Aufnahmen ist in äußerst hohem Maße vom Wettergeschehen im Untersuchungsgebiet abhängig. Die Satelliten überfliegen auf einer kreisförmigen und polaren Bahn die Erde sonnensynchron. Jeder Ausschnitt der Erdoberfläche, mit Ausnahme der Polkappen, die aufgrund der nicht exakt um 90° zum Äquator geneigten Satellitenbahn unabgedeckt bleiben, wird lediglich alle 16 Tage überflogen. Aufgrund des gerade in den Inneren Tropen häufig vorhandenen hohen Bewölkungsgrads sind die Daten nicht immer auswertbar.

Von allen zugänglichen Datensätzen können nur die oben aufgeführten Aufnahmen für die weiteren Arbeiten herangezogen werden, da sie einen geringen Bewölkungsgrad aufweisen. Der Datensatz aus dem Jahr 1989 ist weitestgehend wolkenfrei und die beiden anderen herangezogenen Szenen haben nur eine geringe Wolkenbedeckung von < 3/8 in den zentralen Bereichen. Die Szene aus dem Jahre 2003 diente nur zum Abgreifen von Passpunkten. Die Ostabdachung der Zentralkordillere ist in keinem der zugänglichen Datensätze frei von Wolken.

Tabelle 3.1: Wellenlängen und spektraler Bereich bei Landsat TM und ETM+

Kanal	1	2	3	4	5	7	6	8) <sup>*</sup>
Wellenlänge in $\mu\text{m}$	0,45– 0,52	0,52– 0,60	0,63– 0,69	0,76– 0,90	1,55– 1,73	2,09– 2,35	10,4– 12,5	0,52– 0,90
Pixelgröße in m	30 x 30						) <sup>**</sup>	15 x 15
Spektrum	Blau– Grün	Grün	Rot	Nahes IR	Mittleres IR	Mittleres IR	Thermal	Panchro- matisch

<sup>\*</sup> nur bei Landsat 7 ETM+

<sup>\*\*</sup> Kanal 6 bei Landsat TM 120 x 120 m; bei ETM+ 60 x 60 m.

Quellen: LILLESAND und KIEFER 1994, HECK 2000, ALBERTZ (2001) und Schäfer (2004), erweitert.

Bedingt durch die Auflösung der von den Sensoren erfassten Geländeflächelemente von 30 x 30 m pro Pixel bei Landsat TM und 15 x 15 m / Pixel im panchromatischen Kanal von Landsat 7 ETM+ (vgl. Tabelle 3.1), ist allein durch die Interpretation des Satellitenbildmaterials keine geoökologische Arbeit in der geotopischen Dimension zu leisten. Es treten immer wieder Mischpixel auf, die Ergebnisse von großmaßstäbigen Untersuchungen können verfälscht werden.

Auf der anderen Seite besteht jedoch der Vorteil der langen Messreihe von 15 Jahren, durch die etwaige Veränderungen der Vegetationsstruktur erkennbar würden. Zudem sind die Kanäle der Landsat–Aufnahmen frei kombinierbar, wodurch zusätzliche Informationen aus dem sichtbaren und nicht-sichtbaren Spektralbereich abgelesen werden

können. Neben den Echtfarbdarstellungen der Kanalkomposition 3-2-1 sind durch die Verschiebung des Spektrums in den infraroten Bereich Vegetationsanalysen durch die Kombination der Kanäle 4-3-2 möglich. Nähere Auskunft gibt die folgende Tabelle 3.2:

Tabelle 3.2: Kombination von Satellitenbildkanälen bei Landsat TM und ETM+

Spektrum	Kanäle	Zweck
RGB	4-5-3	Vegetationsbestimmung und Vegetationsklassifikation
RGB	4-3-2	Falschfarbenbild; Infrarot: Vegetationskartierung
RGB	5-4-1	Falschfarbenbild; kurzwelliges Infrarot: Vegetationskartierung
RGB	7-4-3	Vegetation: Bewässerungskulturen, Zonen ohne Vegetationsbedeckung
RGB	4-5-7	Böden und Gestein
RGB	7-4-2	Böden und Gestein (bessere Sichtbarkeit)
RGB	4-7-5	Vegetation: Brandrodungsflächen
RGB	3-2-1	Echtfarbdarstellung
RGB	7-3-1	Ozeanographische Untersuchungen
RGB	6	Oberflächentemperatur

Quelle: LEYVA 1997; LILLESAND und KIEFER 1994, erweitert.

Aufgrund der Bildelementgröße von 30 x 30 m lassen sich mittels der Landsat Szenen Untersuchungen bis hinunter auf die geochorologische Ebene durchführen. Die für die Analyse ausgewählten Pilotgebiete müssen durch vorherige Geländeuntersuchungen kartiert werden. Die Interpretation kann durch Hinzuziehen einer SPOT–Szene für den zentralen Bereich Cadena Volcánica de los Coconucos ergänzt werden (vgl. Kapitel 4). Sie weist eine Pixelgröße von 20 x 20 m auf, verfügt allerdings nur über 3 Spektralkanäle, die die Wellenbereiche von 0,50 – 0,59 µm, 0,61 – 0,69 µm und 0,79 – 0,89 µm aufzeichnen, also den Landsat-Kanälen 2, 3 und 4 entspricht. Die Stärke der SPOT Daten liegt damit eindeutig bei der Vegetationskartierung.

Anders als die passiven Systeme von Landsat und SPOT verhält es sich mit dem dritten satellitengestützten Scanner. Es handelt sich um die von der NASA im Februar 2000 betriebene Shuttle–Mission, auf der mittels eines aktiven Radarsensors an einem 60 m langen Arm und einem weiteren innerhalb der Raumfähre aus 233 km Höhe ein Digitales Höhenmodell der Erde zunächst mit einer Pixelgröße von 90 m Kantenlänge erzeugt wurde, welches später für einzelne Regionen der Erde auf ein 30 x 30m–Raster vergrößert werden soll (RAMIREZ 2003).

Es handelt sich bei den frei zugänglichen Daten für Südamerika lediglich um eines der Bänder, die auf der Mission aufgenommen wurden. Das C–Band hat mit 4 – 7 GHz rela-

tiv lange Wellen, die gute Reliefinformationen liefern. Damit bietet sich eine gute Möglichkeit, fehlende oder ungenaue GPS-Messungen zu kompensieren und genauere Startinformationen für die Aerotriangulation zu erhalten (näheres hierzu in Kapitel 3.1.3.1).

### **3.1.2 Kartenmaterial**

Es handelt sich im Untersuchungsgebiet um einen peripheren Raum, in dem die Karten nur sehr unzureichend nachgeführt werden. Aus dem vorhandenen Kartenmaterial sind die für die Erstellung eines DGMs nötigen Höheninformationen nicht abzugreifen. Informationen sind allenfalls in denjenigen Arealen des PNN Puracé zu erhalten, die an die besiedelten Bereiche des Municipios Puracé oder die Schwefelmine angrenzen (vgl. Abbildung 1.1 und 4.5).

Es handelt sich bei dem vorhandenen Kartenmaterial (Kartenblätter: 365-I-A bis D) ausnahmslos um die zum Teil aktualisierten Kartenblätter des IGAC und der C.R.C., die auf den Befliegungen aus den 1950er und 1960er Jahren beruhen (mündl. Mitt. IGAC 2003, Angaben auf den Kartenblättern), die im Original den Maßstab 1:50.000 aufweisen und zum Teil lediglich bis 1:25.000 vergrößert werden (Cartografía DANE 1:25.000). Zwischen den einzelnen Departamentos und Gebietskörperschaften ist die Vergabe des Kartendatums nicht einheitlich. Auch für die kolumbianischen Raumordnungsplanung (POT) (vgl. Kapitel 2.5f) wurden die Kartenblätter nicht neu aufgenommen, Befliegungen wurden allenfalls in den siedlungsnahen Gebieten durchgeführt, in denen die Karten zum Teil um neue Inhalte ergänzt wurden (vgl. Kapitel 3.1.3). Bereiche, die bei der Befliegung von Wolken bedeckt waren, wurden nicht aufgenommen, sie weisen auch in den aktuellen digitalen Karten keine Information auf, wie die nachfolgende Abbildung 3.1 verdeutlicht:

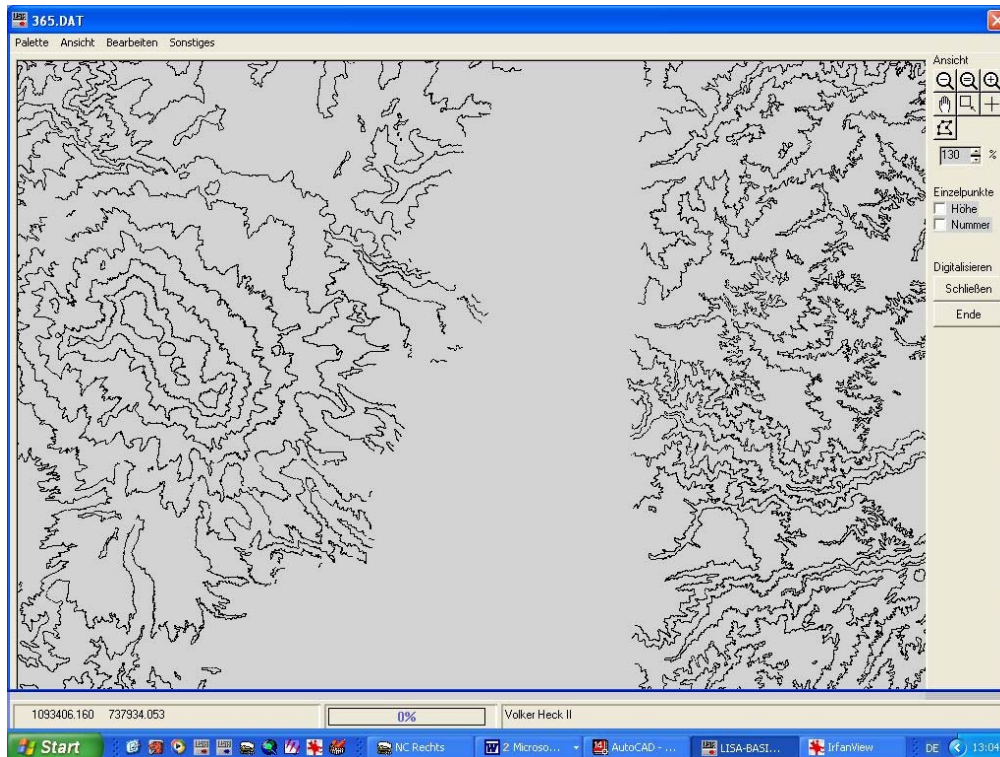


Abbildung 3.1: Ausschnitt aus der digitalen topographischen Karte des Untersuchungsgebietes (Blatt 365 im Maßstab 1:50.000 des IDEAM).

Deutlich sichtbar sind die Bereiche im Zentrum der Abbildung, in denen keine Information vorhanden ist und zudem die durch Nachdigitalisieren verdichteten Höheninformationen.

Zu erkennen sind hier die Cadena Volcánica de los Coconucos im Westen (links) und der Ostabfall der Zentralkordillere (rechts). Nicht erkennbar ist allerdings die Verebnung und der Pass im Norden des Untersuchungsgebietes mit den Lagunen (vgl. Abbildung 1.1, näheres in Kapitel 4.4ff).

Eigene Darstellung.

### 3.1.3 Luftbilder

Die schlechten Karten des Untersuchungsgebietes machten den Gebrauch von Luftbildern und den daraus erstellten Folgeprodukten essentiell für eine geoökologische Studie in großem Maßstab. Nicht zuletzt die vorangestellte Abbildung 3.1 verdeutlicht dies anschaulich (zu den Folgeprodukten vgl. Kapitel 3.1.3.1f). Die genutzten Luftbilder stammen aus den Jahren 1989 und 1991 und können damit direkt mit den Landsat-Szenen der Jahre 1989 und 1999 verglichen werden.

In denjenigen Teilräumen, von denen Luftbilder vorliegen, können Kartierungen in der topischen Dimension vorgenommen und nachfolgend zu übergeordneten Einheiten zusammengefasst werden, die für den gesamten Untersuchungsraum ausgegliedert wurden. Absolut notwendig ist die Erstellung von Digitalen Geländemodellen, thematischen Karten und Orthophotos, deren Entstehung in den folgenden Kapiteln wiedergegeben wird:

### 3.1.3.1 Aerotriangulation

Grundlage für die Aerotriangulation sind die Luftbilder des Untersuchungsraumes, von denen ein Luftbildblock gerechnet wird. Der Block setzt sich aus den in der folgenden Tabelle 3.3 aufgeführten Photos zusammen:

Tabelle 3.3: Zur Erstellung des Blocks genutzte Luftbildstreifen, ungefährer Maßstab und Beispielrechnung zur sich ergebenden geometrischen Auflösung.

Die Auflösung in dpi entspricht der Maßstabszahl/Bildelementgröße x 0,0254.

Flug	Bilder	Befliegungsjahr	Maßstab	Zielauflösung für den Scan (2 m)
2458	052 – 047	1991	1:36.000	457,2 dpi
2461	002 – 008	1989	1:36.000	457,2 dpi
2270	283 – 274	1989	1:27.000	342,9 dpi
2462	107 – 113	1991	1:36.000	457,2 dpi
2270	235 – 226	1991	1:27.000	342,9 dpi
2270	215 – 225	1991	1:27.000	342,9 dpi
2270	258 – 273	1991	1:27.000	342,9 dpi

Quellen für die Berechnung: LILLESAND und KIEFER 1994; ALBERTZ 2001; LINDER 2003.

Das Kartenmaterial des Untersuchungsgebietes, herausgegeben von der C.R.C. und dem IGAC ist von schlechter Qualität (Kartenblätter im Maßstab 1:50.000 mit einer Äquidistanz von 200 m der Isohypsen (vgl. Abbildung 3.1)). Es wird durch Fortschreibung auf Basis der in den 1960er Jahren durchgeführten Luftbildflüge nachgeführt. Für die vorliegende Arbeit ist es daher erforderlich, ein möglichst genaues Geländemodell zu erstellen.

Es stehen dafür Luftbilder aus den späten 1980er und frühen 1990er Jahren (vgl. Tabelle 3.3) zur Verfügung, die ungefähre Maßstäbe zwischen 1: 27.000 und 1:36.000 aufweisen. Die Aktualität des Materials ist damit ausreichend, da die Aufnahmen die Veränderungen nach dem letzten Ausbruch des Vulkans Puracé (1977, vgl. Tabelle 4.3) enthalten.

#### 3.1.3.1.1 Vorarbeiten und Schwierigkeiten

Die zur Verfügung stehenden Luftbilder konnten bei den einzelnen Institutionen nur kurze Zeit entliehen werden. Schon die Diapositive weisen Überbelichtungen und Beschädigungen auf, so dass die zum Scannen genutzten Papierabzüge von schlechter bis durchschnittlicher Qualität waren. Sie mussten vor Ort in Popayán auf einem handelsüb-

lichen DIN A4-Scanner digitalisiert werden. Ein Scan mit mehr als 600 dpi Auflösung war daher nicht zu rechtfertigen, da sonst die Struktur des Papiers im digitalen Bild in den Vordergrund trat. Durch das Scannen mit 600 dpi lassen sich Pixelgrößen von maximal 1,2 µm erzielen; eine hinreichende Größe für die ökologischen Untersuchungen.

Wegen des Formats der Luftbilder von ca. 21 x 21 cm wurden sie in zwei Hälften eingescannt und nachfolgend in der Software LISA FOTO zusammengefügt. Die Geometrie blieb erhalten, wie durch Berechnung des Abstandes zwischen den Rahmenmarken nach Messung der Inneren Orientierungen bestätigt wurde. Für die zusammengefügt Luftbilder ergab sich durchweg eine Auflösung von 42,4 µm, also ca. 599 dpi. Durch die Verwendung der Software LISA FOTO ist es somit möglich, auf die Anschaffung kosten-trächtiger DIN A3- oder Trommelscanner zu verzichten, was besonders wichtig für den Einsatz photogrammetrischer Verfahren in sich entwickelnden Ländern ist (LINDER 2003 und 2004b).

Nach der Messung der Inneren Orientierungen wurden die einzelnen Luftbilder innerhalb der Befliegungsstreifen und zu den Nachbarstreifen organisiert und gemeinsame Punkte zur Verknüpfung gemessen. Die Äußeren Orientierungen mussten durch Anwendung der zu LISA FOTO kompatiblen Software BINGO/BLUH nicht für jedes Modell durchgeführt werden, vielmehr konnte der Luftbildblock gesamt aerotrianguliert werden.

Grundlage dafür sollten neben den Verknüpfungspunkten die im Untersuchungsgebiet mit einem GPS-Gerät (Magellan MAP 330) gemessenen Passpunkte sein. Die Messungen beruhen auf dem US-amerikanischen NAVSTAR-GPS, dessen 24 Satelliten seit ca. 20 Jahren mit einer Umlaufgeschwindigkeit von zwölf Stunden auf sechs Bahnen die Erde umkreisen.

Mit handelsüblichen GPS-Navigatoren sind Genauigkeiten von 20 m zu erreichen, mit der WAAS-Technologie kommt man auf exaktere Positionsbestimmungen von unter fünf Metern.

#### **3.1.3.1.2 Lösungsstrategie**

Es stellte sich allerdings heraus, dass die GPS-Messungen den Ansprüchen nicht voll genügen: Zum einen, weil einzelne im Gelände erreichbare Messpunkte nicht photo-

identifizierbar sind, andererseits gut erkennbare Punkte auch nach mehrstündigen Fußmärschen nicht zu erreichen sind. Die erste Überlegung, fehlende Punkte zumindest ihrer Lage nach aus dem vorhandenen Kartenmaterial abzugreifen, scheitern an der nicht eindeutigen Zuweisung eines Kartendatums seitens des IGAC und der C.R.C. (vgl. Kapitel 3.1.2).

Die Lösung bietet sich im Abgreifen der Lage-Koordinaten aus georeferenzierten Landsat ETM+ -Szenen sowie der Höheninformationen aus den 90-Meter DEMs der Shuttle-SRTM-Mission am Bildschirm (vgl. Abbildung 3.2), die weitaus bessere Ergebnisse liefert.

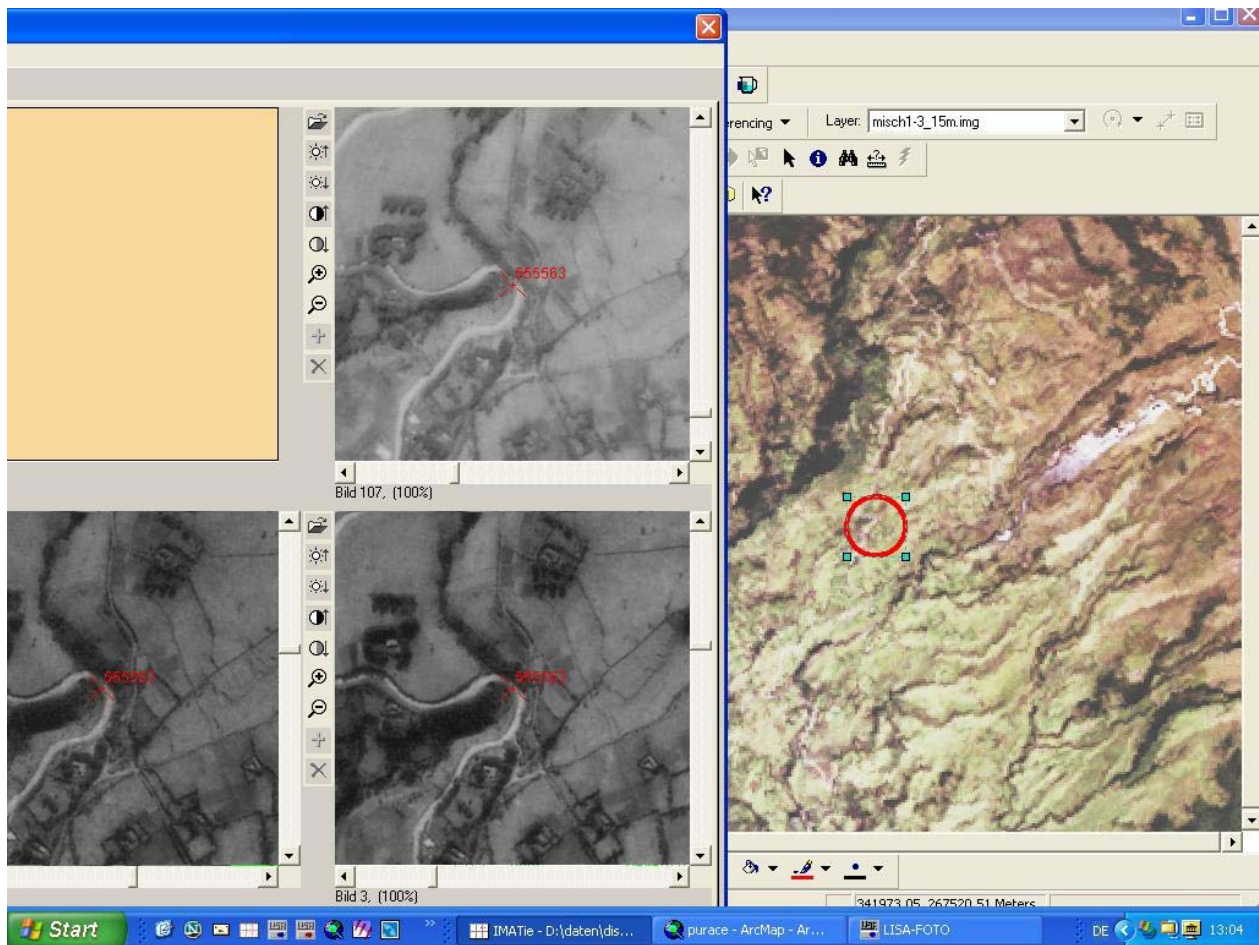


Abbildung 3.2: Passpunktnahme auf Grundlage der Landsat-Komposite im ArcGIS und den im Programm IMATie organisierten Luftbildern.

Zum Vergleich die Passpunktnummern und die Übersichts in den folgenden Abbildungen.  
Eigene Darstellung.

Die Summen-Genauigkeit beträgt, wie der folgenden Tabelle zu entnehmen ist, in der Lage x: 13,739 m; y: 8,271 m und der Höhe 9,093 m und liegt damit in einem für die geökologische Arbeiten akzeptablen Rahmen. Für die hier verwendeten Luftbilder liegt

der Fehler bei durchschnittlich 5 Pixeln (vgl. auch die nachfolgenden Abbildungen 3.3 und 3.4).

Die Methode ist für Untersuchungen in denjenigen Räumen von Bedeutung, wo es aufgrund der politischen Situation und auch der teilweisen Unzugänglichkeit einzelner Gebiete keinen gesicherten Zugang zum Gelände gibt und eine ausreichend genaue Aero-triangulation nötig ist. Die Lage der Passpunkte innerhalb und zwischen den einzelnen Streifen zeigt die folgende Abbildung 3.3:

Tabelle 3.4: Genauigkeit der zur Luftbild-Entzerrung verwendeten Punkte

Punktnummer	X	y	Z	Dx	Dy	Dz
8002	343867.000	258689.000		-1.700	4.878	
8003	330917.000	269978.000	1996.000	-10.690	-4.834	2.973
8004	330112.000	272038.000	2014.000	10.599	5.227	-2.759
8005	333592.000	260745.000	2350.000	-2.990	0.795	3.785
8006			2500.000			-0.631
554001	343670.000	259648.000	3687.000	14.373	-16.733	-2.053
554002	344727.000	249496.000	3665.000	-16.555	1.899	2.563
554004	332189.000	258254.000	2860.000	-12.360	5.640	-11.291
555555	345614.400	252192.440		10.842	-16.916	
555556	355018.670	271056.280	3241.000	7.621	8.884	-7.193
555557	352339.290	273174.800	2986.000	3.178	-4.388	2.624
555558	354378.540	262576.990	3463.000	-16.057	-16.057	2.889
555559	354485.220	259045.230	3262.000	309.612	-456.646	-53.878
555561	333772.380	267606.630	2305.000	-18.660	19644.2	6.254
<b>Mittelwert</b>				<b>-1.249</b>	<b>-0.752</b>	<b>-0.909</b>
<b>Summe</b>				<b>-13.739</b>	<b>-8.271</b>	<b>-9.093</b>

Quellen: BLUH und BINGO, eigene Aero-triangulation (vgl. auch die beiden folgenden Abbildung 3.3 und 3.4).





Abbildung 3.3: Lage der genutzten Passpunkte in den für die Aero triangulation genutzten Befliegungsstreifen.

Die Güte der genutzten Passpunkte ist bis auf # 555559 im Osten sehr gut. Dieser Punkt geht daher lediglich als Höhenpasspunkt in die Berechnung des Blockes ein. Zur besseren Orientierung ist das Gelände modell der Cadena Volcánica de los Coconucos und den nördlich und westlich gelegenen Bereiche oben links eingefügt.

Quelle: Eigene Berechnungen. Eigene Darstellung.

Die folgende Abbildung verdeutlicht neben der Lage der Verknüpfungspunkte auch die Qualität der Verknüpfungspunkte zwischen einzelnen Luftbildern innerhalb eines Streifens und zudem auch zwischen den Streifen:

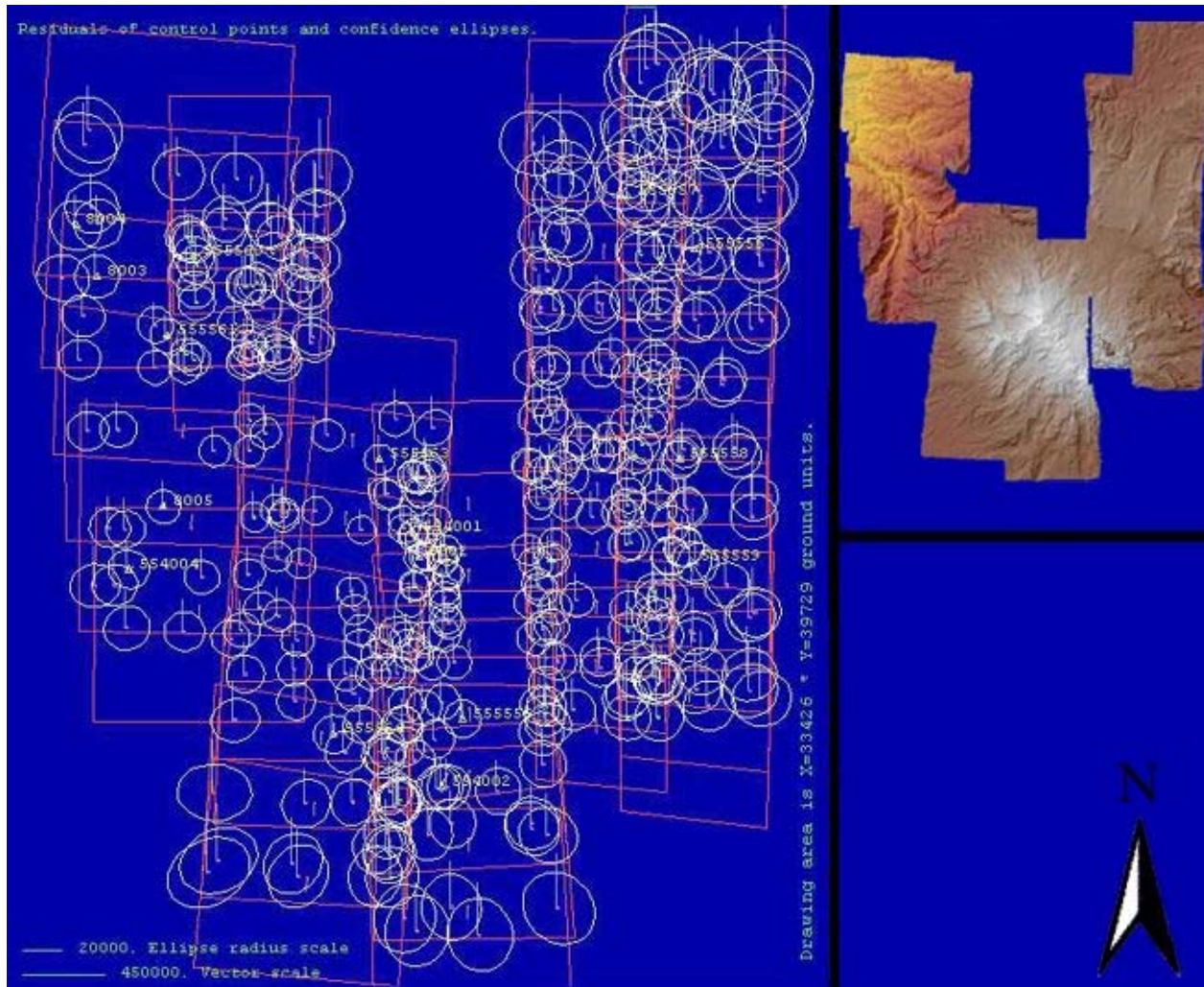


Abbildung 3.4: Lage der Verknüpfungspunkte und der für die Aerotriangulation genutzten Passpunkte in den Befliegungsstreifen.

Deutlich wird die hohe Genauigkeit der Verknüpfung aufgrund des neuen Verknüpfungsverfahrens. Auch in dieser Abbildung zeigt sich, dass die Güte der Passpunkte in den zentralen Bereichen durch eine ausreichende Überbestimmung gegeben ist und sich nur zu den Extremen im Süden und Nordosten, in denen keine Parallelstreifen vorliegen, tolerierbare Fehler ergeben. Insgesamt liegt der Sigma 0-Fehler bei 1,5 Pixel.

Zur besseren Orientierung ist das Geländemodell der Cadena Volcánica de los Coconucos und den nördlich und westlich gelegenen Bereiche oben links eingefügt.

Quelle: Eigene Berechnungen. Eigene Darstellung.

Die im Gelände gemessenen Passpunkte gehen in die Berechnung des DGMs in Form von zusätzlichen Höhenpasspunkten ein, wie auch als eindeutig vor Ort identifizierte Verknüpfungspunkte.

Bei der Verknüpfung der einzelnen Photos wird ein neuer Weg beschritten, indem bewusst von der üblichen Routine abgewichen wird, nach der möglichst eine gleiche Verteilung der Verknüpfungspunkte in den Bildern erreicht werden muss. Nach dem klassischen Verfahren wurden lediglich die Bilder am Rand verbunden. Innerhalb des Blockes

hingegen werden Verknüpfungspunkte nur im Überlappungsbereich zwischen den einzelnen Streifen gemessen (vgl. Abbildung 3.4). Dies hat den Vorteil, dass ein niedriger Sigma 0-Fehler generiert wird, der im vorliegenden Fall bei ca. 1,5 Pixel liegt, was hinsichtlich der Bildqualität und der auch innerhalb eines einzigen Luftbildes auftretenden Höhenunterschiede von zum Teil über 3.000 Meter als sehr guter Wert angesehen werden kann. Die hier erreichten Genauigkeiten übertreffen parallel durchgeführte Verknüpfungen nach dem klassischen Verfahren bei weitem.

Bei der Anwendung dieses Verknüpfungsverfahrens mit qualitativ besserem Luftbildmaterial werden in verschiedenen im Geographischen Institut der Heinrich-Heine-Universität durchgeführten Projekten durchweg Fehler von unter 0,75 Pixeln erreicht. Hierdurch sinkt die für die weitere Verarbeitung der Luftbilder zu DGMs und weiteren Folgeprodukten wichtige y-Paralaxe auf Werte unter einem Pixel.

Anhand der folgenden Abbildung (Abbildung 3.5) sei der Prozess zur Gewinnung des DGMs verdeutlicht. Die Luftbilder werden im Programm LISA FOTO zusammengefügt und nachfolgend die Inneren Orientierungen gemessen. Aus den im Internet abrufbaren Landsat-Szenen und Radardatensätzen werden die Vollpasspunkte genommen und nachfolgend in der Software IMATie in die Luftbilder übertragen, in denen der Punkt aus dem Gelände vorhanden ist.

Schließlich werden in Erdas mit den Parametern des in LISA FOTO aerotriangulierten Blockes erneut die Inneren Orientierungen und nachfolgend die DGMs und Orthophotos errechnet. Sie dienen als Basis für die in ArcGIS erstellten Folgeprodukte:

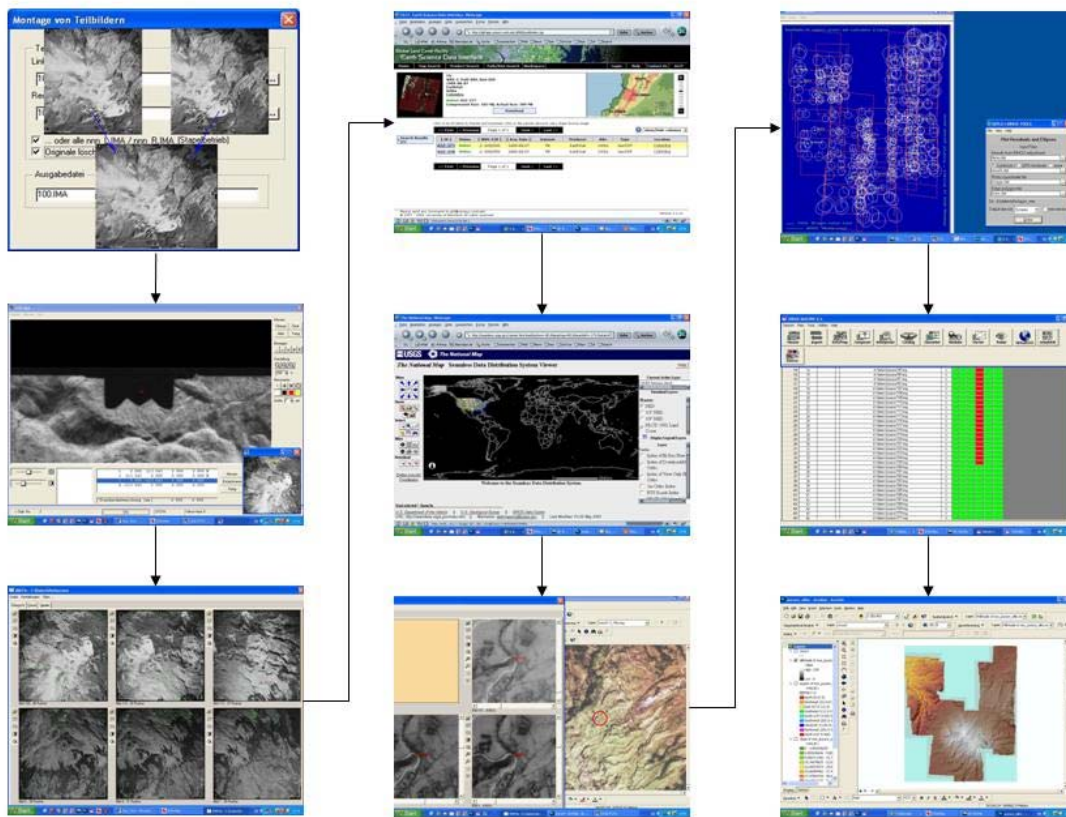


Abbildung 3.5: Workflow für die Erstellung von DGM und Orthophoto vom Zusammenfügen der Luftbildhälften

(oben links) über die Passpunktmessungen und Orientierungen in den unterschiedlichen Programmen bis zum fertigen Produkt, hier das DGM (unten rechts).

1. Zusammenfügen der Bildhälften (LISA FOTO)
  2. Messen der Inneren Orientierung (LISA FOTO)
  3. Messen der Verknüpfungspunkte (IMATie)
  4. Herunterladen der Landsat-Szenen
  5. Herunterladen der Radarsdaten
  6. Messen der Passpunkte (ArcGIS und IMATie)
  7. Aerotriangulation (LISA FOTO und BINGO/BLUH)
  8. Erstellung der Geländemodelle (Erdas, Leica Photogrammetry Suite)
  9. Erstellen der Folgeprodukte (ArcGIS)
- Eigene Darstellung.

### 3.1.3.1.3 Ergebnis der Aerotriangulation

Schließlich kann die Aerotriangulation der 47 Photos über das Verknüpfen mit 383 Punkten durchgeführt werden. Die Verteilung ist relativ gut, nur ca. 1/3 der Punkte verbinden lediglich ein Modell, 86 der 383 dagegen sind in mindestens 5 Photos aufzufinden. Die Mindestanzahl von Verknüpfungspunkten eines Modells beträgt 10, das Maximum 30 Punkte. Näheres dazu ist in der folgenden Tabelle 3.5 wiedergegeben:

Tabelle 3.5a: Verteilung der Verknüpfungspunkte in den Photos des Blockes

Anzahl der in 2 Photos gemessenen Punkte	131
Anzahl der in 3 Photos gemessenen Punkte	127
Anzahl der in 4 Photos gemessenen Punkte	39
Anzahl der in 5 Photos gemessenen Punkte	73
Anzahl der in 6 Photos gemessenen Punkte	13

Quelle: Auszug aus BINGO, eigene Aerotriangulation.

Tabelle 3.5b: Zusammenfassung der Photodaten

Anzahl der genutzten Punkte	383
Anzahl der genutzten Photos	47
Minimum der pro Photo genutzten Verknüpfungspunkte	10
Maximum der pro Photo genutzten Verknüpfungspunkte	30

Quelle: Auszug aus BINGO, eigene Aerotriangulation.

Über den diskutierten Lösungsweg mit der besonders starren Verknüpfung der Luftbilder sind die im kommenden Kapitel beschriebenen Produkte zu errechnen:

### 3.1.4 DGM und Folgeprodukte

Das aus den vorgenannten Schritten resultierende Digitale Geländemodell hat eine Genauigkeit von ca. 10 m in der Lage und 10 m in der Höhe und stellt damit eine erhebliche Verbesserung im Vergleich zu den bislang im Untersuchungsraum genutzten Karten dar, so zum Beispiel in Bezug auf das Relief mit einer Äquidistanz der Höhenlinien von 200 m in den amtlichen Karten (vgl. Abbildung 3.1). Zudem ermöglicht die direkte Ableitung der Höheninformation aus den Luftbildern ohne den Zwischenschritt der Interpolation von Höhenlinien eine genauere Ableitung der Geländecharakteristika.

Die wichtigsten aus dem Geländemodell abgeleiteten Folgeprodukte sind damit Isohypsen-, Expositions-, Hangneigungskarten und die weiteren Geländeparameter, wie beispielsweise der konkaven und konvexen Wölbungslinien des Reliefs.

Das DGM stellt schließlich die Basis für das erzeugte Orthophoto dar, das in einer optischen Auflösung von 2 m gerechnet wurde, um alle in den Luftbildern enthaltenen Informationen visualisieren zu können. Das Ziel der Orthobildverarbeitung ist die Interpretation der im Gelände kartierten Trainingsgebiete und die nachfolgende Übertragung dieser Ergebnisse auf nicht zugängliche Räume.

### **3.2 Aufgenommene Geofaktoren in Anlehnung an die LE und den POT**

Nach den Vorgaben der LE und des POT (vgl. Kapitel 2.4f) wurden die relevanten Geofaktoren nach der Erstellung einer geeigneten Kartiergrundlage (vgl. Kapitel 3.1.4) in Testgebieten innerhalb des PNN Puracé im Feld aufgenommen (vgl. Kapitel 4.4). Die Kartierung an der Nordflanke des Puracé in den Sektoren Pilimbalá und San Rafael wird unterstützt von den aus den Geländemodellen abzugreifenden geomorphologischen Formen (zu den Lokalitäten vgl. Kapitel 4.4, Abbildung 3.6 und Abbildung 4.5). Die aufgenommenen Geofaktoren lassen sich folgendermaßen gruppieren:

#### **3.2.1 Relief**

Für das Relief werden im Gelände lediglich die kleineren und mittleren Formen mit einer Größe von unter 100 Metern aufgenommen, da sie nicht sicher aus den gerechneten DGMs abgeleitet werden können. Größere Reliefelemente werden lediglich grob skizziert, so dass eine Kontrolle der Elemente nach der Generierung der Geländemodelle leicht möglich ist. Zu diesen Voll- und Hohlformen zählen Kuppen, Kessel, Nischen, Sporne, Wälle, Rücken und Kegel, die mit der in den LE vorgeschlagenen Symbolik dargestellt werden (LESER und KLINK 1988, ZEPP und MÜLLER 1999).

Täler und Tiefenlinien werden vollständig kartiert, da aufgrund von Abschattungen in Stereobildpaaren der Charakter dieser Reliefelemente nicht immer korrekt dargestellt werden kann. Man hat zwischen Kerbtälern, Muldentälern, Kerbsohlentälern und asymmetrischen Tälern zu unterscheiden. Für kleinere eingeschnittene Formen wird auf die Tiefenlinie zurückgegriffen, die analog zu dem oben genannten kerb-, muldenförmig oder aber auch asymmetrisch aufgebaut sein kann.

Neben den Tiefenlinien und daraus resultierenden Talformen spielt auch im Hochgebirge die Oberflächengestalt eine wichtige Rolle, weist sie doch auf die im Folgenden vorzustellenden aktuellen morphologischen Prozesse hin. Die Kleinstformen von unter einem Meter Größe werden nach Rilligkeit, Rauigkeit, zudem kesseligem und stufigem Relief unterschieden. Besondere Beachtung gilt in den Tropen den anthropogen induzierten Veränderungen des Reliefs, zudem im Untersuchungsraum vor allem der Viehtrittbildung.

Die momentan vorherrschenden geomorphologischen Prozesse geben Hinweise auf die klimatischen Bedingungen, beispielsweise über die oberflächennah ablaufende Solifluk-

tion, Lösungen, Sackungen, Rutschungen und Suffosion, wie auch Frostaufbrüche und das Bodenkriechen. Eng an entstandene und entstehende Talformen sind die Fluviale-rosion, -akkumulation, Abrasion und Arbeitskanten an Fließgewässern sowie auch flächenhafte Ab- und Rinnenspülungen gebunden.

Eine Sonderstellung nehmen Steinschläge und Murenbildungen ein, da sie aus den zur Verfügung stehenden Luft- und Satellitenbildern, gleich welcher Auflösung, nicht interpretiert werden können, weil sie vielfach erst nach dem Aufnahmezeitpunkt entstanden. Die hier zugrunde liegenden Bilder stammen aus den Jahren 1989 und 1991. Es können lediglich historische Ereignisse dokumentiert und in Ausnahmefällen auch datiert werden.

### **3.2.2 Gewässernetz**

Beim Gewässernetz sind in erster Linie stehende und fließende Gewässer zu unterscheiden, auch hier gilt es wieder eine Grenze zwischen den im Gelände zu kartierenden Elementen und den nachfolgend über eine Photointerpretation zu erarbeitenden Inhalten zu ziehen. Wegen der auftretenden Grauwertumkehr in Abhängigkeit von der Position des Kamerasensors (ALBERTZ 2001, LINDER 2003a) werden grundsätzlich alle Gewässer von bis zu zehn Metern Breite / Länge, entsprechend ca. vier Pixeln, im Gelände aufgenommen. Im Einzelnen handelt es sich um verschiedene Typen von Seen und Tot-eislöcher, welche hier als Tümpel dargestellt sind. Die sie umgebenden Überflutungsbe-reiche werden ebenfalls kartiert.

Relevant sind im Untersuchungsgebiet auch die torrentiellen und perennierenden Fließ-gewässer. Dem Sprachgebrauch in Kolumbien folgend sind die episodisch wasserfüh-renden Gerinne nicht als Racheln, sondern Quebradas bezeichnet, die perennierenden hingegen nach ihrer Größe als Bäche oder Flüsse. Für die jeweiligen Fließgewässerty-pen sind ebenso wie für die Quellen das Klima und die Untergrundbeschaffenheit ver-antwortlich. Zwar ist der Páramo ein Ökosystem der Inneren Tropen und immerfeucht, es kommt aber nach sommerlichen Schneefällen auf den höchsten Gipfeln des Untersu-chungsgebietes zu Schneeschmelzen und stark schwankendem Abfluss, desgleichen nach den auftretenden Starkniederschlägen in den Regenzeiten (vgl. Kapitel 4.1.2.1 und 4.3.3.1): Daran gebunden ist die unterschiedliche Intensität der Wasserschüttung von Quellen.

Die Ausbildung von Vernässungszonen und Mooren hängt eng mit klimatischen Prozessen, dem Relief, den vorhandenen Böden und dem Untergrund zusammen.

### 3.2.3 Vegetation

An der Nordflanke des Volcán Puracé und im Sektor San Rafael (vgl. Abbildung in Kapitel 4.4) wurden Testflächen nach BRAUN-BLANQUET (1964) angelegt, um ein Inventar der einzelnen Vegetationsgesellschaften und –formationen nach auftretenden Arten zu erarbeiten. Sie sind über die Vegetationshöhenstufen des Subpáramo, Páramo und Superpáramo (RANGEL und LOZANO 1986, RANGEL und DUQUE 1989, sowie RANGEL und GARZÓN 1995) verteilt.

Die Größe der Versuchsflächen in den einzelnen Aufnahmeflächen variierte nach der Anzahl der Pflanzen und der Anzahl verschiedener Arten. Es wurden daher die Aufnahmeflächen von 20 x 1 m<sup>2</sup> in den tiefen Lagen San Rafaels und 10 x 1 m<sup>2</sup> in den höher gelegenen Teilen Pilimbalás in denjenigen Arealen angelegt, die eine Mindestgröße von einem Hektar haben. Damit konnte gewährleistet werden, die einzelnen Formationen und Vegetationsgesellschaften in den nicht exemplarisch bearbeiteten Gebieten des PNN Puracé wieder zu finden und ebenfalls über die Interpretation von Luft- und Satellitenbildmaterial bestimmen zu können (vgl. Kapitel 5.2.3).

Die Methode nach BRAUN-BLANQUET (1964) ermöglicht gleichzeitig die pflanzensoziologische Bestandsaufnahme, das heißt die Erfassung aller in dem Testfeld vorkommenden Individuen (Abundanz) und der von den einzelnen Pflanzen bedeckten Flächen (Dominanz). Diese komplexen Analysen konnten nur in San Rafael durchgeführt werden. Nach gleichen Kriterien wurden in Absprache mit den Biologen der Universidad del Cauca weitere Gesellschaften nach Habitus und Dominanz in den Sektoren San Rafael und Pilimbalá ausgegliedert, in denen allerdings kein vollständiges Inventar der Arten erarbeitet werden konnte. Die Pflanzenbestimmung erfolgte ebenfalls in Popayán. Bei auftretenden Unklarheiten wurden die betreffenden Proben im Herbar der Universidad Nacional in Bogotá determiniert.

Das eigentliche Ziel, nämlich die Ermittlung unterschiedlicher Vegetationsgesellschaften nach edaphischen und vertikalen Bedingungen konnte mit dem vereinfachten Schlüssel nach Auftreten der Pflanzen differenziert in Baum-, Strauch-, Gras und Krautschicht erreicht werden.



Da die Aufnahme der Assoziationen nicht immer möglich war, liegen den eigenen Untersuchungen die Arbeiten von RANGEL und DUQUE 1989 als Referenz zugrunde. Damit konnte trotz des einfacheren Aufnahmeverfahrens aus den dominanten Pflanzen in den Aufnahmeflächen auf die Vegetationsformationen und Assoziationen rückgeschlossen werden.

Neben der Artmächtigkeit wird die Wuchsform der jeweiligen Pflanze aufgenommen. Dazu ist zwischen Phanerophyten, Chamaephyten, Hemikryptophyten, Geophyten, Therophyten und Epiphyten zu unterscheiden, wie auch in den einzelnen Arealen die Anpassung an die jeweiligen vorherrschenden Standortfaktoren zu interpretieren ist.

Bei den Vegetationsaufnahmen in den beiden Untersuchungsgebieten San Rafael und Pilimbalá konnten auf 26 Versuchsfeldern 284 Einzelexemplare gefunden werden, die nachfolgend als 220 Arten in 58 Familien bestimmt werden konnten (vgl. Tabelle A 6 im Anhang). Sie wurden nach der Dominanz und Artzusammensetzung klassifiziert, so dass für die drei Páramostufen charakteristische Vegetationsformationen und –gesellschaften determiniert wurden.

In den landwirtschaftlich genutzten Bereichen wird die aktuelle Landnutzung dokumentiert. Die Campesinos wurden nach den tatsächlichen Fruchtwechseln befragt.

#### **3.2.4 Böden**

Die Böden wurden nach einer kombinierten Ansprache der LE und der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 4 bearbeitet (vgl. Kapitel 4.5, wie auch LESER und KLINK 1988, AG BODEN 1996, ZEPP und MÜLLER 1999, HECK 2000 und DÖRRIE 2001). Dies ermöglicht die Erfassung der Bodeneigenschaften und der rezenten Prozesse. Da sich in Kolumbien die Systematik der FAO durchgesetzt hat, und die Ergebnisse entsprechend übertragen werden sollen, findet zudem eine Ansprache nach deren Standards und des US SOIL SURVEY STAFF statt (FAO 1998c, 2000a, IGAC 1982, 1995, 1997, SOIL SURVEY STAFF 1996, 1998, 1999).

Durch die Übertragung der gewonnenen Daten in das in Kolumbien geläufige Klassifikationssystem können somit auch die in der Vergangenheit aufgenommenen Profile (IGAC

1980, 1982 und 1995) im Untersuchungsgebiet mit den hier vorgestellten Profilen verglichen und damit Rückschlüsse auf den südlichen PNN Puracé gezogen werden. Ebenfalls sind die umliegenden Gebiete nördlich der Laguna San Rafael in die Untersuchungen einbezogen.

Die bodenchemikalischen Eigenschaften wurden, nicht zuletzt aufgrund logistischer Schwierigkeiten, nach Absprache zwischen den Projektpartnern in Popayán und Düsseldorf in den Laboren der mit der GEA assoziierten Gruppe für agrochemische Forschung der Universidad del Cauca durchgeführt. Damit kann die Analyse der Proben zeitnah erfolgen und zudem ohne diese zu sehr zu bewegen. Die Absprachen bezüglich der zu bearbeitenden Parameter und Methoden erfolgte im Rahmen der Geländearbeiten. Es konnten aufgrund organisatorischer Mängel seitens des Counterparts leider nicht alle Bodenproben untersucht werden, allerdings gelang es, die wichtigsten zuvor festgelegten Idealprofile III 3, III 2 und IV 1 (vgl. Kapitel 4.5) komplett chemikalische zu analysieren. Die verbleibenden Bodenproben der anderen Profile konnten auszugsweise bestimmt werden. Sie gehen in die Gesamtbetrachtung der Bodentypen gemäß der Feldansprache im Norden des PNN Puracé ein. Im Anhang (vgl. Abbildungen A 2 bis A 12 und Tabellen A 1 bis A 5) sind die Protokolle aus dem Feld und die Laborwerte ergänzend zur Diskussion in Kapitel 4.5 wiedergegeben.

Im Einzelnen wurden für jede Bodenprobe folgende Parameter ermittelt (vgl. Tabelle 3.6):

Tabelle 3.6: Untersuchte Parameter in allen Bodenproben

PH-Wert
Kohlenstoffgehalt in Prozent (%)
Organisches Material in Prozent (%)
Feuchtegehalt in Prozent (%)
Stickstoffgehalt in Prozent (%)
Kalium in Parts per Million (ppm)
Magnesium in Parts per Million (ppm)
Calcium in Parts per Million (ppm)
Natrium in Parts per Million (ppm)

Um den Arbeitsaufwand in überschaubaren Grenzen zu halten, wurden die Böden schon im Feld so genau wie möglich aufgenommen und eine Bodenansprache inklusive Diskussion zur Horizontabfolge der Aufschlüsse mit nachfolgender Interpretation und Bodentypbestimmung durchgeführt. Bei besonders mächtigen Horizonten erschien die Entnahme einer zweiten Probe aus größerer Tiefe innerhalb Desselben angezeigt. Bei geringeren Mächtigkeiten wurde jeweils der zentrale Bereich des Horizonts beprobt. Die folgende Abbildung 3.7 zeigt den hier zugrunde gelegten standardisierten Bodenaufnahmebogen.

Die Bestimmung der Korngrößen erfolgte schon im Gelände durch die Fingerprobe. Die dazu nötigen Proben wurden an der gleichen Stelle der Profile entnommen wie die Proben zur nachfolgenden chemikalischen Untersuchung (siehe Spalte 3 der oben stehenden Abbildung 3.6).

Sämtliche Analysen wurden mit 105°C – getrocknetem Material durchgeführt, die Korngrößenfraktion über 2 mm wird entfernt und separat bearbeitet.

**Formblatt Boden/Hoja de trabajo: Suelos**

Photo: \_\_\_\_\_ Datum /Fecha: \_\_\_\_\_

Standortname/ Nombre del sitio: \_\_\_\_\_ Inklination [°]:Inclinación (°): \_\_\_\_\_

Probenbezeich./ Descripción de la muestra: \_\_\_\_\_ Exposition/Dirección de la pendiente: \_\_\_\_\_

Proben Nr. (arab.) muestra: \_\_\_\_\_ Position GPS/ Posición GPS: \_\_\_\_\_ Höhe [m] / Altura: \_\_\_\_\_

Lageskizze (Aufsicht und Profil) bzw. Bemerkungen zum Aufnahmestandort auf der Rückseite/esbozo del sitio y observaciones al dorso

0	<b>H.-Mächtigl./</b> <i>Profundidad del Horizonte [cm]</i>	<b>H.-Typ*</b> <i>Tipo del Horiz.</i>	<b>Korngrößen*</b> <i>tamaño del grano</i>	<b>Bodenfarbe/-helligkeit*</b> <i>Color del Suelo/ Tonalidad</i>	<b>Kalk*</b> <i>Car-bonato</i>	<b>Feuchte*</b> <i>Humedad</i>	<b>pH-W.*</b>	<b>Leit-Fähigk.</b> <i>Conduc-tividad</i>	<b>Gefüge*</b> <i>Estruc-tura</i>	<b>Bemerkung</b> <i>Observación</i>
25				-		-				
50				-		-				
75				-		-				
100				-		-				
125				-		-				
150				-		-				
175										
200										

Leitrand/ Margen

	<b>Temp.</b>	<b>Uhrzeit der Aufnahme/</b> <i>Hora del levantamiento</i>	<b>Schichtung*/Capas</b>	<b>B</b>	<b>S</b>	<b>K</b>	<b>Lufttemperatur</b> <i>Temper. del aire</i>
5 cm			<b>Vegetationshöhe [m]</b> <i>Altura de la vegetación [cm]</i>				
50 cm		<b>Grad der Bewüldung (%)*</b> <i>Porcentaje de nubosidad</i>	<b>Deckungsgrad [%]*</b> <i>Grado de cobertura[%]</i>				
100 cm			<small>Bodenrinne (aufschlit.) Cauce del suelo (corte)</small>				
			<small>Durchwurzelungstiefe [cm] Profundidad de las raíces [cm]</small>				

\* s. Erläuterung/ véase explicación

Abbildung 3.6: Beispiel für ein standardisiertes Bodenaufnahmeformular. Diese Formulare wurden im GID für Praktika und ökologische Arbeiten entwickelt und verwendet. Das vorliegende Formblatt ist für die Nordanden modifiziert. Es ermöglicht die Aufnahme wichtiger Bodencharakteristika in Kombination mit Klimadaten im Zuge der Bodenansprache. Durch die Nutzung des Formblattes werden an allen Standorten dieselben Parameter aufgenommen, die einzelnen Untersuchungsergebnisse somit vergleichbar. Aufgrund der Kooperation mit der GEA der Universidad del Cauca sind alle Formulare zweisprachig ausgeführt. Quelle: Praktikumsunterlagen des GID, eigene Darstellung.

Im Labor wurden die im Gelände gewonnenen Bodenproben nur einfach analysiert. Entgegen der sonst gängigen Praxis mit drei Parallelproben sind alle Parameter nur einmal bestimmt worden. Eine Ausnahme bilden die pH-Wertmessungen, die dreifach kontrolliert wurden. In den Tabellen (vgl. Kapitel 4.5.1ff) sind trotz der möglichen Fehlerquellen die vom Labor ermittelten Werte genau aufgeführt, wohingegen im Text die auf die erste Nachkommastelle gerundeten Werte diskutiert werden.

Die Untersuchung der Bodenproben erfolgte nach den folgend dargestellten in Kolumbien gebräuchlichen Verfahren, zu den Laborgeräten kann leider keine Aussage gemacht werden:

- Die Bestimmung der pH-Werte erfolgte mittels Messsonde in einer Lösung aus 20g Boden und 20ml destilliertem Wasser.
- Der organisch gebundene Kohlenstoff wurde nach der Methode der nassen Veraschung (WALKLEY und BLACK) gemessen. Es wurden 20g Boden in Lösung gebracht und danach eingedampft. Die nachfolgenden Analysen wurden in Abhängigkeit der Bodenfarbe und dem daraus abzuleitenden Gehalt an Kohlenstoff mit 0,1g (stark humose Probe) bis 5g (schwach humose Probe) durchgeführt.
- Zur Ermittlung der Kationenaustauschkapazität von Ca, K, Mg und Na wurden 10g Boden in Lösung gebracht und gefiltert. Die Messungen erfolgten an einem AAS.
- Die Analyse des Stickstoffgehaltes der Bodenproben erfolgte nach der Titrationsmethode nach KJELDAHL. 5g Boden wurden mit Schwefelsäure in Lösung gebracht und eingedampft. Schließlich wurden 50ml destilliertes Wasser zugesetzt. Diese Lösung wurde mit 40ml Natriumhydroxid und Borsäure versetzt (LABORPROTOKOLL GEA UNIVERSIDAD DEL CAUCA 2004).

## 4 Untersuchungsraum

### 4.1 Kolumbien: Historische und geographische Rahmenbedingungen

Der mit 1.141.748 km<sup>2</sup> ungefähr dreimal größere Staat als die Bundesrepublik Deutschland hat die geographische Lage von 12°N bis 4°S und erstreckt sich über 13 Längengrade von 66° bis 79°W. Das Land ist damit den tropischen Nordanden zuzurechnen und besitzt aufgrund seiner Lage im äußersten Nordwesten Südamerikas in vielerlei Hinsicht eine Brückenfunktion innerhalb des amerikanischen Kontinents. Es hat Zugang zu zwei Weltmeeren und bildet über Darién die Landbrücke nach Panama und damit nach Mittelamerika (vgl. Abbildung 4.1).

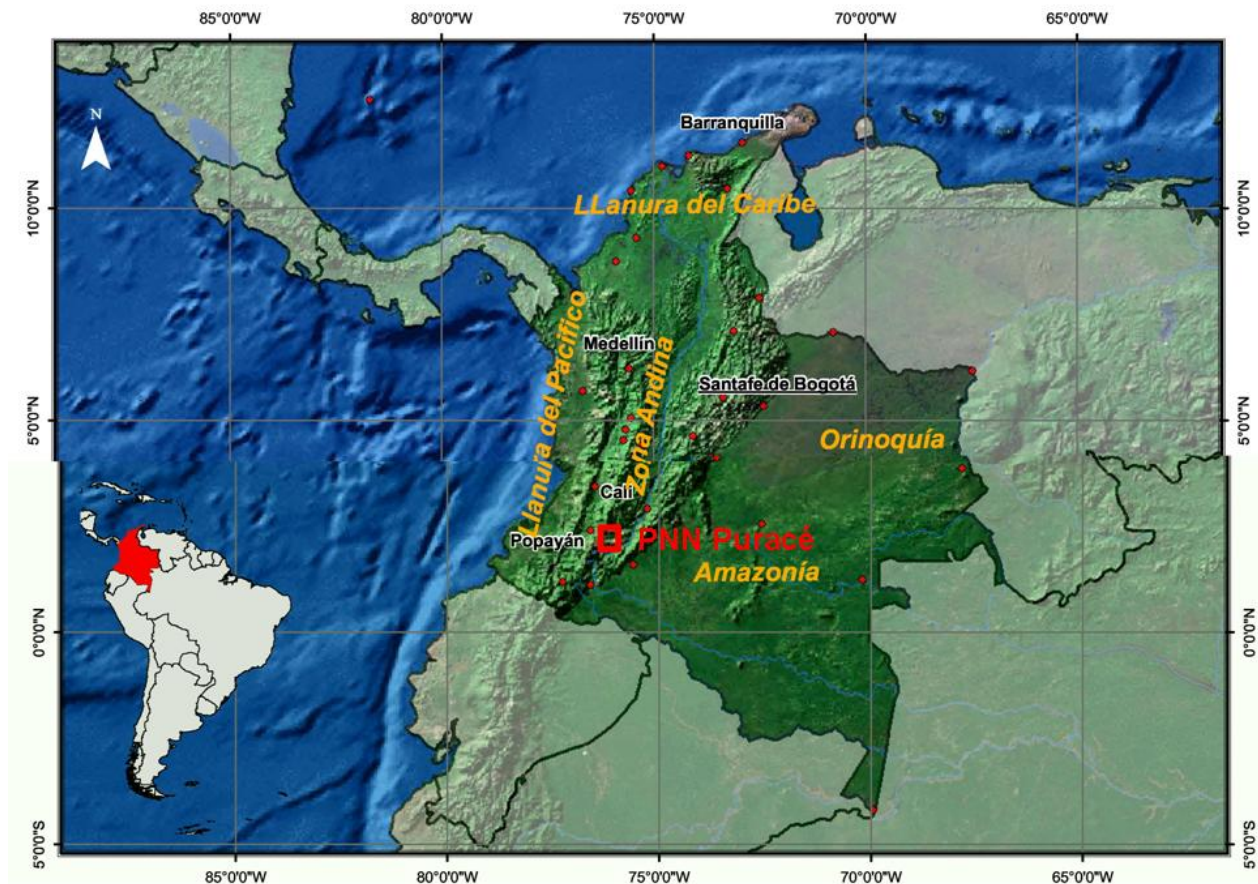


Abbildung 4.1: Die geographische Lage Kolumbiens.

Deutlich ist die geostrategische Position des Staates mit Zugang sowohl zum Pazifik im Westen als auch dem Atlantik im Norden zu erkennen, wie auch die fünf Ökoregionen Amazonía, Orinoquía, Llanura del Caribe, Llanura del Pacífico und schließlich die von Süd nach Nord das Land durchziehende Zona Andina mit den beiden großen nordwärts entwässernden Flüssen Cauca und Magdalena. Zur besseren Orientierung ist der Karte ein 5°-Gitternetz aufgesetzt, zudem sind die größten Städte namentlich verzeichnet, ebenso Popayán im Südwesten. Das eigentliche Untersuchungsgebiet liegt im Osten der Stadt Popayán (roter Rahmen).

Quelle: ESRI, ergänzt, eigene Darstellung.

#### 4.1.1 Geschichte und Gesellschaft

Kolumbien besaß im Gegensatz zu den in den nördlich und südlich gelegenen Staaten, mit den in vorspanischer Zeit dort heimischen Mayas und Inkas, lediglich eine Besiedlung von unterschiedlichen kleinräumig organisierten Indígena-Stämmen. Wie in den größeren Reichen waren auch hier staatliche Strukturen ausgebildet, allerdings existierte kein zusammenhängender Staat.

Aufgrund der leichten Zugänglichkeit im Cauccatal bildete sich dort ein relativ dichtes Siedlungsnetz, zudem gab es in den einzelnen Gebirgsregionen unterschiedliche Stämme, wie etwa die *Paez* und *Coconucos* in der Zentralkordillere (FAUST 1998, EL TIEMPO 2002a).

Die spanische Eroberung des heutigen Kolumbien begann im Jahre 1536 durch JIMÉNEZ DE QUESADA. Zunächst wurde der Nordwesten des südamerikanischen Subkontinents als „Neugranada“ spanisches Vizekönigreich. Im Jahre 1810 begannen Unabhängigkeitsbewegungen unter SIMÓN BOLÍVAR, die 1819 zur Bildung von Großkolumbien mit Venezuela führte. 1822 wurde Ecuador integriert. Schon die damalige Epoche war geprägt von den Kämpfen zwischen Liberalen und Konservativen. Grundlage der Konflikte war die unterschiedliche Staatsanschauung beider Gruppen: Während die Konservativen für einen zentralen Staat eintraten, sahen die Liberalen einen lockeren Verbund der verschiedenen Provinzen, also ein föderalistisches Modell vor. Nach der Abdankung von BOLÍVAR setzten sich zunächst die Liberalen durch und bildeten im Jahr 1863 die Vereinigten Staaten von Großkolumbien.

Die zeitweise ausgeartete Rivalität zwischen Liberalen und Konservativen bestimmt bis heute die innenpolitischen Geschehnisse des Landes, die sich in einem über Jahrzehnte andauernden Bürgerkrieg äußerte. Als die wohl einschneidendsten Ereignisse sind hier der „Krieg der 1.000 Tage“ von 1899-1901, ausgehend von der Liberalen Revolution, bei dem 130.000 Menschen ihr Leben verloren zu nennen. Der 1948 mit der Ermordung des Liberalen JORGE E. GAITÁN beginnende Konflikt, der rund 300.000 Todesopfer forderte, wird „*Época de la Violencia*“ genannt. Von 1948-1958 war vor allem das ländliche Kolumbien von den Kämpfen zwischen Liberalen und Konservativen betroffen. Die unterschiedlichen Lager bekämpften sich unabhängig von Verwandtschaftsgraden nur aufgrund der Zugehörigkeit zu der einen oder anderen Gruppe (SEVILLA et al. 1999).

Die Folge der Kämpfe war eine Landflucht vor allem der liberalen Landbesitzer, da sie sich in den Städten einen besseren Schutz versprachen. Ein Militärputsch beendete den Bürgerkrieg. Er wurde von beiden politischen Lagern befürwortet, da sich die bewaffneten Gruppen zum Ende des Bürgerkrieges immer mehr einer kommunistischen Zielsetzung zuwandten (ZISS 1997).

Es folgte ein Jahrzehnt politischer Ruhe in dem die Präsidenten abwechselnd vom liberalen und konservativen Lager gestellt wurden.

Die vor allem in den 1960er Jahren aus linken Gruppierungen entstandenen Guerillaeinheiten (u.a. FARC: 1964) beherrschen noch heute einen großen Teil Kolumbiens und die Tagespolitik. Die vormalige Unterstützung dieser Gruppen durch die UdSSR ist nach deren Zusammenbruch nicht mehr gegeben, so dass sich die Guerillagruppen andere Möglichkeiten der Geldbeschaffung sichern mussten. Sie finanzieren sich zum großen Teil durch Schutzsteuern, eingetrieben bei Cocobauern und –händlern sowie Entführungen. STÜHRENBERG (2000) schätzt die jährlichen Einnahmen auf 500 Millionen US-Dollar. Als Gegenpol zur Guerilla hat sich in Kolumbien eine starke, zunächst von Landbesitzern initiierte, paramilitärische Gruppe zusammengefunden, die ebenfalls zu großen Teilen aus Drogengeldern finanziert wird. Die rechten Paramilitärs stehen der Guerilla in der Gewaltbereitschaft in nichts nach.

In der jüngsten kolumbianischen Geschichte werden die Zeichen für einen Frieden zwischen den Guerilleros und den Paramilitärs auf der einen und der Regierung in Bogotá auf der anderen Seite immer deutlicher, vor allem die ELN gilt derzeit als „angeschlagen“ (MERTINS 2004, 44), die dritte im Lande verbliebene Guerilla (EPL) ist nahezu bedeutungslos geworden. In unregelmäßigen Abständen treffen sich die Gruppen, um ihre gegenseitigen Positionen darzulegen. Dies soll aber nicht darüber hinweg täuschen, dass noch heute Reisen und vor allem Arbeiten in einem Land wie Kolumbien durch derartige Zwischenfälle deutlich erschwert werden (DILGER 2000). Im Jahr 1999 sollen 3.000 Menschen von verschiedenen Guerillagruppen gekidnappt worden sein (RADEMACHER 2000, MARTÍNEZ 2001).

Nach den Jahren des Stillstands in der Lösung des innenpolitischen Konflikts unter dem Präsidenten Andrés Pastrana und dem Abbruch der Friedensgespräche zwischen Regierung und den FARC, scheint nach den Präsidentschaftswahlen des Jahres 2002 eine neue Ära in der Innenpolitik des Landes zu beginnen: Das Ziel der Präsidentschaft Alva-



ro Uribe's ist die Lösung des Konflikts mit allen Mitteln, so dass auch eine bewaffnete Auseinandersetzung in großem Stil zwischen staatlichem Heer und den verschiedenen Paramilitär- und Guerillagruppen nicht ausgeschlossen ist (EL TIEMPO 2002b). Die hochgelegenen Páramos in verschiedenen Landesteilen dienen den Guerillagruppen heute als Rückzugsgebiete. Eines dieser Gebiete ist der Süden des PNN Puracé aber auch der im Norden gelegene PNN del Huila und die Farallones de Cali. Neben der klassischen Konfrontation der Regierung mit den Guerilla- und Paramilitärgruppen gewannen am Ende der 1980er und zu Beginn der 1990er Jahre Blockaden und Überfälle durch organisierte Bandenkriminalität immer mehr an Bedeutung (MERTINS 2004). Vor allem die Pässe über die Zentralkordillere im Untersuchungsgebiet und dem Süden des PNN Puracé sind hervorzuheben, da sie die Hauptverkehrsachsen zwischen dem im Westen gelegenen Departamento del Cauca und dem im Magdalenaal befindlichen Departamento del Huila bilden (vgl. Abbildung 1.1).

#### 4.1.2 Landesnatur

Kolumbien gilt hinsichtlich der auf dem Staatsgebiet vorherrschenden Biodiversität aufgrund von Morphologie und Klima als eines der Länder mit der größten Artenvielfalt der Erde. Dies ist einerseits durch seine Lage in der Neotropis bedingt, zum anderen durch die Anden, welche das Land in Nord-Süd-Richtung durchziehen und die damit verbundene Höhenstufung, die die Biodiversität noch erheblich vergrößert. Weiterhin konnten nordhemisphärische Spezies über die mittelamerikanische Landbrücke auf den südamerikanischen Subkontinent einwandern und in Kolumbien heimisch werden. Genannt seien stellvertretend die Eichen (*Quercus spec.*). Kolumbien besitzt Studien zufolge 12% aller auf der Erde vorkommenden Spezies (IDEAM 2002).

Kolumbien wird in die fünf folgenden Ökoregionen gegliedert: *Amazonía*, *Orinoquía* im Osten, die *Llanura del Caribe* und *Llanura del Pacífico* entlang der West- und Ostküste und schließlich die das Land von Süd nach Nord durchziehende zentrale *Zona Andina* (vgl. Abbildung 4.1). Die höchsten Erhebungen in Kolumbien werden in der Sierra Nevada de Santa Marta mit 5.775 m.ü.d.M. erreicht. Sowohl in der Zentral-, als auch in der Ostkordillere werden Maxima von über 5.000 m.ü.d.M. überschritten. Der Gebirgszug der Anden weitet sich nördlich der Stadt Pasto in drei Gebirgszüge auf. Im „*Macizo Colombiano*“, in einem Teil dessen auch die Geländearbeiten der vorliegenden Dissertation

durchgeführt wurden, entspringen die größten Flüsse des Landes, die sternförmig in alle Himmelsrichtungen entwässern. Der Río Caquetá nach Südosten über den Amazonas in den Atlantischen Ozean, der Patía nach Südwesten in den Pazifik und schließlich die beiden großen Flusssysteme, die in nördliche Richtung dem Atlantik tributär sind. Östlich fließt zwischen Ost- und Zentralkordillere der Río Magdalena, der wiederum Vorfluter des Río Cauca ist, welcher zwischen Zentral- und Westkordillere nach Norden entwässert.

#### 4.1.2.1 Klima

Die Niederschlagsregime in Kolumbien variieren zwischen aridem Klima auf der Halbinsel Guajira im karibischen Nordosten des Landes und dem euhumiden *Chocó Colombiano* (*Llanura del Pacífico*), der Pazifikregion (vgl. Abbildung 4.1).

Grundsätzlich wird das Klima durch die Hadleyzelle und die Walker-Zirkulation bestimmt. In einer Zone relativen Tiefdrucks treffen in der Innertropischen Konvergenzzone (ITCZ) die aus dem subtropisch–randtropischen Hochdruckgürtel beiderseits des Äquators generierten Passate (Nordost- und Südost- Passat) aufeinander. Die mitgeführten Luftmassen werden in der ITCZ zum Aufsteigen gezwungen. Damit kommt es zur Kondensation der Feuchte der Luftmassen und somit zur für die Tropen charakteristischen Quellwolkenbildung. Ist das Kondensationsniveau überschritten, fallen starke Regenfälle und mit zum Teil heftigen Gewittern, die lokal sehr begrenzt sein können.

Der Prozess der konvergierenden Luftmassen ist quasi-stationär und verläuft im langjährigen Mittel breitenparallel in der Nähe des Äquators. Die Lage wird bestimmt vom Zenitalstand der Sonne und wandert im Verlauf eines Jahres. Nach WEISCHET (1996) liegt die Nordgrenze der ITCZ im Januar bei ca. 3°N und im Juli bei 8°N. Im Jahresverlauf verortet er sie bei 4°N. Das Departamento del Cauca liegt demnach ganzjährig im Einflussgebiet der ITCZ. Die Konsequenz daraus sind ganzjährig hohe Temperaturen und Niederschläge, wobei die Niederschläge in Form zweier ausgeprägter Regenzeiten fallen, die den Durchgang der ITCZ kennzeichnen. So kann, im Gegensatz zu den astronomischen Jahreszeiten in den Gemäßigten Breiten, in den Inneren Tropen von pluvialen Jahreszeiten gesprochen werden, wie dem *Invierno* (Winter) (April/Mai und Oktober/November) in der Regenzeit und dem *Verano* (Sommer) in der Trockenzeit, in dem die absinkenden Luftmassen der Passate auch in Kolumbien wirksam werden und für

Schönwetterperioden mit nur geringen Niederschlägen sorgen (Juni-August) (GARCÍA 1992 und 1998a).

Neben den bislang beschriebenen konvektiven treten reliefbedingt auch advektive Prozesse auf. Die vorherrschende Windrichtung innerhalb der ITCZ ist West. Mit der Wanderung der ITCZ im Jahresverlauf erfährt die Hauptwindrichtung Modifikationen hin zu NW-Winden (Januar) und SW-Winden (Juli). Die vom Pazifik wehenden Winde bringen sehr feuchte Luftmassen, die im Stau der Westkordillere zum Aufsteigen gezwungen werden.

Weiterhin steigt über dem Land die Reibung der Luftmassen über dem Boden stark an, woraus eine Abnahme der Windgeschwindigkeiten resultiert. Dadurch wird eine zusätzliche konvektive Komponente induziert, da sich die Luft schneller erwärmen kann und konvektiv umgelagert wird. Durch beide Effekte ist die Region im pazifikseitigen Fußbereich der Westkordillere eine der niederschlagsreichsten Regionen der Erde, es treten Jahresniederschläge von 7.500 mm auf, örtlich werden im Chocó bis zu 12.000 mm gemessen (WEISCHET 1969 und 1996, MONTEALEGRE 1986 und GARCÍA 1998b).

Im Tal des Río Cauca zwischen West- und Zentralkordillere ist die Konvektion niederschlagsbestimmend. Anders als in den Außertropen liegt die Stufe maximalen Niederschlags nicht in den Gipfelregionen, sondern vielmehr in Höhenlagen zwischen 1.000 und 1.500 m.ü.d.M. (Konvektionstyp der vertikalen Niederschlagsverteilung). Die oberen Höhen der tropischen Hochgebirge sind damit relativ niederschlagsarme Gebiete, während deren Vorländer hohe Niederschlagssummen empfangen. Der Grund ist in einer Verbindung aus konvektiven Niederschlägen und des exponentiell abnehmenden Wasserdampfgehalts in der Luft aufgrund der vertikalen Temperaturabnahme zu sehen (WEISCHET 1969). Danach ist die Effektivität der in größeren Höhen stattfindenden adiabatischen Prozesse geringer, da schon eine absolut geringere Wasserfracht der Luft zur Kondensation führt (WEISCHET 1996).

Nach WEISCHET nimmt der Wasserdampfgehalt der Luft somit bei Verdoppelung der Höhe über dem Meer um die Hälfte ab (WEISCHET 1969) (vgl. Abbildung 4.2).

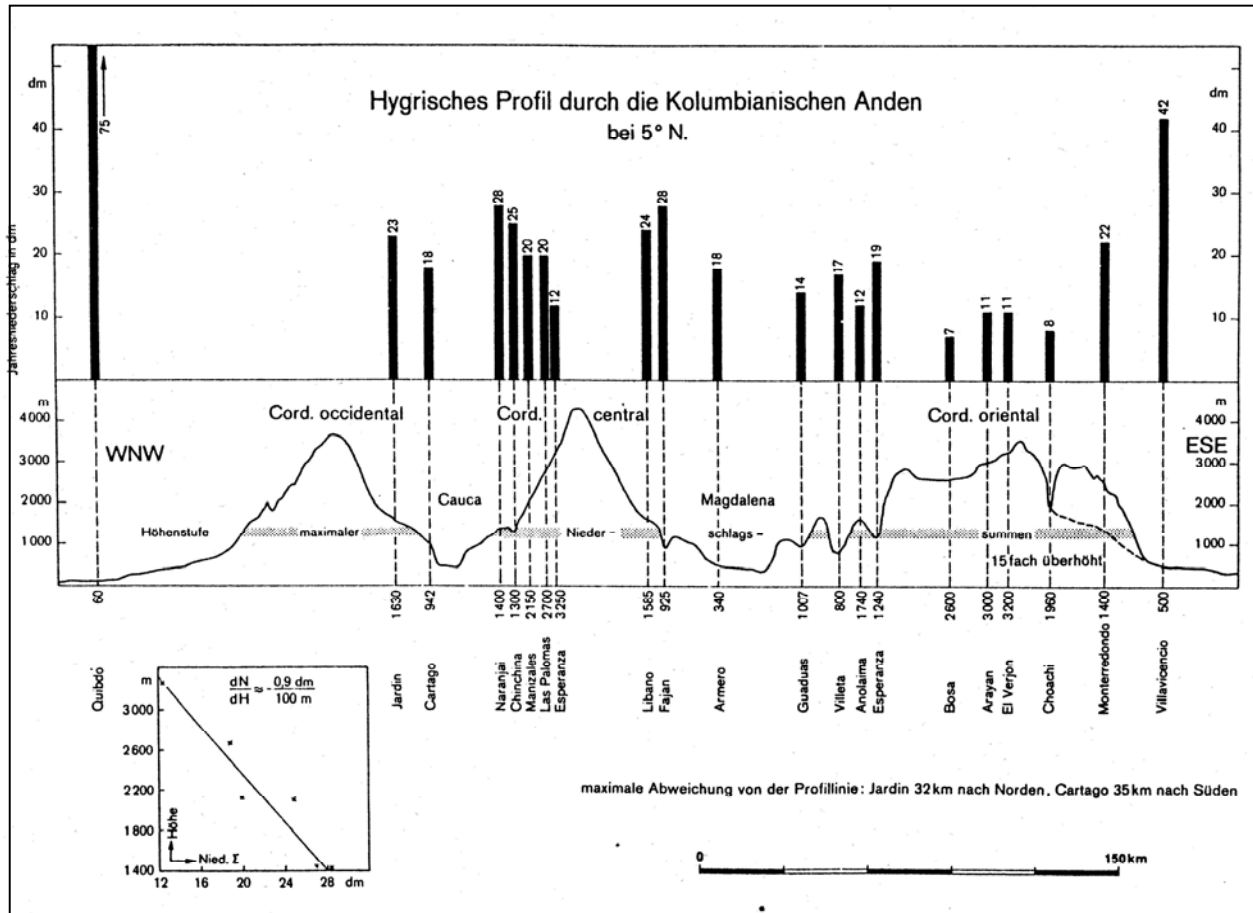


Abbildung 4.2: Die Höhenabhängigkeit der mittleren Jahresniederschläge im Querprofil der kolumbianischen Anden bei ca. 5° N.

In dieser Breitenlage sind die Täler der Ríos Magdalena und Cauca bereits sehr tief eingeschnitten, wodurch sich die Stufe maximaler Niederschläge sehr akzentuiert herausbildet. Die hier wiedergegebenen Daten lassen sich allerdings auch auf das bei ca. 2° 20' N gelegene Untersuchungsgebiet übertragen, allerdings ist die relative Trockenheit im oberen Cauca noch nicht so deutlich ausgeprägt.

Quelle: WEISCHET 1996.

Modifiziert wird das Klima von den drei Andenketten (Cordillera Occidental, Cordillera Central und Cordillera Oriental), da sie im rechten Winkel zur Hauptwindrichtung stehen: Im Luv der Ketten kommt es zu deutlich höheren Niederschlägen als im Lee.

Durch die vorgelagerte Westkordillere empfängt das Tal des Río Cauca deutlich geringere Niederschläge, es ist ein innerandines Trockental. Die von Westen eindringenden Luftmassen verlieren beim Ansteigen die mitgeführte Feuchte, da sie an der Luvseite durch Advektionsregen ausfallen. Die im Lee absinkenden Luftmassen erwärmen sich hingegen zunächst trockenadiabatisch. Dies entspricht dem Föhn der Alpen. Da inner-tropische Westwinde nicht besonders stark sind, werden sie von einem lokalen Windsystem in den beiden großen Längstätern der kolumbianischen Anden überlagert. Den

gleichen Effekt haben Ost- und Zentralkordillere in den Monaten, in welchen die Passate bis in die Inneren Tropen hinein wetterwirksam werden: Die von der ohnehin die größten Höhen erreichenden Zentralkordillere absteigenden Luftmassen sind trocken und führen so zu höherem Strahlungsgenuss und relativer Trockenheit in den Sommermonaten (GARCÍA 1998a, BARONA und GNECCO 2001a). Damit ist die Stadt Popayán im Vergleich zum Norden des PNN Puracé trockener. Zudem ist der *Verano* stärker ausgeprägt und zeitlich verschoben (vgl. Kapitel 4.3.3).

#### **4.1.2.2 Geologie und Morphologie im südlichen Kolumbien**

Die im Land vorherrschenden klimatischen Bedingungen führen ebenso wie geologische Prozesse und der bis in heutige Zeit andauernde Vulkanismus zur Entwicklung unterschiedlicher Bodentypen. Grundsätzlich können drei Gruppen unterschieden werden. In den Flussniederungen und Tiefländern treten alluviale Böden auf, in den Kordillerenketten Böden auf vulkanischen Aschen und Gesteinen, sowie in der Orinoquía und Amazonía zumeist Böden auf älteren Substraten. Letztere haben zum Teil eine mehr als 10.000-jährige Bodenentwicklung erfahren und sind dementsprechend nährstoffarm. Aufgrund der unterschiedlichen Genese und des abweichenden Alters ergibt sich eine große Varietät der physikalischen und chemischen Eigenschaften. Eine geologisch-morphologische Beschreibung des gesamten kolumbianischen Raumes zu geben, würde den hier gegebenen Rahmen sprengen, daher seien hier lediglich die für die Untersuchung relevanten Verhältnisse im Süden Kolumbiens dargestellt.

Das Departamento del Cauca ist insbesondere durch die Zona Andina geprägt, wenngleich es auch Anteil an den Landschaftsräumen *Llanura del Pacífico* und der *Amazonía (Bota Caucana)* besitzt.

Die *Llanura del Pacífico* ist der jüngste Raum des Departamentos, der vornehmlich durch die im Osten liegende Westkordillere und die abgelagerten fluviatilen Sedimente aus jüngerer geologischer Zeit aufgebaut ist. Zudem gibt es auch vulkanische und magmatische Gesteine aus dem Tertiär, wie die Isla Gorgona (BARONA und GNECCO 2001).

Die eigentliche Andenhebung begann in der Mitte des Tertiärs, dem Pliozän und dauert bis heute an. Die Westkordillere ist Teil der marinen Kruste, sie besteht aus Plutoniten, Mafiten und basischen Sedimentgesteinen, die Entstehung datiert man auf die Obere

Kreide. Sie wird wie alle Landschaftszonen Kolumbiens von mächtigen Störungs- und Faltsystemen durchzogen, die ein Anzeiger für die bis heute andauernden tektonischen Prozesse sind (IGAC 1995). Im Osten der Kordillere treten basische Vulkanite auf, die sich durch Serpentinausscheidungen wie auch Gabbro und Pyroxen klassifizieren lassen. In diese sind im Paläogen und Neogen Diorite und Tonalite aufgestiegen, die heute noch in Form der höchsten Gipfel der Kordillere landschaftsprägend sind.

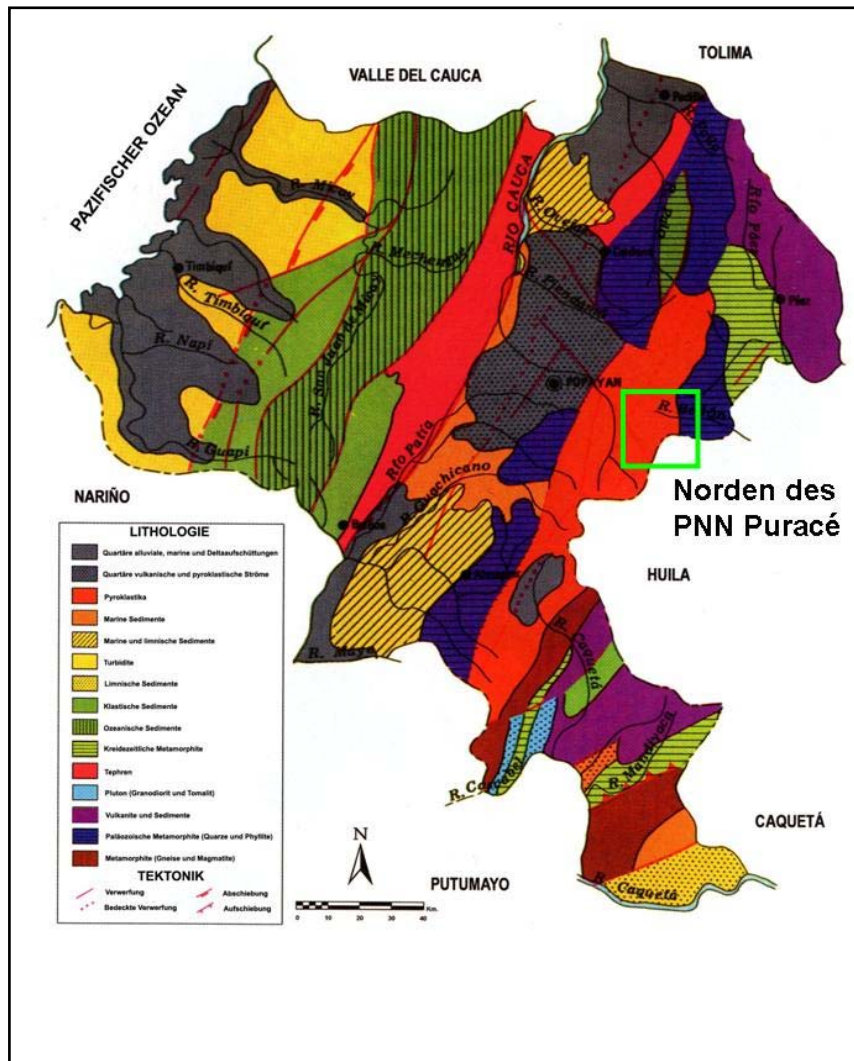


Abbildung 4.3: Geologische Karte des Departamento del Cauca. Das grüne Rechteck im östlich der Stadt Popayán zeigt den Norden des PNN Puracé und damit das Arbeitsgebiet.

Quelle: BARONA und GNECCO 2001, verändert und ergänzt.

Im Osten schließt sich das westliche Andenlängstal an, das von den Flüssen Patía und Cauca gebildet wird. Die Wasserscheide zwischen dem nach Süden in den Pazifik entwässernden Patía und den nach Norden über den Vorfluter Río Magdalena in die Karibik mündenden Río Cauca bildet der *Altiplano de Popayán (Meseta de Popayán)*. Die anstehenden Gesteine, vornehmlich basische Vulkanite und Tuffe, sowie zum Teil ozeanische Sedimente sind mesozoischen Ursprungs. Sie weisen ihrerseits Intrusionen und Pyroklastika aus dem Quartär (Paläogen und Neogen) auf. Darüber befinden sich alluviale Ablagerungen aus dem Holozän. Das gesamte Schichtpaket ist in Synklinalen und Geantiklinalen gegliedert, welche die Grundlage für die undulierte Landschaft bilden. Schließlich zeichnen die großen Faltensysteme die eigentliche Subduktionszone nach. Die nord-süd-verlaufende *Cauca-Romeral-Verwerfung* ist die bedeutendste im Cauca/Patía-Tal-System.

Von den drei Kordillerenästen ist die Zentralkordillere die älteste und zugleich die am stärksten herausgehobene. Es handelt sich bereits um einen Teil des südamerikanischen Subkontinents. Von der Obertrias bis zur Kreide stellte sich die Zentralkordillere als ein Hochgebiet dar, das sich im Norden bis zur Sierra Nevada de Santa Marta erstreckte. Den Unterbau der Kordillere bilden im Präkambrium angelegte altpaläozoische Phyllite, Quarze und Konglomerate. Sie zeigen eine niedrig-gradige Metamorphose und eine ausgeprägte Schieferung mit mesozoischen Batholithintrusionen. In diskordanter Schichtung liegen darüber marine und kontinentale Gesteine des Devon und Karbon (ZEIL 1986).

Im Miozän kam es zu verstärkter vulkanischer Aktivität innerhalb der Zentralkordillere mit Heraushebung der Stratovulkane (ZEIL 1979).

Die metamorphen Gesteine bilden die Komplexe *Arquíá*, *Quebradagrande* und *Cajamarca*. Der *Arquíá*-Komplex, bestehend aus Amphiboliten, Metadioriten und Serpentiniten wird von einigen Autoren ins Paläozoikum (McCOURT 1984), in neueren Studien hingegen in die Kreide gestellt (RUIZ 1998). Bei *Quebradagrande* handelt es sich ebenfalls um kretazischen basischen Vulkanismus und Sedimente und Metamorphite. Die Gipfelbereiche der Kordillere bildet der *Cajamarca*-Komplex aus metamorphen Gesteinen des Paläozoikums. Die höchsten Berge sind ausnahmslos zum Teil bis zum heutigen Tag aktive Vulkane, wie der Puracé, sowie die Nevados del Huila, Pan de Azúcar, die Coco-

nucos und der Sotar. Einige im Tertiär angelegte Krater bestehen vornehmlich aus Pyroklastika.

Durch den rezenten und subrezentem Vulkanismus und die Subduktion der pazifischen unter die kontinentale südamerikanische Platte sind eine Vielzahl von Metamorphiten in der Zentralkordillere vorhanden. So befinden sich hier Marmorlagersttten und auch sonstige kalkhaltige Gesteine, die vor allem für die Produktion von Kalk für die Landwirtschaft abgebaut werden. Einhergehend mit dem Vulkanismus sind die Thermalquellen an den Vulkanen Nevado del Huila, Puracé und Sotar zu nennen. In der Region Cococuco befinden sich zudem Schwefellagersttten, die bis 2001 im Municipio Puracé an der Grenze zum Nationalpark abgebaut wurden (TORRES 2001).

Die Zentralkordillere bildet den Ausgangspunkt für die Ostkordillere Kolumbiens. Sie wächst in Form eines nach Nordosten streichenden Astes vom *Nudo Colombiano* aus der Zentralkordillere heraus. Es ist von präkambrischen Metamorphiten und Sedimenten aufgebaut, die im Jura und in der Trias vulkanisch geprägt und auch intrudiert wurden. Die Ostkordillere ist die jüngste der drei kolumbianischen Andenketten, ihre Entstehung wird in das beginnende Miozän datiert (IGAC 1995). Wie in den beiden anderen Kordilleren ist auch hier die Gebirgsbildung von vulkanischen Prozessen begleitet, die zum Teil bis heute andauern und Grundlage für die Bodenentwicklung in der Andenregion sind.

Die im Osten anschließende *Amazona* besteht ihrerseits aus Sedimenten und alluvialen Ebenen und bildet so die östliche Parallele zu den *Llanuras del Pacifico* im Westen der Anden (ZEIL 1986).

## 4.2 Das Schutzgebietssystem in Kolumbien

Die Landesnatur und die daraus resultierende hohe Diversität fordern geradezu die Ausweisung von Schutzgebieten. Kolumbien weist heute ungefähr 400 unterschiedliche Reservate auf, von denen die U.A.E.S.P.N.N. 46 betreut. Davon sind 34 Nationalparks nach den internationalen Kriterien, neun Schutzgebiete (Santuarios) von Flora und Fauna und zwei Naturschutzgebiete. Die Gesamtfläche der Parks beläuft sich auf 9.000.000 ha (1999), dies entspricht ungefähr einem Zehntel der Landesfläche. Neben den staatlichen Schutzgebieten existieren regionale Reservate, die unter Aufsicht von Departamentos und Gemeinden stehen (U.A.E.S.P.N.N. 2003).



Die kolumbianischen Schutzgebiete verstehen sich nicht nur als klassische Naturschutzgebiete, sondern sollen neben der Biodiversität auch die kulturellen Besonderheiten des Staates schützen.

Der landschaftlichen Vielfalt trägt Kolumbien mit der Ausweisung und Implementierung von Schutzgebieten in den unterschiedlichen Landschaftseinheiten Rechnung: So im Tropischen Tieflandsregenwald, den Trockenwäldern, weiteren Waldgesellschaften in den verschiedenen Höhenstufen, Wüsten, Mangroven, Bergwäldern, Nebelwäldern und nicht zuletzt in den Páramos. Im PNN Puracé wurde ein ebensolches hochandines Ökosystem der Zentralkordillere, das von aktiven Vulkanen geprägt ist, im Jahr 1959 unter Schutz gestellt (vgl. Abbildung 4.4 und 4.5).



Abbildung 4.4: Die Verteilung der kolumbianischen Großschutzgebiete.

Gut erkennbar ist die flächenmäßige Häufung dieser Parks in der dünn besiedelten Amazonía, aber auch verteilt über die drei Kordillerenäste der Anden. Der PNN Puracé in der südlichen Sierra ist durch den Kasten kenntlich gemacht.

Quelle: U.A.E.S.P.N.N. (2002c), verändert und ergänzt.

Bis heute sind allerdings die Anteile der geschützten Gebiete innerhalb der verschiedenen Ökosysteme gering und auch sehr dispers verteilt. Andererseits ist aber der prozentuale Anteil an der Gesamtfläche im Vergleich zu Deutschland, wo nur 2% in Form von Nationalparks unter Schutz stehen (LÖSCH und FREY 1999), durchaus bemerkenswert.

Zukünftig sollen benachbarte Schutzgebiete durch Korridore miteinander verbunden werden, so beispielsweise die unmittelbar an die Projektregion anschließende Zone zwischen den PNNs Puracé und Huila. Der soziokulturelle Aspekt wird zudem stärker betont werden: Es ist geplant, die weitestgehend artisanal lebenden und wirtschaftenden indigenen Völker Amazoniens und die afrokolumbianischen Gemeinschaften stärker in das Schutzsystem einzubeziehen (U.A.E.S.P.N.N. 1999b).

Der PNN Puracé wurde im Jahre 1959 mit einer Größe von zunächst 656 km<sup>2</sup> gegründet, eine genaue Gebietsfestlegung findet mit dem *Acuerdo 0033* vom 16.09.1975 statt (IDEAM 2003a). Zwei Jahre später wurde mit der *Resolución 159/1977* die Erweiterung des Nationalparks auf die heutige Größe von 830 km<sup>2</sup> festgeschrieben (IDEAM 2003a), in dessen Norden das Untersuchungsgebiet liegt.

### **4.3 Das Arbeitsgebiet im Norden des Volcán Puracé**

#### **4.3.1 Siedlungsgeschichte in der Zentralkordillere und in Popayán**

Vor der geoökologischen Betrachtung des Untersuchungsraumes muss die Siedlungsgeschichte innerhalb dieses Gebietes und des vorgelagerten Tieflands betrachtet werden, um die entstandenen Strukturen beleuchten zu können.

Das eigentliche Untersuchungsgebiet blieb lange von der Siedlungstätigkeit des Menschen verschont. In der Mitte des letzten Jahrtausends lebten in der Region lediglich einige Indígena-Stämme der *Paez* im Norden und im nordöstlichen Magdalenatal sowie *Coconucos* in den zentralen Bereichen des heutigen PNN Puracé. Die *Paez* sind schon früh Träger einer beachtlichen Kultur (*Tierradentro*), wie auch die im Süden des Parks erblühende Kultur von *San Agustín*. Alle Gruppen besiedeln aber nicht die Páramostufe, sondern dringen allenfalls bis in die obere Tierra templada vor, nutzen allerdings schon medizinale Pflanzen aus dem Páramo (BEDENO 2004).

Die ab 1536 in die *Meseta de Popayán* und das obere Cauccatal vordringenden Spanier beschränken ihren Siedlungs- und Wirtschaftsraum auf die Tal-Lagen. Sie erobern mit militärischen Mitteln die hier lebenden Indígena-Stämme, die bis dato vornehmlich Maisanbau betrieben. Mit den Kolonisten kommen die altweltlichen Getreidesorten, u.a. Weizen, und die Viehhaltung auf die Haciendas des Valle de Pubenza (BARONA und GNECCO 2001b).

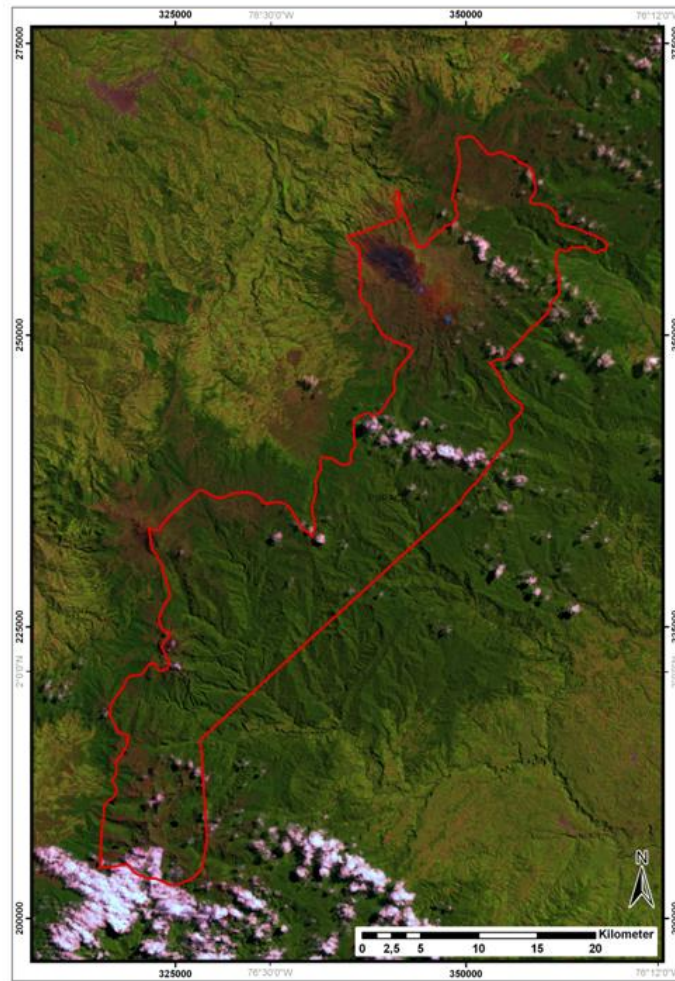


Abbildung 4.5: Die Lage des PNN Puracé in der Zentralkordillere. Im Nordwesten des Kartenausschnittes ist die Stadt Popayán mit dem Río Cauca zu erkennen. Im Osten das Magdalena. Das rote Polygon repräsentiert den 830 km<sup>2</sup> großen Nationalpark. Deutlich erkennbar ist die nordwest-südost verlaufende Cadena Volcánica de los Coconucos im Norden und die im äußersten Norden gelegene Hochebene mit der Laguna San Rafael. Zum Vergleich auch Abbildung 1.1 und Abbildung 4.6.

Datengrundlage: Landsat-Szene 9-58 und 9-59, eigene Darstellung.

Nach der Unabhängigkeit Kolumbiens von Spanien (1810) ergeben sich in der Besitzstruktur keine signifikanten Veränderungen. Es manifestieren sich vielmehr die noch heute in der Stadt Popayán erkennbaren Herrschaftsverhältnisse um die drei bedeutendsten Familien Arboleda, Mosquera und Valencia aus, die mit ihren Haciendas weite Teile des Cauca und der Zentralkordillere besitzen. Die Cadena Volcánica de los Coconucos ist allerdings noch nicht besiedelt. Bis auf wenige Andinisten und die Indígena betritt auch weiterhin niemand die Páramos, sehr wohl entstehen aber Reservate.

Mit dem Beginn des letzten Jh. werden die höher gelegenen Gebiete der Zentralkordillere allerdings aus wirtschaftlicher Hinsicht interessant, da die Viehhaltung in großem Stil im Tal des Cauca nicht mehr möglich ist. Weite Teile der in die Kordilleren hinaufreichenden Täler werden gerodet. Letztlich ausschlaggebend für die Verlagerung der Viehhaltung in weiter oben gelegene Höhenstufen über 2.000 m.ü.d.M. ist der Befall des Viehs mit Dasselfliegen, die in größeren Höhen nicht mehr auftreten. Es werden die Gebiete bis hinauf nach Puracé und Paletará gerodet und nachfolgend weidewirtschaftlich genutzt. Damit geht die Vertreibung der indigenen Kommunitäten einher, die sich mehr und mehr in die Tierra fría, und damit in das Gebiet des heutigen PNN Puracé zurückziehen müssen.

In den 1970er Jahren dringen die Indígena in die Haciendas der Payaneses ein. Dies ist der Beginn der Landreform, in deren Zuge auch die Verwaltung und das Mitbestimmungsrecht der indigenen Gruppen im Cauca und Kolumbien geändert werden. Die Haciendas werden zum einen Teil an die Indígena zurückgegeben, zum anderen Teil legalisiert. Zuletzt entstehen die *Resguardos Indígenas*, u.a. die Reservate in Puracé, Coconuco, Paletará, Quintana, Totoró und Poblazón, in deren Territorien sich auch der PNN Puracé befindet.

### **4.3.2 Morphologie und Geologie**

Das Arbeitsgebiet wird vom nördlichsten Gipfel der Cadena Volcánica, dem tätigen Vulkan Puracé (4.650 m.ü.d.M.) geprägt, dessen Gipfel die Koordinaten 2°19'01'' nördlicher Breite und 76° 23'53'' westliche Länge aufweist (vgl. Abbildung 4.5 und 4.6; in Abbildung 4.7 sind die Photostandorte der Arbeit wiedergegeben). Vor der Beschreibung des Arbeitsgebietes ist es angezeigt, die unterschiedlichen bis heute gebräuchlichen Benennungen der Gipfel innerhalb der Cadena Volcánica in Form der folgenden Tabelle 4.1 wiederzugeben (vgl. Tabelle 4.1):

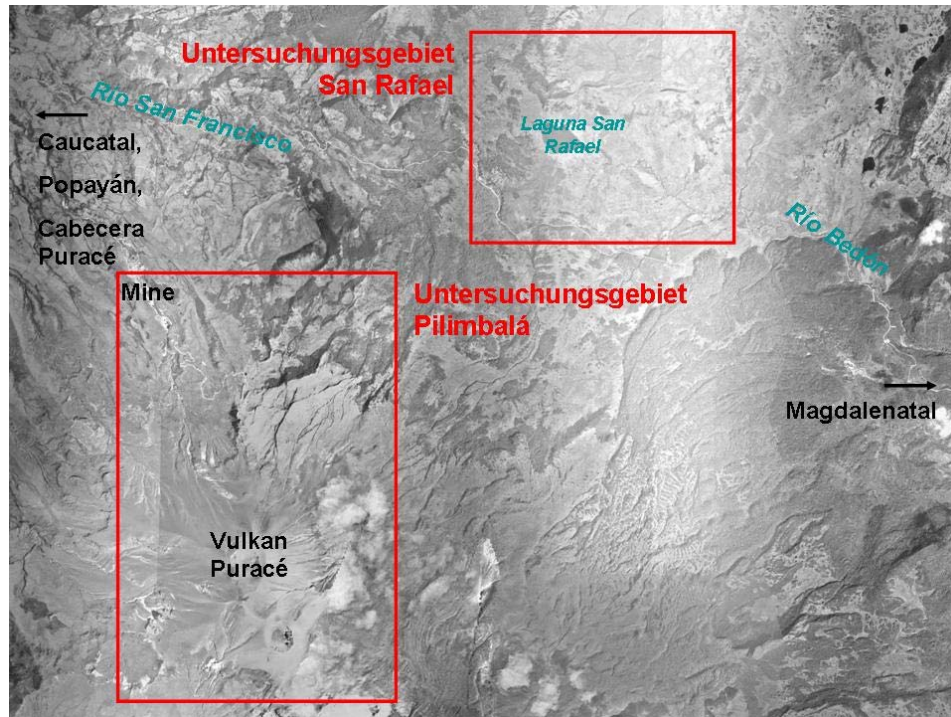


Abbildung 4.6: Der Norden des PNN Puracé mit den beiden Untersuchungsgebieten San Rafael und Pilimbalá.

Zudem enthält die Darstellung den Hinweis auf die sich im Osten und Westen anschließenden Talsysteme des Río Magdalena und des Río Cauca.

Datengrundlage: Orthophotomosaik des nördlichen PNN Puracé, eigene Darstellung.

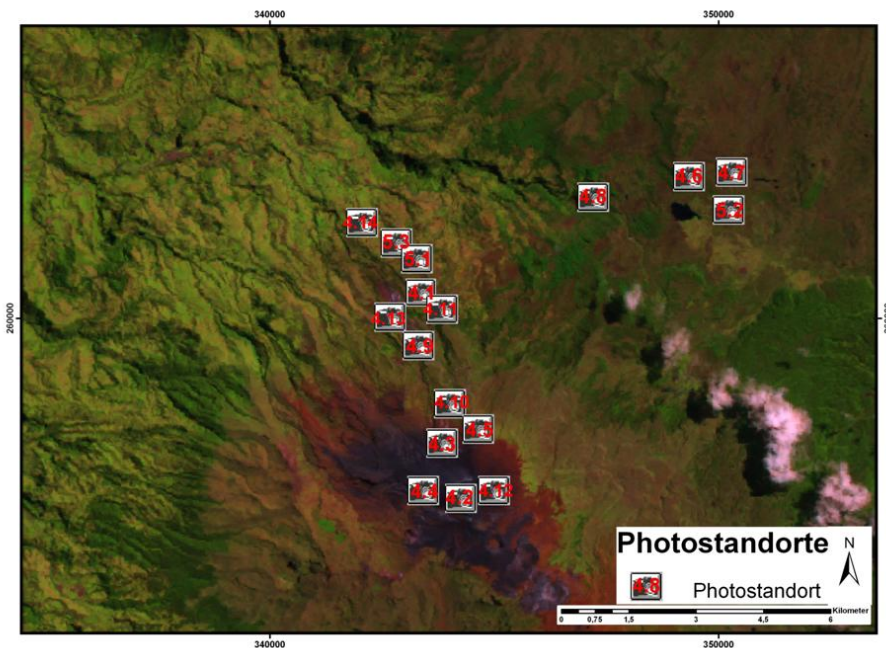


Abbildung 4.7: Photostandorte innerhalb des Untersuchungsgebietes im Norden des PNN Puracé. Datengrundlage: Landsat-Szenen 9-58 und 9-59, eigene Darstellung.

Die Bedeutung dieser Tabelle erwächst vor dem Hintergrund, dass auf staatlichen, wie kommerziellen Internetseiten über den PNN Puracé, bis heute völlig überholte Benennungen der Berge der Cadena Volcánica verwendet werden, so zum Beispiel bei [www.colombia.com](http://www.colombia.com) von Interlatin Corp. (seit 1999) (vgl. obenstehende Tabelle 4.1). Es können hier somit erstmals die bei verschiedenen Autoren gebräuchlichen Benennungen gegenübergestellt und vereinheitlicht werden.

Tabelle 4.1: Bezeichnungen der Vulkane und Krater der Coconucos von Nordwesten nach Südosten

ACOSTA 1980	FLÓREZ 1983	<a href="http://www.colombia.com">www.colombia.com</a>	Heute
Nr. 7 (Puracé)	P (Puracé)	Cerro Puracé	Puracé (heutige Gestalt)
-	-		Picollo
Nr. 6	H	Cerro al borde del cráter	Curiquina
Nr. 5 b	E	Cerro con dos cráteres (B)	Paletará
Nr. 5 a	E	Cerro con dos cráteres (A)	Calambás
Nr. 4	B	Cerro Coconuco	Quintín
Nr. 3 b	R	Cerros con dos picos (B)	Shaka superior (Oberer Shaka)
Nr. 3 a	R	Cerros con dos picos (A)	Shaka medio (Mittlerer Shaka)
-	-		Shaka inferior (Unterer Shaka)
-	-		Killa
Nr. 2	M	Cerro sin nombre conocido	Machángara
Nr. 1 C (Nevado Pan de Azúcar)	A	Cerro Pan de Azúcar	Pan de Azúcar
-	F		Pukará
-	T		Amancay
-	-		Piki

Quellen: ACOSTA (1980), FLÓREZ (1983), MONSALVE und PULGARÍN (1999), [www.colombia.com/colombiainfo/parques/parques/purace.asp](http://www.colombia.com/colombiainfo/parques/parques/purace.asp) (06.02.2004).  
Eigene Zusammenstellung.

Die in der aktuellen Kennzeichnung der höchsten Punkte der Cadena Volcánica de los Coconucos verwendeten Begriffe entstammen zumeist der Quechua-Sprache oder gehen auf lokale historische Personen und Orte zurück. Hiermit wird auch den in der Region ansässigen Indígena Rechnung getragen, die nach der kolumbianischen Verfassung ein Selbstverwaltungsrecht besitzen und deren Raumannspruch in der Zentralkordillere,

wie auch deren Traditionen und Geschichte, durch die Umbenennung der Gipfel verbrieft wird (vgl. Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Namen und Bedeutungen der Vulkane und Krater der Coconucos

Puracé	Feuerberg
Piccollo	Nach einem Führer der <i>Paez</i> am Beginn des 19. Jh.
Curiqinga	Raubvogel
Calambás	Alter Indioführer (Kazike) im Tal des Río Pubén
Paletará	Ausdruck für Páramo im Oberlauf des Río Cauca
Quintín	Benannt zu Ehren des <i>Paez</i> -Führers Quintín Lame
Machángara	Nach der Tochter des Kaziken Pubenza, Ortsbezeichnung für den Flughafen der Stadt Popayán
Killa	Mond / Mondgöttin der Quechua
Pukará	Kraft, Stärke ; Scheitelpunkt
Pan de Azúcar	Kein Quechua-Name, vielmehr spanische Bezeichnung für aus resistenten Gesteinen bestehende, mehr oder weniger runde Vollformen und Berge
Amancay	Blütenpflanze aus der Atacama-Wüste
Piki	Floh, Sandfloh
Coconucos	Berge der Dämonen, Teufelsberge

Quelle: MONSALVE und PULGARÍN (1999).

Der für den PNN Puracé namensgebende Berg liegt ungefähr 30 km südöstlich der Stadt Popayán (PULGARÍN et al. 1996) und bildet den nördlichen Kegel der Cadena Volcánica de los Coconucos, einer ca. 6,5 km langen Kette von 15, zum Teil bis in das Postglazial hinein aktiven Vulkanen, die 321° streichend einen Teil des *Macizo Colombiano* bilden, wohingegen die Streichrichtung der Zentralkordillere 25° beträgt. Der im äußersten Südosten gelegene Pan de Azúcar (2°16'24'' N und 76°21'49'' S) schließt die Cadena Volcánica ab (vgl. Abbildung 4.5, 4.6 und 4.8). Bis heute ist der Grund der Abweichung des Streichens der Coconucos zur Zentralkordillere nicht zweifelsfrei geklärt. Verschiedene Autoren gehen davon aus, dass es sich um einen Teil einer ca. 35 km großen Caldera handelt. Das von ACOSTA (1980) zur Diskussion gestellte Theorem, es handele sich um einen Hot-Spot über dem sich die Vulkane der Cadena gebildet haben, lässt sich durch deren Aktivität im Postglazial widerlegen (MONSALVE und PULGARÍN 1999). Auch liegen nicht alle Krater auf der von Pan de Azúcar und Puracé vorgegebenen Achse, sondern weichen um bis zu 90° und ca. 2.700 m in westlich Richtung bei einer Gesamtlänge der Vulkankette von 6.500 m von dieser ab (vgl. Abbildung 4.6 und 4.8).

Der einzige bis heute aktive Vulkan der Kette ist der Puracé, dessen Ausbrüche seit fast 200 Jahren gut dokumentiert sind. Der erste beschriebene Ausbruch ereignete sich im Jahr 1827, letztmalig brach der Vulkan im Jahre 1977 aus (vgl. Tabelle 4.3) (MONSALVE und PULGARÍN 1993). Aus den gesicherten Daten seit 1800 ergibt sich ein relativ kurzer Eruptionszyklus von 10 bis 25 Jahren. Trotz der recht langen Ruhephase gilt der Puracé als der zweitaktivste Vulkan Kolumbiens nach dem Galeras nahe Pasto.

Tabelle 4.3: Bekannte historische Eruptionen und Erdbeben des Vulkans Puracé

1559/1560 – 1583	Berichte über hohe Aktivität des Vulkans mit verschiedenen Eruptionen
1789	Aschenauswurf, Fumarolen, ggf. auch Eruption
1801	Fumarolen
1816	Explosionen und Erdbeben
1827	Lahare, evtl. auch Pyroklastika, erste gut dokumentierte Eruption
1835	Explosion
1849 – 1852	Explosion des Doms, stärkste Eruption im Jahr 1849
Okt. 1869 – 1870	Explosionen und Lahare, Pyroklastika, Aschenauswurf; Erdbeben
1871	Erdbeben (unsicher)
Sept. 1878	Aschenauswurf
1885	Explosionen; Erdbeben
Nov. 1899	Eruption mit Lavaausfluss nach Westen
1902 – 1907	Explosionen, Aschenauswurf; 1907: Erdbeben
05. Aug. 1914	Eruption
1919/1920	Aschenauswurf, Ascheregen in Popayán; atmosphärische Schockwellen in Popayán feststellbar
09. Jul.; 12. Okt.; 05. Nov. 1925 – Sept. 1926	Explosionen, Aschenauswurf, vulkanische Bomben
1932	Explosionen, Ascheregen in Popayán, Fumarolen
09. Jul. 1933	Explosionen und Aschenauswurf
02. Aug. 1936	Explosionen
19. Sept. 1939	Explosionen und Ascheregen in Popayán
12. Aug. 1941	Explosionen und Ascheregen in Popayán
29. Mrz. – 02. Apr. 1946	Explosionen und Ascheregen in Popayán
27. Apr. 1947	Explosionen und Asche- sowie Lapilliregen im Umkreis von 16 Kilometern
26. Mai 1949	Explosion und Förderung vulkanischer Bomben, Tod von 16 Studenten im Krater
10. Jan; 26. Jul. 1950	Explosionen
Mai 1955	Explosionen
20. Jun. 1956	Explosionen und Ascheregen
01. Feb. 1958	Eruption
19. Mrz. 1977	Explosion und kleinerer Aschenauswurf
1983	Erdbeben
11. Aug. 1990	kleine Explosion
Nov. 2002 – Feb. 2003	verstärkte Fumarolentätigkeit


Quellen: PULGARÍN et al. 1994; ARCILA 1996; ESPINOSA B. 1989 und 2001.  
Eigene Zusammenstellung.

Die Entstehung der Vulkane, vornehmlich in der Zentralkordillere Kolumbiens, ist bedingt durch die Subduktion der Nazca-Platte unter den südamerikanischen Subkonti-



nent. Die Vulkane der Coconucos befinden sich am Ostrand der im Tertiär angelegten *Caldera Chagartón* mit einem Durchmesser von ungefähr vier Kilometer, die aus Vulkaniten des Oberen Tertiär und Quartär, zum Teil auch basischen kretazischen vulkanischen Gesteinen, aufgebaut ist. Der Ostrand der Caldera ist somit das Grundgerüst des Pre-Puracé dem der heutige Vulkan mit seinem 500–900 m breiten Krater und einer Tiefe von 100 m aufsitzt. Der Puracé fördert in jüngerer Zeit vornehmlich Pyroklastika und andesitische Laven, aus denen er auch aufgebaut ist. Es handelt sich damit um einen Stratovulkan. Innerhalb der Cadena Volcánica weisen die im Süden gelegenen Vulkane einen effusiven Vulkanismus auf, während die nördlichen einen explosiven Charakter haben. Als einzigem der Vulkane sind am Puracé Pyroklastika nachgewiesen (vgl. Tabelle 4.4) (MONSALVE und PULGARÍN 1999).

Tabelle 4.4: Dominanz-Typen des Vulkanismus in der Cadena Volcánica de los Coconucos von Südosten nach Nordwesten

Lage in Cadena Volcánica	Name (heute)	Charakter
Südosten  Nordwesten	Pan de Azúcar	Effusiv
	Amancay	Effusiv
	Piki	Effusiv
	Machángara	Effusiv
	Killa	Effusiv
	Shaka	Effusiv
	Quintín	explosiv
	Calambas-Paletara	explosiv
	Curiquinga	explosiv
	Picollo	explosiv
	Puracé	explosiv mit Pyroklastika

Quellen: MONSALVE und PULGARÍN (1993; 1999). Zu den Bezeichnungen der einzelnen Vulkankegel (vgl. auch Tabelle 4.1 und 4.2.).

Die vom Puracé geförderten Laven wurden in nördlichen Richtungen ausgeworfen, häufig nach Nordosten oder Nord-Nordwesten. Die Lavaflüsse erreichen im Norden nur geringe Entfernungen von bis zu sieben km vom Krater und Mächtigkeiten bis zu 20 m und im Süden Längen bis zu zehn km mit Mächtigkeiten von 50 m (FLÓREZ 1983; MONSALVE und PULGARÍN 1999).

Anders verhält es sich mit den geförderten Pyroklastika, die Mächtigkeiten von über 80 m erreichen. Vier dieser gewaltigen pyroklastischen Flüsse sind sicher dokumentiert, sie dringen in größere Entfernungen vom Vulkankegel vor. Einer der Flüsse füllt das halbe

Tal des Río San Francisco auf und bildet das Fundament der Cabecera Puracé. Pyroklastische Flüsse von mehr als 20 m Mächtigkeit bilden allerdings die Ausnahme im Norden der Cadena Volcánica, meist werden allenfalls zwölf Meter erreicht (MONSALVE und PULGARÍN 1993).

Hinzu kommen in größerer Nähe des Kraters Schuttlawinen und vulkanische Bomben, die durch Explosionen ausgelöst oder durch Kollabieren des Doms freigesetzt wurden. Die vulkanischen Bomben stammen von länger zurückliegenden Eruptionen und erreichen Größen von einigen Dezimetern bis zu über fünf Meter Durchmesser (MONSALVE und PULGARÍN 1993).

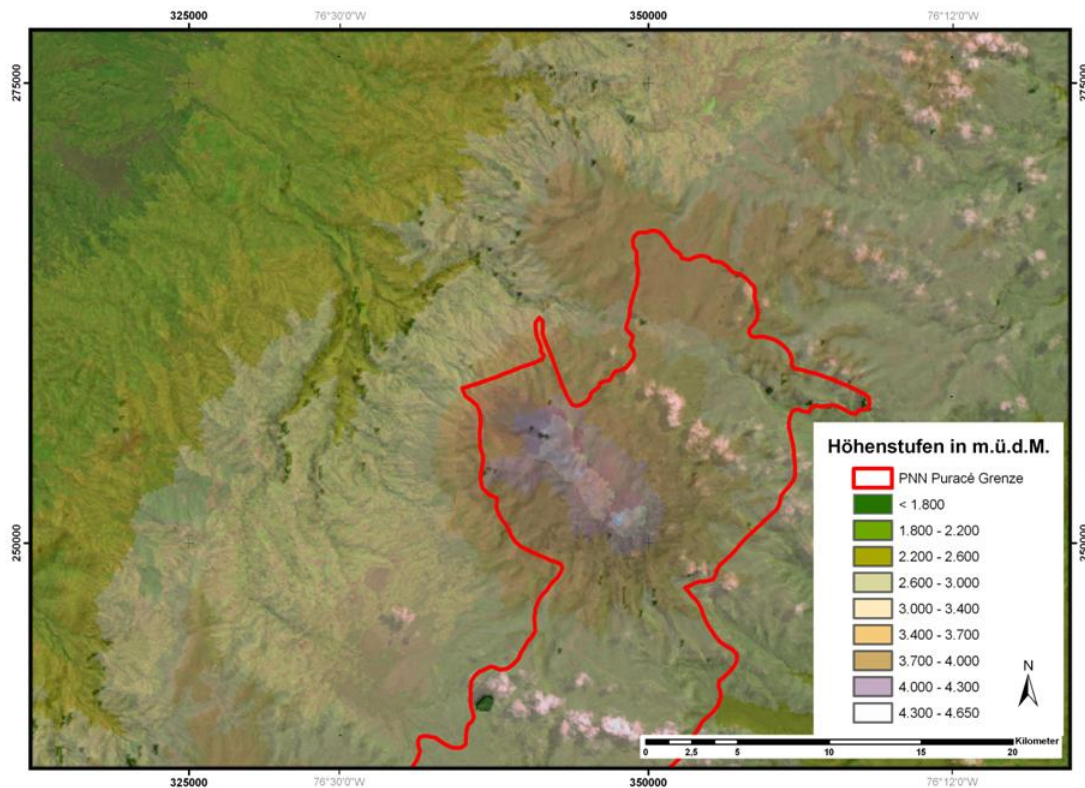


Abbildung 4.8: Die Höhenstufen im Norden des PNN Puracé und dessen Umland. Dargestellt ist die Geländehöhe über dem Meeresspiegel zwischen der Stadt Popayán im Nordwesten und über die im Zentrum der Abbildung liegende Zentralkordillere hinunter in das Magdalenatal. Zur besseren Orientierung erfolgt die Darstellung kombiniert aus dem Höhenstufenmodell mit teiltransparenter Überlagerung durch die Landsat-Szenen. Datengrundlage: SRTM-Kacheln und Landsat-Szenen 9-58 und 9-59, eigene Darstellung.

### 4.3.3 Klimamessungen im Untersuchungsgebiet

#### 4.3.3.1 Lokalklima

Im allgemeinklimatischen Teil (vgl. Kapitel 4.1.2.1) wurde bereits dargelegt, dass wegen der geringeren landwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeit dieser Höhenlagen über dem Meeresspiegel in den südlichen kolumbianischen Hochanden in den Stufen ab der Tierra fría kein ausreichend großes Stationsnetz mit langjährigen Messungen vorhanden ist. Die Stationen in der darunter liegenden tierra templada werden zum Teil von der Federación Nacional de Cafeteros betrieben, die so die für Kaffeeanbau und Vermarktung relevanten Daten erhebt.

Die Darstellung des Niederschlags- und Temperaturgeschehens erfolgt über GID-Diagramme. Es werden Temperatur und Niederschlag wie bei Walter-Lieth in Verhältnis 1:2 aufgetragen. Neben den langjährigen Niederschlagsmitteln sind zusätzlich die Extrema eines jeden Monats aus den schmalen Säulen abzulesen. Einschränkend gilt: es sind nicht alle Extremmonate mit Jahreszahlen versehen, so dass die direkte Interpretation von aufeinanderfolgenden Monaten eines einzelnen Jahres direkt aus der Abbildung nicht immer möglich ist.

Die Temperatur ist im Falle der Klimastation Popayán I durch fünf Linien repräsentiert. Es handelt sich bei der Mittleren um die Durchschnittstemperatur über den Messzeitraum, bei den beiden durchgezogenen Linien um die mittleren Minima und Maxima sowie den gestrichelten Kurven um die absoluten Extrema der Temperatur des jeweiligen Monats. Die vorhandenen Daten wurden bei keiner der zur Verfügung stehenden Stationen statistisch manipuliert, um die gesamte Bandbreite der möglichen beeinflussenden Faktoren, zum Beispiel des Niño-Phänomens, in den Diagrammen abbilden zu können und die zum Teil relativ kurze Beobachtungsperiode nicht noch weiter zu verkürzen.

Für die Deutung und Interpretation des Klimageschehens im Untersuchungsgebiet ist eine Referenzstation nötig, die neben einer langen Messperiode auch eine hohe Verlässlichkeit des gewonnenen Datenmaterials aufweisen muss. Hierfür kann die Station Popayán I (Flughafen Machángara) in 1.730 m.ü.d.M. mit einer 56-jährigen Messreihe verwendet werden. Es werden neben den täglichen Niederschlägen auch absolute und mittlere Minima und Maxima der Temperatur erfasst und daraus werden auch, wie in Südamerika üblich, die Durchschnittstemperaturen errechnet (vgl. Abbildung 4.9).

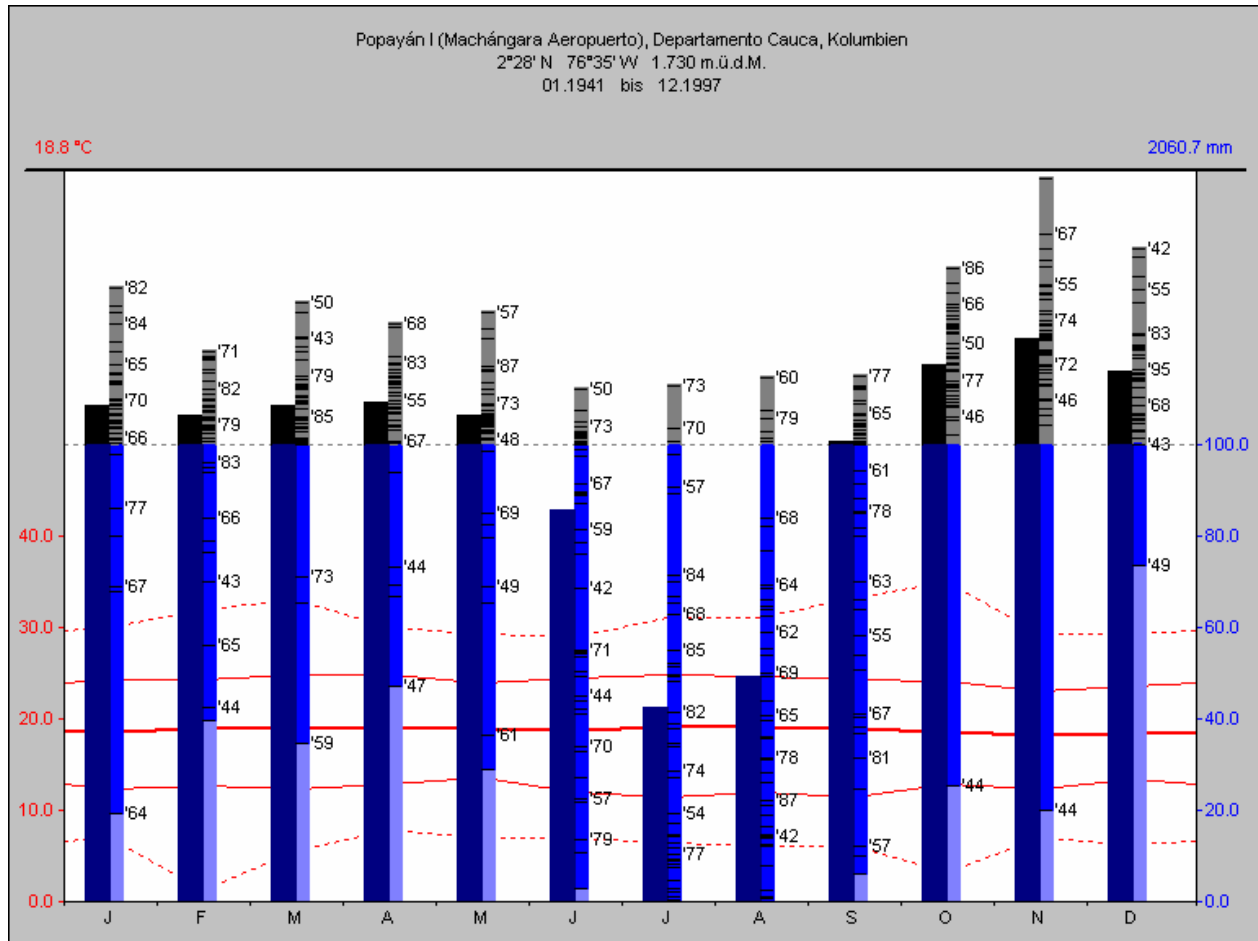


Abbildung 4.9: GID-Klimadiagramm der Station Popayán Flughafen Machángara  
 Die Station dient aufgrund des langen Messzeitraums von 56 Jahren als Referenz für die gesamte Klimabetrachtung des Untersuchungsgebietes  
 Deutlich ist die im Jahresverlauf ausgeglichene Temperatur bei gleichzeitig auftretenden großen Schwankungen der Extremtemperaturen vor und nach dem Zenitalstand der Sonne zu erkennen. Die Niederschlagsverteilung ist monomodal mit Höchstwerten im 4. Quartal. Eine Trockenzeit herrscht zwischen Juni und August. Die höchste Niederschlagsvariabilität ist in den Trockenmonaten vorhanden.  
 Eigene Darstellung mit KIWI.

Die Station Popayán weist ihrer Lage in 2°28' Nord und 76°35' West entsprechend den für die Tierra templada der Inneren Tropen charakteristischen Temperaturgang mit nur geringen Schwankungen im Jahresverlauf auf (Jahresdurchschnitt: 18,8 °C). Größer ist die Amplitude innerhalb eines Tages, wie aus den gestrichelten Linien zu erkennen ist. Auf Basis der vorliegenden Daten ist eine Darstellung als Thermoisoplethen, die den tages- und jahreszeitlichen Verlauf wiedergeben würden, allerdings nicht möglich. Damit kann, wie etwa im Monat Februar, nicht abgeleitet werden, dass die Tagesamplitude der Temperatur ca. 30 °C beträgt. Die große Schwankungsbreite der auftretenden absoluten Maxima und Minima des Monats ist hingegen evident.

Die größten Unterschiede zwischen den absoluten Niedrigst- und Höchsttemperaturen

liegen in den Monaten Februar und März, sowie September und Oktober, mithin kurz vor oder nach dem Zenitstand. Die geringsten Schwankungen treten im Mai und Juni am Ende der Regenzeit auf. Zur Mitte des Jahres steigen die aufgezeichneten Maxima bis in den Monat Oktober an, wohingegen die höchsten Tiefsttemperaturen in den Monaten April und Mai erreicht werden. Die tiefsten Werte treten im Februar und Oktober und die niedrigsten Höchsttemperaturen mit unter 30 °C im Mai und von November bis Januar auf.

Die Graphen der mittleren Maxima zeichnen den Verlauf der absoluten Extrema weitestgehend nach. Die höchsten Unterschiede liegen in der Trockenzeit, die niedrigsten in den Hauptregenmonaten.

Schließlich zeigt die aus den Extremwerten ermittelte Durchschnittstemperatur nur eine sehr geringe Amplitude im Jahresverlauf mit höchsten Werten von Juli bis September und den niedrigsten Temperaturen von November bis Januar.

Am wärmsten ist damit die Trocken-, am kühlgsten die Regenzeit. Im Einzelnen zeigt das Niederschlagsgeschehen folgendes Bild:

Auf der Meseta de Popayán herrscht ein monomodaler, süd tropischer Charakter (SCHMIDT 1952) mit einer Gesamtniederschlagsmenge von 2060 mm/a vor. Im langjährigen Mittel sind alle Monate humid. Neben einer Trockenzeit in den Monaten Juni bis August in denen die durchschnittlichen Niederschläge unter 100 mm/a liegen, weisen alle anderen Monate Werte von über 100 mm/a auf. Bei Interpretation der Einzelmonate verschiedener Jahre zeigt sich die größte Variabilität in der Trockenzeit. Hier können durchaus Niederschlagsmengen von über 100 mm auftreten, es sind aber auch Monate verzeichnet, in denen unter 10 mm Regen fiel. Leider lässt sich anhand der Abbildung (vgl. Abbildung 4.9) nicht postulieren, dass mehrmonatige Dürreperioden auftreten, da nicht jedes Extremereignis mit einer Jahresangabe belegt wird. Daher muss für eine solche Interpretation nach wie vor auf die Ursprungsdaten zurückgegriffen werden.

Die höchsten Niederschlagssummen fallen sowohl bei den Extremereignissen wie auch im Mittel von Oktober bis Dezember. Die Regenzeit setzt sich von Januar bis Mai leicht abgeschwächt fort. In den Monaten um den Sonnenhöchststand (März und April) sind die Niederschläge leicht erhöht. Die Maxima nach dem zweiten Zenitalstand treten hingegen retardiert im Oktober und November auf.

Eine Sonderstellung im Niederschlagsgeschehen nehmen Januar und Februar ein, in

denen in manchen Jahren eine kleine Trockenzeit auftreten kann (vgl. Abbildung 4.9). SCHMIDT bezeichnet den Rückgang der Niederschläge nach dem „Volksmund als „veranito del niño“, der meist in den Januar und Februar verschoben ist (1952, 110). In der Zeit herrschen in Popayán starke Ostwinde vor. Diese Passate wehen als Talwind von der Cadena Volcánica de los Coconucos herab und unterbinden die Konvektion weitestgehend.

Trotz dieser leichten Verminderung kann nicht von einem bimodalen Typ gesprochen werden, wie etwa im nördlichen Ecuador, wo zudem die Trockenheit im Nordsommer stärker ausgeprägt ist (BENDIX und LAUER 1992).

Der bimodale Typ stellt sich bei der ergänzend zu besprechenden Station San Agustín ein. Leider weist die Station nur eine dreijährige, zum Teil lückenhafte Messperiode auf.

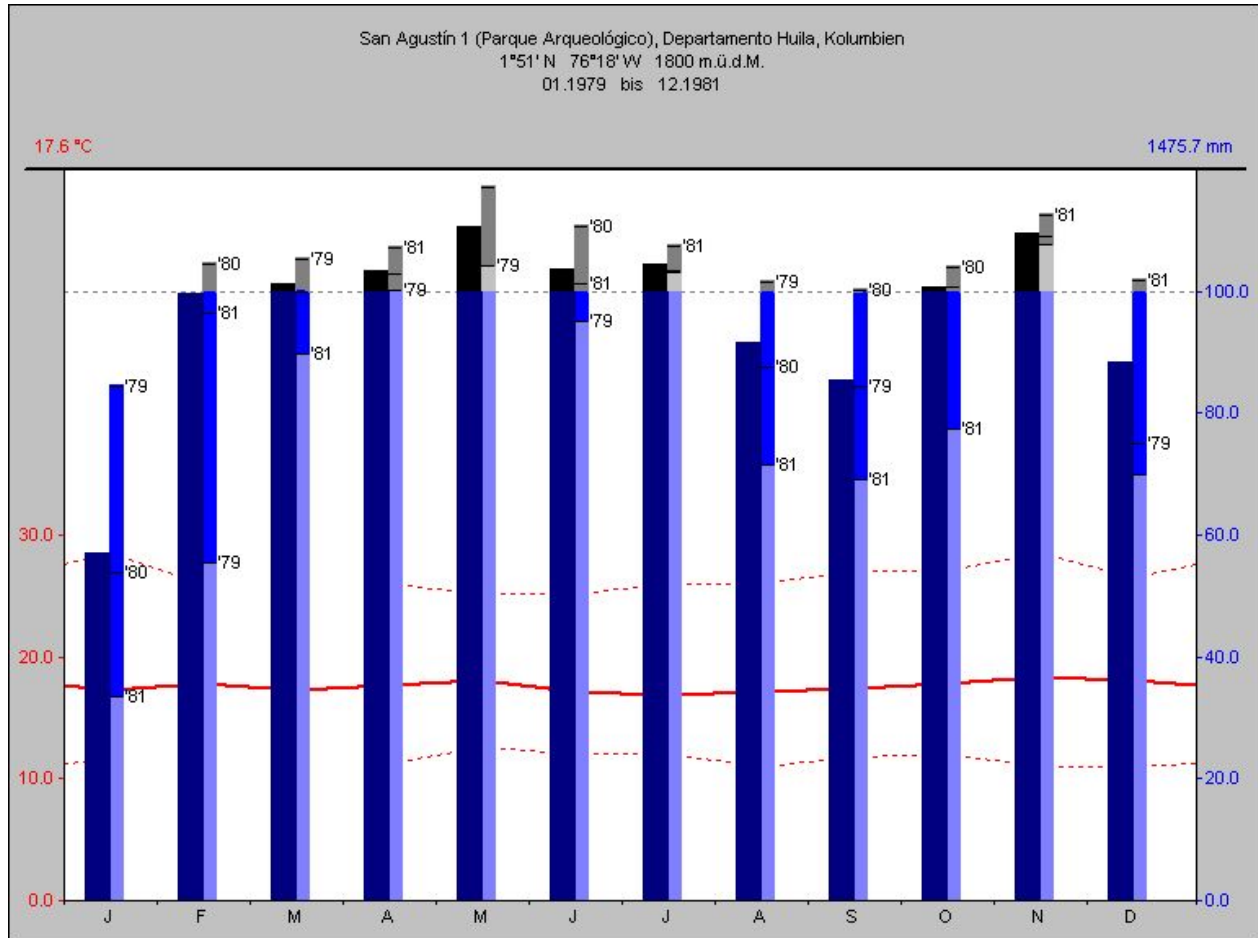


Abbildung 4.10: GID-Diagramm der Station San Agustín 1.

Die Station weist einen bimodalen Niederschlagscharakter auf, alle Monate sind humid. Es ist ein primäres in den Monaten April bis Juli und ein sekundäres Maximum im Oktober und November ausgebildet. Zwischen den beiden Regenzeiten liegen die Trockenmonate

Eigene Darstellung mit KIWI.

Sie liegt im oberen Magdalena-Tal bei  $1^{\circ} 51'$  Nord und  $76^{\circ} 18'$  West. Die Höhenlage (1.800 m.ü.d.M.) entspricht Popayán (vgl. Abbildung 4.9).

Es ist ein Hauptniederschlagsmaximum in den Monaten April bis Juli und ein sekundäres Maximum in den Monaten Oktober und November ausgebildet. Damit folgen die regenreichsten Monate verzögert auf den Sonnenhöchststand. Die Niederschlagssumme ist mit 1475,7 mm/a um ca. 600 mm niedriger als in Popayán. Dies ist durch das im Vergleich zu deren Lage auf einer Hochebene im weiten Cauca-Tal schmalere und tiefer eingeschnittene Magdalena-Tal zu erklären, da hier keine so starke Konvektion möglich ist (WEISCHET 1996). Zwischen den beiden Regenzeiten liegen die beiden Trockenzeiten (vgl. Abbildung 4.10).

Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei  $17,6^{\circ}\text{C}$ . Der Lage entsprechend sind die Schwankungen gering. Der Verlauf entspricht etwa dem der Station Popayán, wenngleich auch hier wiederum niedrigere Temperaturen auftreten, da sich die Luft über dem Cauca-Tal stärker erwärmen kann. Als weitere Vergleichsstation diene Neiva (vgl. Abbildung A 1 im Anhang).

Für den PNN Puracé existieren leider keine Temperaturmessungen. Als einzige Station werden in der im südwestlichen Parksektor gelegenen Station Paletará Durchschnittstemperaturen und Mittlere Extrema angegeben. Sowohl in Pilimbalá, als auch in San Rafael stehen lediglich pluviometrische Messdaten zur Verfügung. Die Datenlücken füllen eigene Bodentemperaturmessungen in einem Transekt von Popayán entlang der Hauptverbindungsstraße in die Cabecera Puracé und in deren weiterem Verlauf nach Osten und von dort abzweigend zur Mine und am Aufstieg zum Vulkan Puracé selbst. Es wurde ein Profil erarbeitet, das den Temperaturgradienten von 1.800 m.ü.d.M. bis in etwa 4.400 m.ü.d.M. aufzeigt (vgl. Abbildung 4.11). So können die fehlenden Temperaturmessungen von festen Klimastationen im Arbeitsgebiet zumindest ersatzweise kompensiert werden.



Abbildung 4.11: Temperaturgradient von Bodentemperaturen in 1 m unter GOF.

Die in diesem Graphen wiedergegebenen Werte sind bereits um 3K korrigiert, so dass sie direkt mit den in den Referenzstationen gemessenen Temperaturen verglichen werden können (vgl. Texterläuterungen S. 100ff und Tabelle 4.5).

Quelle: Eigene Messungen und Darstellung.

Bewusst wurde auf Ermittlung der Werte unter homogenen Bedingungen geachtet, da die Bodentemperatur von Strahlung, Exposition, Hangneigung, Höhe über dem Meer, Bodenart und –feuchte, Vegetationsbedeckung, vor allem der Vegetationszusammensetzung abhängt (ERIKSEN 1984).

Die Messung der Bodentemperaturen erfolgt mittels einer Temperatursonde (Testotherm Testo 110, Genauigkeit 0,1°C) in etwa 1 m unter der GOF im Bohrloch eines Rillenbohrers (Pürckhauer) und damit unterhalb der von Walter und WINIGER geforderten Mindesttiefen (WINIGER 1981).

Die Bodentemperaturen können als Referenz in den Tropen, insbesondere den Inneren Tropen, für fehlende Stationsmessungen herangezogen werden, da sich innerhalb des Jahres annähernd isotherme Bedingungen einstellen, wie dies aus den Klimadiagrammen der Stationen Popayán und Paletará (vgl. Abbildung 4.9 und 4.14c) zu entnehmen ist. WALTER (1960) verlangt als Messtiefe zumindest 30 – 60 cm unter GOF (zitiert nach WINIGER 1979), WINIGER postuliert hingegen in freiem Gelände zumindest 70 cm, um



isotherme Bedingungen abzubilden (WINIGER 1979 und 1981).

Wo immer möglich, wurden die Temperaturmessungen in freiem, unbewaldeten Gelände in meist in Nordwest- oder Nordostlagen (vgl. Tabelle 4.5) an grundwasserfernen Standorten durchgeführt. Das Höhenintervall zwischen den einzelnen Abteufungen betrug ca. 100 m.

WINIGERS Messungen am Mount Kenya erscheinen gut auf die Bedingungen in der Cadenena Volcánica übertragbar zu sein, da auch in Afrika ein Untersuchungsraum ähnlicher Höhenstufe der Inneren Tropen vorliegt. Einschränkend muss beachtet werden, dass der Mount Kenya solitär bis in 5.199 m.ü.d.M. aufragt, die Temperaturen aufgrund des fehlenden Massenhebungseffektes also im Vergleich zum PNN Puracé erniedrigt sind. Die Niederschlagsverteilung im ostafrikanischen Arbeitsgebiet entspricht in der Höhe unter Abschwächung der der vorgelagerten Tiefländer. Die Niederschlagssumme ist mit ca. 800 – 2000 mm/a in 3.000 m.ü.d.M. etwa gleich hoch wie im nördlichen PNN Puracé (WINIGER 1979, 134f.).

Die in freiem Gelände gemessenen Bodentemperaturen sind nach den am Mount Kenya erarbeiteten Ergebnissen Winigers um 2 – 3 K nach unten zu korrigieren, um die entsprechenden Lufttemperaturen des Standorts zu erhalten. Die Korrekturen erfolgen je nach Beschaffenheit des Standortes nach folgenden Gleichungen (WINIGER 1979):

Für schattige, relativ feuchte Standorte:

$$\text{Gl. 4.1: } T_{L\ 2m} = T_B - 0,5 \text{ K (+/- 1 K)}$$

Für besonnte, relativ trockene Standorte

$$\text{Gl. 4.2: } T_{L\ 2m} = T_B - 3 \text{ K (+/- 1 K)}$$

Verbindet man nun die Ergebnisse der Messkampagne entlang des Transekts von Popayán hinauf zum Vulkan Puracé und die Aussagen Winigers mit den in Paletará gemessenen Temperaturen, so ergibt sich eine große Übereinstimmung. Die Jahresdurchschnittstemperatur an der Station in 2.900 m.ü.d.M. beträgt 11°C, die Bodentemperatur in 2.920 m.ü.d.M. hingegen 14,6°C. Nach Korrektur um 3 K (+/- 1 K) erhält man somit 11,6°C Lufttemperatur für den Messort (vgl. nachfolgende Tabelle 4.5 und Abbildung 4.14c). Aus logistischen und innenpolitischen Gründen war es leider nicht möglich, die

Bodentemperatur direkt an der Klimastation zu ermitteln.

Die Übereinstimmung zwischen dem Stationswert und den korrigierten Bodentemperaturwerten ist allerdings so groß, dass hiermit auf die reale Temperaturverteilung zwischen der Stadt Popayán und dem Norden des PNN Puracé geschlossen werden kann. Die Abnahme der Temperatur erfolgt nicht linear, vielmehr ist der Rückgang zwischen 1.800 und 2.700 m.ü.d.M. und über 3.400 m.ü.d.M. stärker als in dem dazwischen liegenden Höhenintervall. Die Erklärung liegt vermutlich im zweiten Kondensationsniveau (vgl. Abbildung 4.11 und Tabelle 4.5). Die von RUTHSATZ (1977, 18) aufgestellten Temperaturgradienten aus dem nordwestlichen Argentinien zeigen eine ähnliche Abflachung zwischen 3.000 und 4.500 m.ü.d.M. Sie begründet dies mit dem Heizflächeneffekt der Hochgebirge. Ausgehend von den höher liegenden Beckenlagen des südlichen Altiplano und der Meseta de Popayán korrelieren die Temperaturkurven recht gut.

Tabelle 4.5: Bodentemperaturen und durch den Korrekturfaktor von  $-3\text{K}$  errechnete Lufttemperaturen entlang des Transekts Popayán – Volcán Puracé:

Höhe in m.ü.d.M.	Bodentemperatur in 1 m unter GOF in °C	Errechnete Lufttemperaturen in °C +/- 1°C	Exposition und Besonderheiten	Vegetation und Nutzung	Lage gemäß GPS
1.900	21,7	18,7	SE	Grasland, Weide	2°26'474N 76°35'672W
2.000	20,6	17,6	N	Grasland, Weide	2°25'862N 76°34'405W
2.110	20,3	17,3	N (Straße Coconuco Río Molinos westl. Brücke)	Grasland, Weide	2°25'061N 76°33'034W
2.130	20,3	17,3	NNE	Grasland, Weide	2°24'930N 76°31'340W
2.200	19,8	16,8	NE KM 1.4	Grasland, Weide	2°23'510N 76°29'848W
2.310	19,6	16,6	N KM 6.3	Grasland, Weide	2°22'974N 76°29'024W
2.315	18,8	15,8	NE Quebrada	Grasland, Weide	2°22'888N 76°28'947W
2.325	18,4	15,4	N Kammlage	Grasland, Weide	2°23'647N 76°29'722W
2.340	19,2	16,2	N	Grasland, Weide	2°23'378N 76°29'066W
2.410	17,9	14,9	S	Grasland, Weide	2°23'065N 76°28'890W
2.510	17,8	14,8	W (Probe in 0.7m)	Grasland, Weide	2°22'883N 76°28'168W
2.560	17,4	14,4	WNW	Grasland, Weide	2°22'169N 76°27'984W
2.580	17,9	14,9	N	Grasland, Weide	2°22'896N 76°27'950W

2.700	16,6	13,6	W	Grasland, Weide	2°23'021N 76°27'140W
2.750	17,0	14,0	N	Grasland	2°23'178N 76°27'066W
2.810	15,3	12,3	N	Grasland	2°23'093N 76°26'490W
2.840	15,4	12,4	S Quebrada feuchter Standort	Grasland, Weide	2°23'306N 76°26'007W
2.910	14,6	11,6	NW KM 17.8	Grasland	2°23'122N 76°25'984W
3.005	14,0	11,0	N KM 19	Grasland	2°22'847N 76°25'744W
3.090	14,0	11,0	SW	Grasland	2°22'761N 76°25'166W
3.200	13,2	10,2	NNW	Grasland	2°22'605N 76°24'513W
3.310	12,5	9,5	N	Grasland	2°22'324N 76°24'501W
3.390	11,7	8,7	WNW Pilim- balá	Grasland, Páramo	2°21'959N 76°24'436W
3.505	10,5	7,5	NW	Grasland, Páramo	2°21'731N 76°24'357W
3.610	9,6	6,6	NNE	Grasland, Páramo	2°21'417N 76°24'385W
3.695	8,6	5,6	NNE	Grasland, Páramo	2°21'196N 76°24'346W
3.800	7,7	4,7	SSW	Grasland, Páramo	2°20'663N 76°24'082W
3.900	7,1	4,1	NW	Grasland, Páramo	2°20'303N 76°23'946W
3.995	6,1	3,1	NNE	Schütteres Gras	2°20'089N 76°23'865W
4.105	5,1	2,1	NNE	Schütteres Gras	2°19'825N 76°23'898W
4.190	4,3	1,3	NE	Schütteres Gras	

Quelle: Eigene Messungen von November 2002 bis Januar 2003.

Die auf dem Transekt erfassten Bodentemperaturen dienen nach Abzug des Korrekturfaktors von 3 K (aufgrund der besonnten und relativ trockenen Standorte) als Anhaltspunkt für die in der jeweiligen Höhe zu erwartende Jahresdurchschnittstemperatur. Leider ist aber keine Aussage in Bezug auf die vorkommenden Extrema möglich. Auch hier helfen nur die Beobachtungen aus dem Gelände und in der Literatur gefundene Aussagen weiter: Eigene Erfahrungen zeigen Reifbildung und Bodenfrost in den frühen Morgenstunden der Trockenperioden (vgl. Abbildung 4.14a-c) ab einer Höhe von 3.100 m.ü.d.M. Nach WINIGER muss ab einer Bodentemperatur von 1 – 4°C mit bis zu 250 – 300 Frostwechseltagen gerechnet werden, im Untersuchungsgebiet also erst ab ca. 3.900 m.ü.d.M. Dies ist gleichzeitig die untere Grenze der periglazialen Stufe. Sie ist in der Cadena Volcánica bis in die höchsten Gipfelbereiche anzusetzen, da keiner der Vulkane heute noch eine Eigenvergletscherung aufweist. Die für das Auftreten von Permafrost nötige Bodentemperatur von -1,5°C (WINIGER 1981) wird also auch in 4.600

m.ü.d.M. nicht erreicht. Auch dies deckt sich sehr gut mit den in der Tabelle 4.5 wiedergegebenen Messergebnissen.

ERIKSEN (1984) weist in einer Untersuchung für die Punastufe auf die Beziehung der mittleren Minimaltemperaturen und dem Auftreten von Frostwechseln hin, die ab einer Temperatur von +4 bis +5 möglich seien. Hier liegen die Durchschnittstemperaturen bei 11 °C. Für die Untersuchungsregion gilt dies ab ca. 3.000 m.ü.d.M., wie das Klimadiagramm der Station Paletará und die ermittelten Bodentemperaturen zeigen (vgl. Abbildung 4.12c und Tabelle 4.5). Die Übertragung von mittleren Minima auf die Jahresdurchschnittstemperaturen ist allerdings delikater, da die Minima sehr stark vom Relief abhängen, wie beispielsweise die nächtliche Sammlung kalter Luft in Senken oder das schnelle Abfließen in Mittelhangbereichen.

Die folgende Abbildung 4.12 zeigt die flächenhafte Übertragung der durch die Pürckhauer-Einschläge auf einer Transekte ermittelten Bodentemperaturen auf das Macizo Colombiano. Die mit der Höhe erfolgende Temperaturabnahme von 18,7°C in 1.900 m.ü.d.M. in der Nähe der Stadt Popayán bis hinauf in die Páramos mit ermittelten 1,3°C wurde auf das DGM übertragen. Hierdurch werden die unterschiedlichen Vegetationshöhenstufen näherungsweise visualisiert. Die Gipfelbereiche der Cadena Volcánica de los Coconucos mit dem Superpáramo erscheinen dunkelblau, die tiefer gelegenen Untersuchungsgebiete San Rafael und Pilimbalá mit den Páramos türkis. Potenziell mit hochandinen Bergwäldern bestandene Gebiete im Osten und Westen der Zentralkordillere weisen hellgrüne und gelbe Farbtöne auf. Schließlich sind die Tiefländer im Magdalena- und Cauca mit abgeleiteten Temperaturen über 19°C in Rottönen dargestellt.

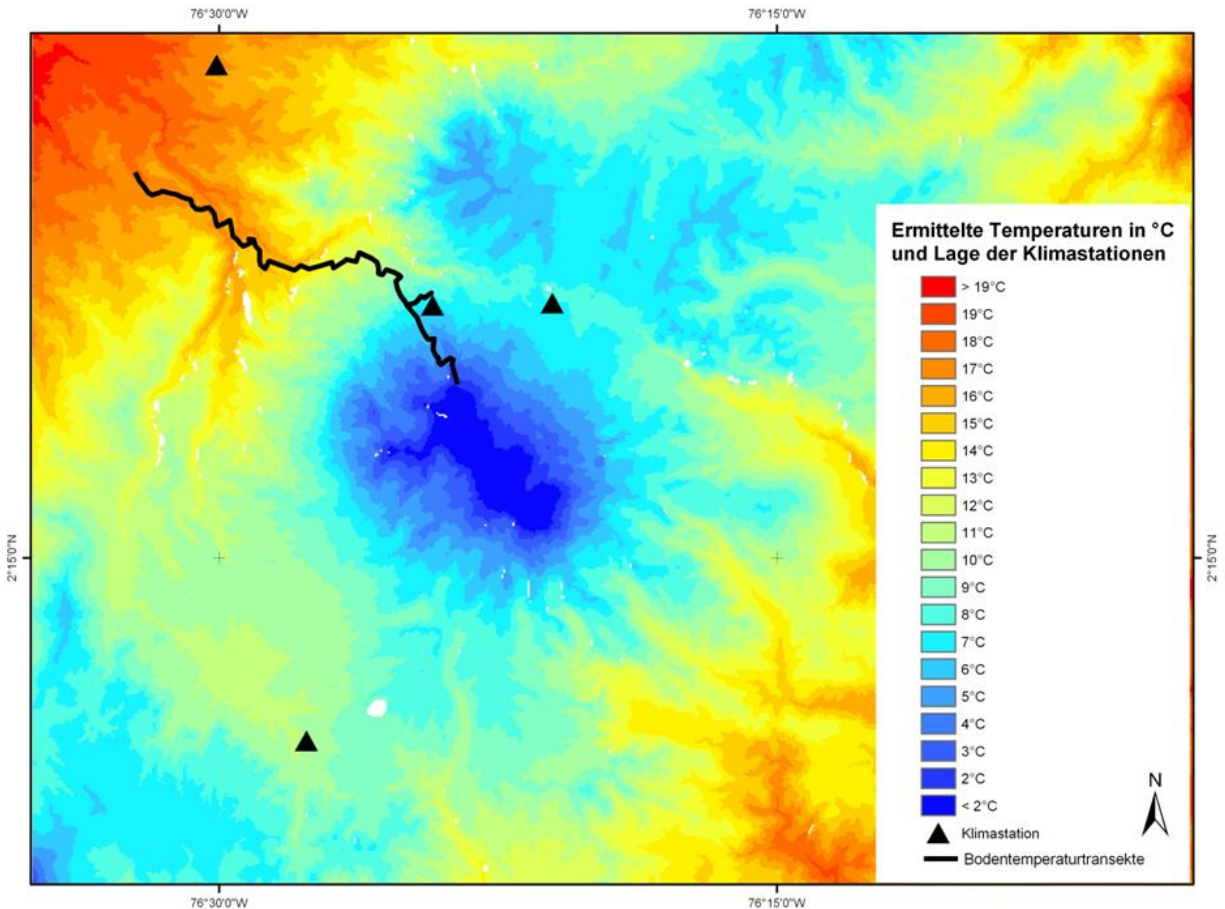


Abbildung 4.12: Die Temperaturen im Macizo Colombiano und die Lage der Klimastationen. Die Abbildung zeigt die Verschneidung von Bodentemperaturmessungen und dem DGM der Zentralkordillere vom Valle del Cauca mit der Stadt Popayán im Westen, der Zentralkordillere und dem Magdalenaal im Osten. Die weißen Flecken sind durch Lücken im DGM hervorgerufen. Außerhalb des Kartenausschnittes im Süden befindet sich die Station San Agustín (vgl. Abbildung 4.10), im Nordosten die Station Neiva Flughafen (vgl. Abbildung A 1). Eigene Darstellung.

Neben den Temperaturhöhenstufen ist die Lage der Klimastationen der Region von Popayán im Nordwesten über die im Norden des Puracé gelegenen Messungen an den Pluviometern San Rafael und Pilimbalá bis nach Paletará im Süden aufgeführt (vgl. auch Abbildung 4.14a-c).

Die Bodentemperaturmessungen und deren Übertragung auf Basis des DGMs verbreitern die aufgrund fehlender Stationswerte dürftige Datengrundlage zum Klima- und Witterungsgeschehen im Untersuchungsgebiet. Erst durch diese Messungen wird die Klimainterpretation über das Niederschlagsgeschehen hinaus möglich.

Eine weitere Möglichkeit zur Ableitung der Temperaturen im Untersuchungsgebiet bietet

der Thermalkanal 6 der Landsat-Szenen. Nach Berechnung durch die folgende Gleichung Gl. 4.3

$$\text{Gl. 4.3: } \text{Temp } (^\circ\text{C}) = (1273.25/\log(64.646/(0.1238+0.00563^{**}\text{Kanal}_6)))+1)-273.15$$

erhält man die Oberflächentemperaturen zum Zeitpunkt des Überfluges (09:52 und 09:53h Ortszeit; d.h. 14:52 und 14:53 GMT) des Satelliten. Der Vorteil dieser Ergebnisse liegt darin, dass auch Expositionsunterschiede Eingang in die Ermittlung finden. Durch den frühen Tageszeitpunkt sind jedoch die ostexponierten Hänge wärmer. Zumindest lassen sich hiermit die Temperaturgradienten im Untersuchungsraum nachvollziehen, die durch die im Transekt ermittelten Bodentemperaturmessungen genauer betrachtet und analysiert werden. Die Verschneidung der beiden Aufnahmeverfahren ermöglicht die räumliche Ausweitung der ermittelten Bodentemperaturen über das Untersuchungsgebiet hinaus.

Leider ist auch hier wieder die auftretende Bewölkung ein Faktor, der die Anwendung der Datengrundlage in allen Teilen der Szenen verbietet. Die Voraussetzung zur Verwendung ist ein niedriger Bewölkungsgrad. Andererseits ist die flächendeckende und damit räumliche Darstellung der momentan auftretenden Oberflächentemperaturen vorteilhaft. Die Temperaturintervalle zeigen die in den Inneren Tropen gebräuchliche Vertikalgliederung der Vegetationshöhenstufen nach Jahresdurchschnittstemperaturen, die hier sehr gut mit den in den Morgenstunden gemessenen Oberflächentemperaturen koinzidieren: In den Blautönen von dunkelblau über türkis bis grünblau erscheinen die Páramos vom Super- bis zum Subpáramo (Tierra helada). Orange ist die Tierra fría wiedergegeben, die Rottöne repräsentieren die Tierra templada und die Tallagen von Río Cauca und Río Magdalena (vgl. Abbildung 4.13).

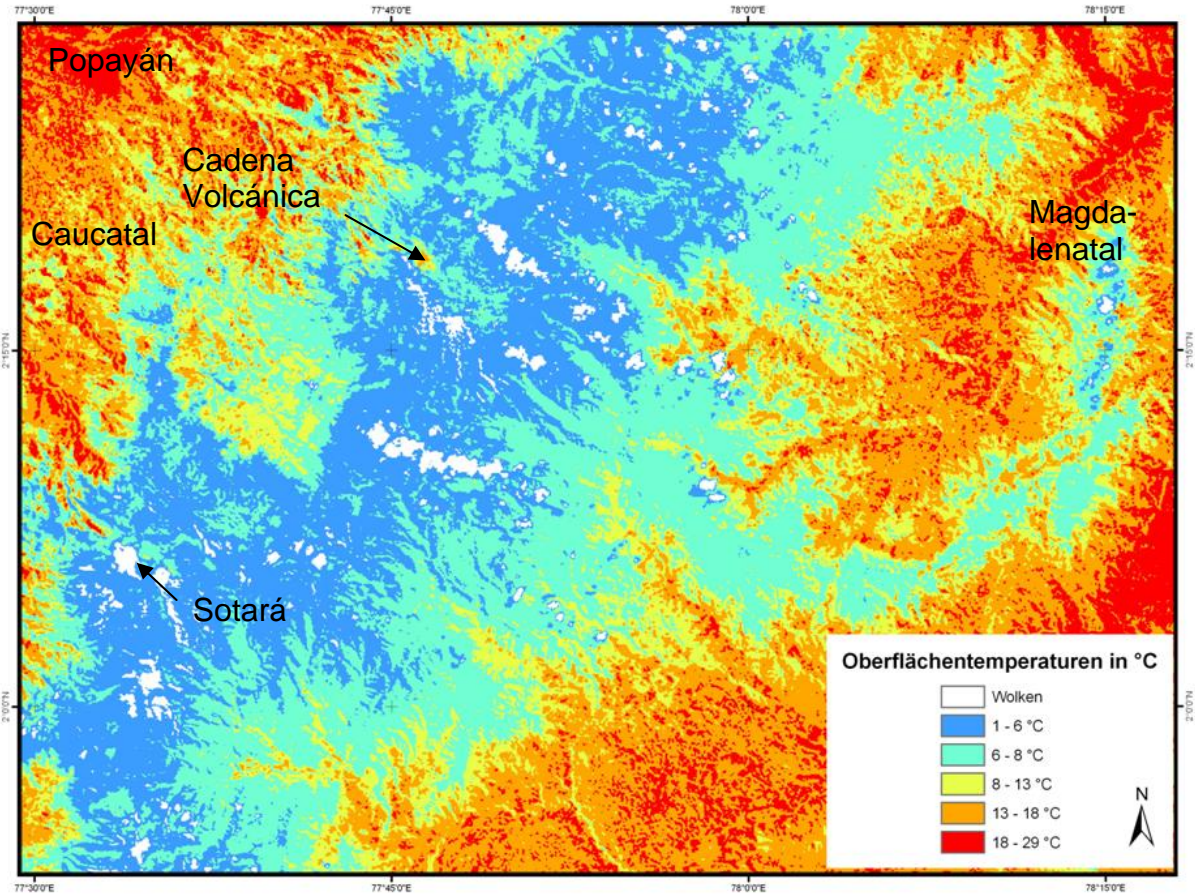


Abbildung 4.13: Die Oberflächentemperaturen im Macizo Colombiano.

Die Abbildung zeigt die aus der Landsat-Szene errechneten Oberflächentemperaturen im Valle del Cauca mit der Stadt Popayán im Westen, der Zentralkordillere und dem Magdalena im Osten. Die Temperaturintervalle sind gleichzeitig an die Vegetationshöhenstufen der Inneren Tropen angelehnt. Die dunkelblauen westnordwest-ostsüdost-verlaufenden Bereiche sind Störungen durch Wolken, ebenso wie die nord-südlich-orientierten Bereiche innerhalb des Magdalena im Osten (oberhalb der Legende). Die Berechnung erfolgt über den Kanal 6 der Landsat-Szenen. Eigene Darstellung.

Die in der Station Paletará (vgl. Abbildung 4.14c) ermittelten Mittleren Extrema zeigen nur geringe Ausschläge. Während die Mittleren Maxima sehr stark von den Einstrahlungsverhältnissen abhängen und über das Jahr einen recht variablen Verlauf nehmen, treten die Mittleren Minima akzentuiert im Januar und Februar sowie im Oktober auf. Lassen sich die Temperaturverläufe anhand der Bodentemperaturmessungen und der Referenzstation Popayán noch recht gut charakterisieren, so ist die Untersuchung der Niederschlagsverhältnisse ungleich schwieriger, da sich hier tellurische Bedingungen sehr stark bemerkbar machen, die die in Kapitel 4.1.2.1 beschriebene Allgemeine Zirkulation stark modifizieren.

Insbesondere in den großen relativ trockenen Andenlängstälern bilden sich lokale Windsysteme aus, welche die Passatzirkulation auf einen Höhenostwind beschränken. Durch das Berg – Talwindsystem stellen sich an der Westflanke der Zentralkordillere westliche Hangaufwinde im Tagesverlauf ein. Erst nach Sonnenuntergang sind die Ostwinde wieder vorherrschend.



Photo 4.1: Inversionsschicht über dem Cauca-Tal in ca. 3.500 m.ü.d.M.

Diese Grenze verdeutlicht das unterschiedliche Witterungsgeschehen zwischen der Tierra templada (Cauca-Tal) und den Tierras fría und helada (PNN Puracé) in den höher gelegenen Bereichen der Kordillere. Derartige Wetterlagen bilden sich häufig in den frühen Morgenstunden nach Strahlungs Nächten aus. Dies bezeugt die Schwierigkeit der Übertragung von Messwerten aus den Talbereichen oder größeren Entfernungen in den eigentlichen Untersuchungsraum und damit die Notwendigkeit eigener Messungen oder synoptischer Beobachtungen im Untersuchungsgebiet.

Aufn. Volker Heck am 21.01.2003 in 3.800 m.ü.d.M.

Die lokalen Windsysteme sind zum einen dafür verantwortlich, dass die vertikale Abnahme der Niederschläge mit der Höhe im Untersuchungsgebiet nicht deutlich ausgeprägt ist. Einzig die im Süden gelegene Station Paletará weist mit 1.207 mm im langjährigen Mittel deutlich verminderte Niederschläge als Popayán auf. In Pilimbalá werden



immer noch 1.620 mm in einer Seehöhe von 3.400 m.ü.d.M. erreicht. Noch extremer sind die Werte von San Rafael (ebenfalls 3.400 m.ü.d.M.) mit 2.279 mm/a (vgl. Abbildung 4.14 a -c). Anhand der hier zur Verfügung stehenden Niederschlagswerte lässt sich abermals der große Einfluss des Reliefs auf die zu erwartenden Regenmengen ablesen: Die auf der Westseite der Zentralkordillere befindlichen Stationen Paletará und Pilimbalá liegen im Lee der östlichen Strömungen, wohingegen die Station San Rafael auf der Passhöhe der Zentralkordillere von den aus dem Magdalenatal aufsteigenden Niederschlägen getroffen wird. BENDIX und LAUER stellen für die Hochlandstationen Ecuadors ähnliches fest: Die Versorgung mit Niederschlägen, die sowohl im Amazonas-tiefland als auch an der Pazifikküste generiert werden, ist sehr variabel (1992, 126).

Dies kann als Erklärung dafür dienen, dass gerade an dem Klimastations-Messpunkt San Rafael die Verschiebung der Regenzeit in die Monate Mai bis September evident ist: Die Verteilung von Regen- und Trockenzeiten ist demnach vom westlich vorgelagerten Längstal (Station Popayán) verschoben. San Rafael hat einen ausgeprägten nord-tropischen Charakter (SCHMIDT 1952): Die geringsten Niederschlagsmengen liegen im Untersuchungsgebiet in den Monaten um den Jahreswechsel. Dies gilt in abgeschwächter Form auch für die Station Paletará (vgl. Abbildung 4.14b und c). Der Niederschlags-gang Pilimbalás hingegen ähnelt eher dem der Stadt Popayán mit ihrem süd-tropischen Charakter vgl. Abbildung 4.14a). Die Lokalklimatischen Untersuchungen unterstreichen die große Variabilität des Klimas. Es zeigt sich, dass die vertikale Komponente bei den Beschreibungen SCHMIDTS (1952), wie auch BENDIX und LAUERS (1992) zu wenig Beachtung fand.

Bei vorherrschenden Südostwinden in den Nordsommermonaten (BENDIX und LAUER 1992, 130) liegen die weniger Niederschlag empfangenen Stationen Paletará und Pilimbalá also im Lee der Zentralkordillere.

Die bereits bei der Interpretation der Station Popayán dargestellte große Variabilität der Niederschläge in den Trockenmonaten zeigt sich auch bei der Betrachtung der drei Hochlandstationen.

Besonders augenfällig ist der Niederschlagsgang des Niño-Jahres 1997. Hier gehen in der Station San Rafael im Monat Juli die absolut höchsten Regenmengen nieder, wohingegen an der auf der Westseite der Kordillere gelegenen Station Pilimbalá die niedrigsten in einem Julimonat gemessenen Mengen fallen. In abgeschwächter Form setzt

sich dies in den Folgemonaten fort (September 1997, vgl. Abbildung 4.14a und b).

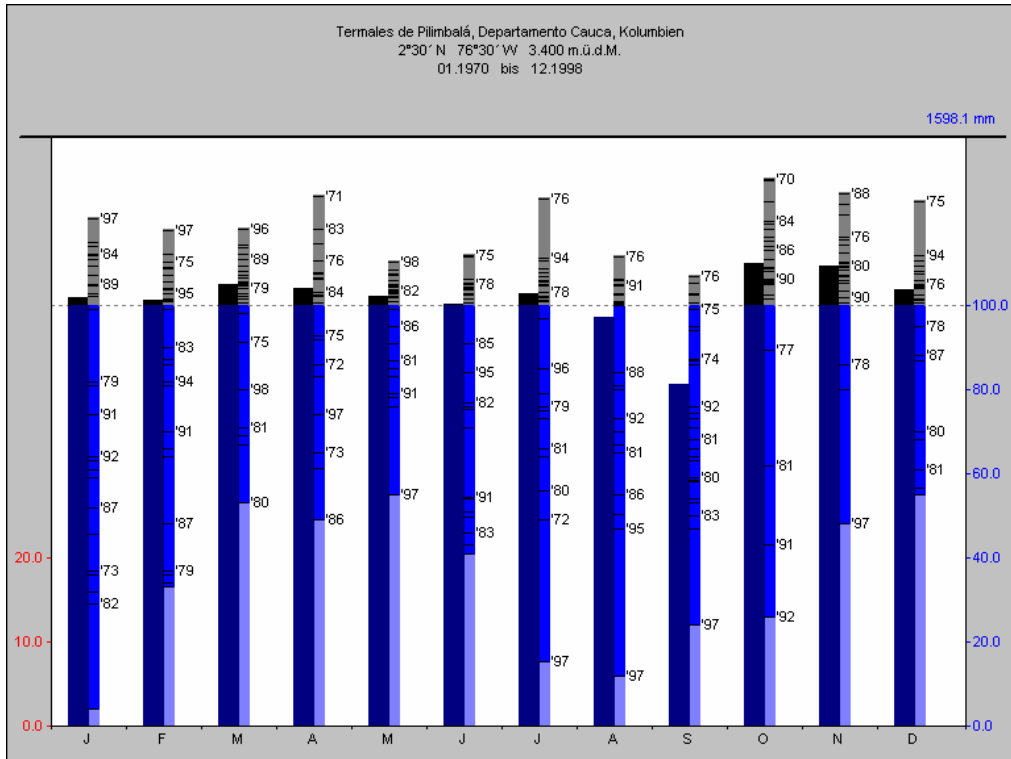


Abbildung 4.14a: GID-Diagramm der Station Termales de Pilimbalá.  
 (Erklärung nach Abbildung 4.14c).

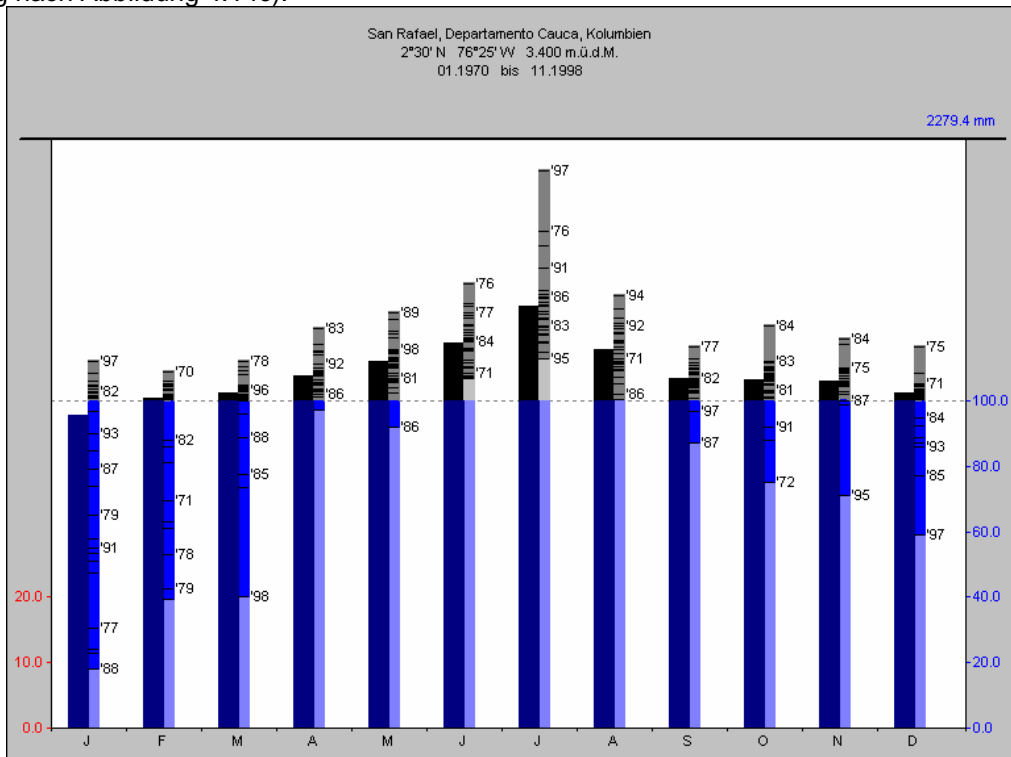


Abbildung 4.14b: Klimadiagramm der Station San Rafael.  
 (Erklärung nach Abbildung 4.14c).

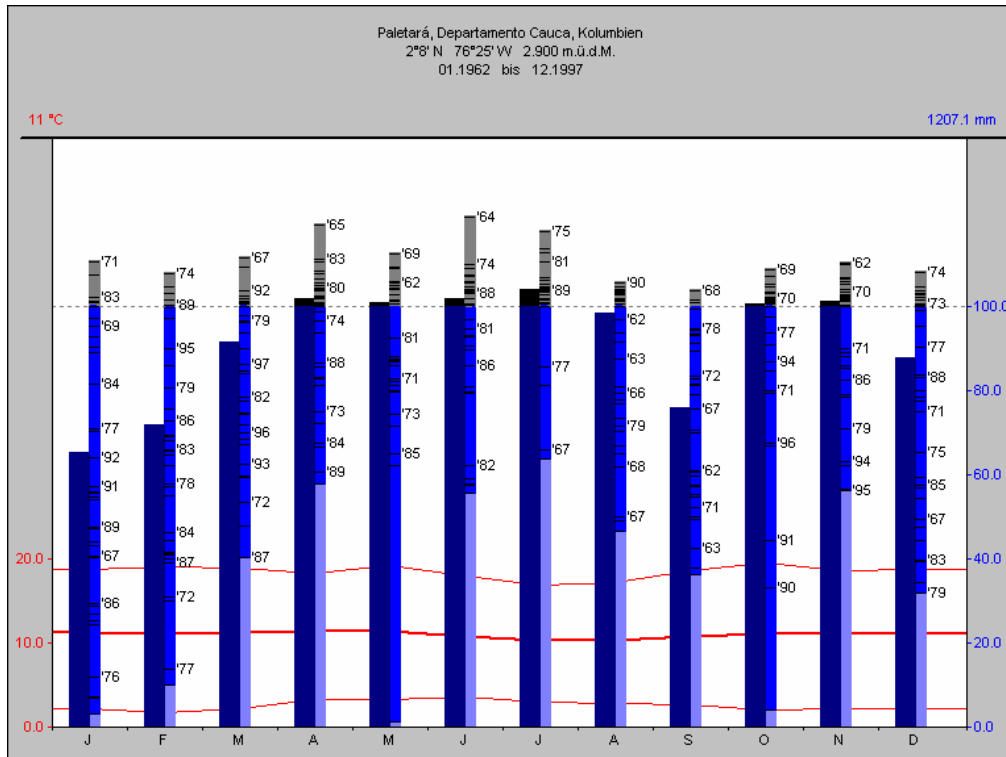


Abbildung 4.14c: GID-Diagramm der Station Paletará.

Abbildung 4.14a-c: Klimadiagramme der Stationen, Termales de Pilimbalá, San Rafael und Paletará. Die Stationen liegen in Höhen von 2.900 bis 3.400 m.ü.d.M. und bilden das Niederschlagsgeschehen im Untersuchungsgebiet recht gut ab. Es liegen nur im Fall von Paletará Temperaturdaten vor, deutlich wird die lageabhängige Niederschlagsverteilung mit niedrigen Werten für die Westseite und hohen Werten für die in Passhöhe gelegene Station San Rafael. Hier wird ebenfalls die Verschiebung der Regenzeit am augenscheinlichsten.

Datenquellen: Municipio de Puracé und Coconuco; eigene Darstellungen mit KIWI.

Leider liegen innerhalb des Untersuchungsgebietes lediglich Daten über die Sonnenstunden für die Station Paletará vor. Die Mittelwerte erreichen mit 120 Stunden in den Monaten Januar und Dezember höchstens 1/3 der theoretisch möglichen Anzahl. Die niedrigsten Werte werden im Juni und Juli ermittelt.

Die Minima und Maxima zeigen ein ähnliches Bild, es werden in den Monaten um die Jahreswende bis zur Hälfte, in den Hauptniederschlagsmonaten ein Drittel der astronomisch möglichen Sonnenstunden erreicht. Eine Sonderstellung nimmt der September ein, in dem maximal 160 Sonnenstunden gemessen werden. Der Vergleich mit dem GID-Diagramm der Station zeigt deutlich den Zusammenhang zwischen dem pluvialen Geschehen der Station und den Sonnenstunden: die Monate Januar, Februar und Dezember bilden die Kerntrockenzeit, der September weist ein sekundäres Minimum an Niederschlägen auf (vgl. Abbildung 4.15).

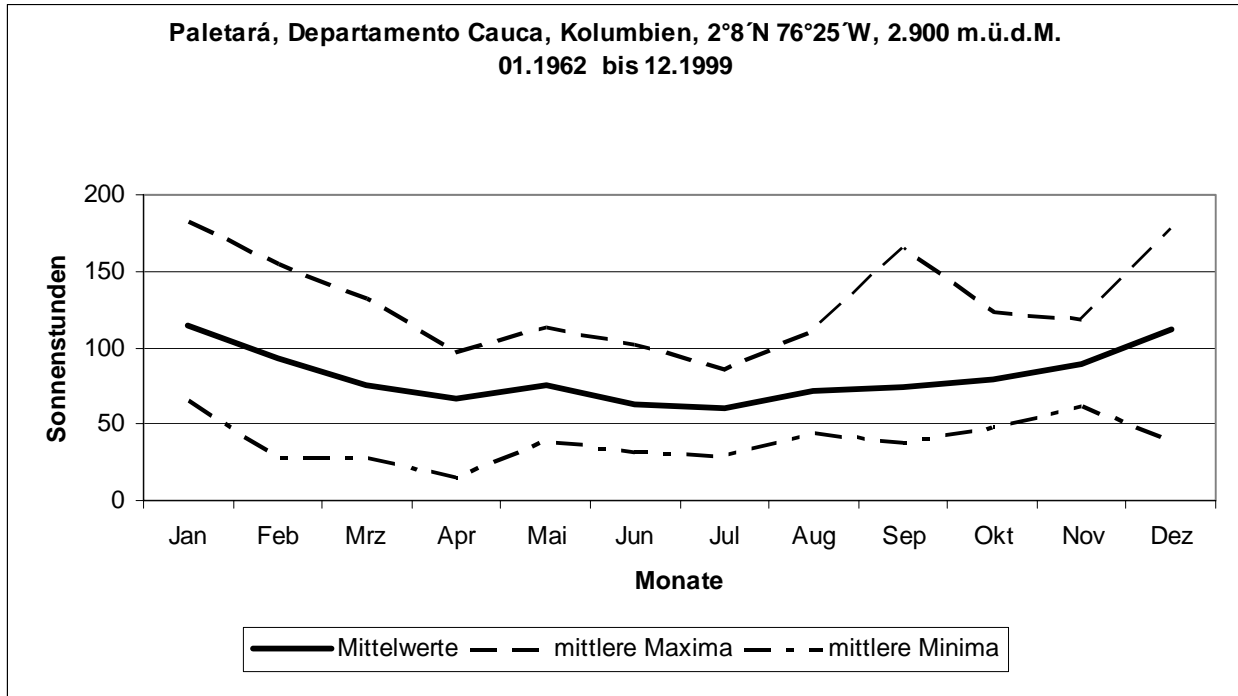


Abbildung 4.15: Sonnenstunden der Station Paletará.

Die mittlere Anzahl von Sonnenstunden liegt bei ca. 1/3 der astronomisch möglichen. Die höchsten Anzahlen von Sonnenstunden treten von September bis Februar auf, niedrigere Werte liegen in den Monaten der Hauptregenzeit zwischen April und Juni.

Quelle: Municipio de Puracé und Coconuco 2002. Eigene Darstellung.

Die Korrelation von hohem Bewölkungsgrad und sehr geringen Sonnenstundenzahl bei zugleich hohen Niederschlägen deutet darauf hin, dass die von Westen aus dem Cauca- und von Osten aus dem Magdalenatal aufsteigenden Luftmassen in einer Meereshöhe von 3.000 m kondensieren und somit das zweite Kondensationsniveau bilden.

Die Niederschläge sind häufig langanhaltend und reichen von einem Nebelnässen bis hin zu akzentuierten Starkregenereignissen.

#### 4.3.3.2 Rekonstruktion des Paläoklimas in der Cadena Volcánica

Es sind riss- und würmzeitliche Moräne in Kolumbien nachgewiesen. Die weitesten Gletschervorstöße werden 12.000 Jvh erreicht, daneben gibt es auch jüngere Stadien (RANGEL 2000). Pleistozäne Moränen werden bis hinab auf 3.000 m. ü. d. M. nachgewiesen (HEINE 1975, 133ff). Erst der Beginn des Holozäns geht im Untersuchungsgebiet mit einem deutlichen Temperatur- und Niederschlagsanstieg einher. Gleichzeitig schmelzen die im Pleistozän weit in die Täler bis in die Páramostufe vorgedrungenen Gletscher zurück, so dass der Páramo aus den Tallagen in die nun nicht länger eisbedeckten Gipfelbereiche aufsteigen kann. Gleichzeitig mit dem europäischen Atlantikum

herrscht 7.000 – 5.000 Jvh. auch in den nördlichen Anden ein Klimaoptimum, so dass die Páramos zwischen 7.000 und 3.000 Jvh. in größeren Höhenlagen ausgebildet waren, wie VAN DER HAMMEN und DOS SANTOS (1995) anhand von Pollenanalysen nachweisen (RANGEL 2000, 28).

3.000 Jvh. kommt es zu einer globalen Abkühlung und damit zu einem erneuten Gletschervorstoß, der schließlich in der Kleinen Eiszeit von 1700 – 1850 unserer Zeitrechnung kulminiert. In der Zentralkordillere liegt die Schneegrenzdepression bei mehreren 100 m, und reicht bis auf 4.400 m.ü.d.M. hinab (RANGEL 2000, 28).

Nach erneuter Erwärmung der Atmosphäre verlieren im Laufe des 20. Jh. zahlreiche Gipfel der Zentralkordillere ihre Gletscher, darunter auch die gesamte Cadena Volcánica de los Coconucos: Seit dem Jahr 1940 ist der Puracé eisfrei, ab 1948 der Sotará und schließlich nach 1960 der Cerro Pan de Azúcar. Heute sind die Gipfel der Coconucos lediglich temporär schneebedeckt, es bilden sich vornehmlich in den Nordostlagen so genannte „Snow-Patches“. Die klimatische Schneegrenze liegt in der Cordillera Central zwischen 4.900 und 5.000 m.ü.d.M. (RANGEL 2000).

PULGARÍN et al. (1996) untersuchen auf Basis von Luftbildern mehrerer Jahre zwischen 1961 und 1995 am Nevado del Huila das Abschmelzen der Gletscher. Sie errechnen in der Periode einen Verlust um 29,1% von 18,86 km<sup>2</sup> auf 13,39 km<sup>2</sup> (PULGARÍN et al. 1996, 450) bei einem Rückschmelzen der Gletscherzungen um bis zu 1070 m (PULGARÍN et al. 1996, 446). LINDER (1991, 74) untersucht die Gletscher der nördlich gelegenen Nevados del Ruiz wie auch der Santa Isabel. Er ermittelt folgende Werte als Gesamtflächenverlust zwischen 1959 und 1987: Ruiz: -14,5% von 20,7 auf 17,7 km<sup>2</sup> und Santa Isabel -31,6% von 9,5 auf 6,5 km<sup>2</sup>.

Die obere Verbreitungsgrenze des Superpáramo liegt damit heute bei 4.900 m.ü.d.M. (RANGEL 2000).

#### **4.3.3.3 Die heutige Lage der Vegetationshöhenstufen**

Anhand der in der Literatur gebräuchlichen Werte lassen sich aufgrund der Bodentemperaturmessungen (vgl. Tabelle 4.5 und Kapitel 4.3.3.1) die Páramostufen einordnen: der Superpáramo, die höchste Vegetationsstufe im PNN Puracé, bildet sich bei einer Durchschnittstemperatur von 0 – 6°C aus (RANGEL 2000); das heißt im Untersuchungsgebiet oberhalb von 3.700 m.ü.d.M. Es sind auch die höchsten Gipfelbereiche noch mit schütterer Vegetation bedeckt (vgl. Photo 4.2).



Photo 4.2: Die Gipfel der Cadena Volcánica de los Coconucos vom südlichen Gipfel des Puracé aus gesehen.

Im Hintergrund der Cerro Pan de Azúcar. Klar zu erkennen die auch in einer Höhe von über 4.500 m.ü.d.M. vorhandene Vegetationsbedeckung, vornehmlich bestehend aus Flechten und Moosen, wie auch vereinzelt Grashorsten (*Agrostis spec.*) siehe Vergrößerung unten links und Detailaufnahme in Photo 4.12.

Aufn. Volker Heck am 22.01.2003 in 4.550 m.ü.d.M.



Photo 4.3a: Bodenfließen am Nordhang des Kraters des Volcán Puracé.

Deutlich sind die einzelnen Vegetationsstreifen (*Agrostis spec.*) zu erkennen, die durch die solifluidalen Erscheinungen hervorgerufen werden. Daneben ist das vulkanische Auswurfmaterial, bestehend aus La-

pilli und kleineren Bomben zu sehen, die zudem durch Frostsprengung weiter zerlegt werden.



Photo 4.3b: Ausschnittsvergrößerung des Photos 4.3a  
Aufn. Volker Heck am 22.01.2003 in 4.600 m.ü.d.M.



Photo 4.4: Frostsprengung im äußeren Kraterbereich des Puracé.

Diese Vulkanbombe wird durch die täglichen Frostwechsel und gleichzeitig hohen Strahlungsgenuss und damit verbundener Aufheizung der Oberfläche im Tagesverlauf physikalisch verwittert. Deutlich erkennbar sind die Sprengungen an den Schwächezonen des Gesteins. Zudem ist auch hier die für den Superpáramo charakteristische Vegetation ersichtlich: Es handelt sich vor allem um Flechten (siehe Ausschnittsvergrößerung) sowie Gräser und Moose, die vor allem nahe des Felsens wachsen, da hier gewisser Schutz vor starken Winden und höhere Temperaturen gegeben sind, auch ist die Wasserversorgung aufgrund von Tau und Verdunstungsschutz gegenüber umliegenden Bereichen besser.

Aufn. Volker Heck am 21.01.2003 in 4.600 m.ü.d.M.

Die niedrigen Bodentemperaturen deuten auf die häufigen, täglich möglichen Frostwechsel hin, gut zu erkennen an aktuellen morphologischen Prozessen, wie etwa Solifluktion und Bodenfließen (vgl. Photos 4.3a und b) sowie Kammeisbildung und Frostsprengung (vgl. Photo 4.4).

Der *Páramo propiamente dicho* („im eigentlichen Sinne“) bildet sich im Höhenintervall von 3.400 – 3.700 m.ü.d.M. bei Jahresdurchschnittstemperaturwerten zwischen 6 und 8°C aus (DUQUE und RANGEL 1989). Es handelt sich ebenfalls um eine in der letzten Eiszeit gletscherbedeckte Stufe. Insgesamt ist das Witterungsgeschehen hier ein wenig gedämpfter, wenngleich immer noch Frostwechsel auftreten (RANGEL und GARZÓN 1995). In Strahlungs Nächten und an klaren Tagen können große Unterschiede zwischen Tag und Nacht auftreten, ähnlich der Situation, die RUTHSATZ in der Trockenen Puna nachweist (1977, 23).

Die sich darunter anschließende Vegetationshöhenstufe wird gebildet vom Subpáramo, der ein Teil des hochmontanen Bergwaldes ist. Um die klassische Dreiteilung des Páramo aber auch hier zu wahren, sei das Höhenintervall für den Subpáramo wiederum durch Korrelation der Bodentemperaturmessungen und den in der Literatur angegebenen Werten (Jahresdurchschnittstemperatur 12°C) verschnitten (vgl. Tabelle 4.5). Demnach erstreckt sich im Untersuchungsgebiet der Subpáramo von 2.900 – 3.400 m.ü.d.M (vgl. Kapitel 4.3.3.1) (RANGEL 2000).

Mit dem Abschmelzen der Gletscher in den Inneren Tropen steigt die Periglazialstufe in die ehemals von den Gletschern bedeckten Bereiche auf. Es kommt so zu einer in größere Höhen über dem Meer gerichteten Verlagerung des Superpáramo. Nach RANGEL (2000, 35) ist zudem mit dem Ansteigen der Jahresdurchschnittstemperaturen ein Aufstieg der tieferen Vegetationshöhenstufen (Páramo im eigentlichen Sinne und Subpáramo, wie auch der verschiedenen Waldstufen) zu erwarten.

#### **4.4 Die Piloträume in der Cadena Volcánica**

Während des Geländeaufenthaltes war es nicht möglich, den gesamten PNN Puracé geoökologisch zu untersuchen. Deshalb wurde eine Methodik entwickelt, nach der durch Zusammenführung von exemplarischen Geländearbeiten und Fernerkundungstechniken



(vgl. Kapitel 3.1 und 5.2) eine Charakterisierung des nördlichen Teils des Nationalparks und seines Umlands erreicht werden konnte. Ziel war die Entwicklung eines Methodenschlüssels zur Erfassung und Bewertung hochmontaner Ökosysteme in den Nordanden durch Integration von Feldarbeiten in Pilotgebieten mit Fernerkundungsanwendung, um so einen möglichen Standard für künftige geoökologische Studien zu setzen (vgl. Kapitel 5.2.1ff).

Analog zur Fragestellung der gesamten Arbeit wurden die Untersuchungen innerhalb der Choren San Rafael und Pilimbalá in typischen Geoökotopen durchgeführt: Es wurde jeweils eine Vegetationsanalyse nach Dominanzen erarbeitet und die Böden wurden hinsichtlich physischer und chemischer Parameter analysiert. Hinzu kommt die Kartierung der Morphologie im Gelände und die Ableitung von Geländeparametern (Bruchkanten, Gräben etc.) aus den Orthophotos und Digitalen Geländemodellen (vgl. Kapitel 3.1.3.1f).

#### **4.4.1 Administrative und siedlungsgeographische Grundlagen**

Administrativ gehören die beiden Untersuchungsgebiete zum *Corregimiento Puracé* des Municipios Puracé. Neben dieser staatlichen Hierarchisierung des Gemeindewesens besteht als weitere Säule das *Resguardo Indígena de Puracé*, welches die Bewohner über den örtlichen Indianerrat (*Cabildo de los Indígenas de Puracé*) vertritt. Alle den PNN Puracé und das restliche Gemeindegebiet betreffenden Entscheidungen müssen mit dem Cabildo abgestimmt werden, dies gilt auch für die Belange des Naturschutzes innerhalb des Schutzgebietes. Die Landzuteilung wird ebenfalls durch das Cabildo geregelt, um das verfassungsmäßige Recht der Indígena auf freie Verwaltung innerhalb des Resguardos zu wahren (U.A.E.S.P.N.N. 1999b und 2001a).

Somit sind weder im Sektor Pilimbalá noch in San Rafael trotz deren Lage innerhalb des PNN Puracé und der daraus folgenden staatlichen Gesetzeskraft, die Besitzverhältnisse sowie die Frage der Bewirtschaftung geklärt: In dem Teil des Parks erheben acht Personen aus einer zur Gruppe der Coconuco gehörenden Indígena-Kommunität Gebietsansprüche auf insgesamt 50 ha Land. Zwar sind keine Hütten vorhanden, dennoch behalten sie sich vor, auf ihrem Besitz zu jagen, zu fischen (vgl. Photo 5.4) und Weidewirtschaft zu betreiben. Es werden bis heute Teile des Páramo gebrannt (vgl. Photo 4.5) um die Beweidung zu erleichtern (BEDENO 2004).



Photo 4.5: Brennen des Páramo.

Aus Tradition werden zur Verbesserung der Beweidungsmöglichkeit durch Rinder auch innerhalb des PNN Puracé Flächen in Brand gesetzt: Die Grashorste werden gebrannt, weil die wieder austreibenden frischen Gräser vom Weidevieh besser verdaut werden können als die über Jahre am Standort vertrockneten Halme und damit schneller angenommen werden. Im Hintergrund der Gipfel des Puracé mit der charakteristischen Fumarole.

Aufn. Volker Heck am 14.02.2003 in 4.100 m.ü.d.M.

Noch weniger eindeutig stellt sich die Situation um die Besitzverhältnisse im Sektor Pilimbalá dar. Auch hier sind die Indígena im Besitz des Landes. Anders als in San Rafael ist die Besiedlung durch die Coconucos hier gebietsweise permanent. Insgesamt haben 26 Familien Besitz in diesem Teil des PNN. Die Gemeinde Puracé rechnet mit durchschnittlich fünf Personen pro Familie, die vornehmlich Weidewirtschaft betreiben. Lediglich fünf der 26 Familien sind im Park sesshaft und bauen hochandine Feldfrüchte, wie Kartoffeln, Zwiebeln und Kräuter an. Wie auch in San Rafael wird bis weit oberhalb der Ackerbaugrenze gebrannt, nur zum Teil werden die gebrannten Felder zum Anbau von Futtergras genutzt. Neben der permanenten Nutzung durch ca. 180 Personen wird von weiteren 2000 Indígenas Holz aus den Schluchtwäldern für den Eigengebrauch geschlagen (BEDENO 2004).

Die örtliche Bevölkerung profitiert zur Zeit noch wenig bis gar nicht vom Fremdenverkehr, obwohl der PNN Puracé als wichtiges Fremdenverkehrsziel im Südwesten Kolumbiens nahe der ebenfalls aus touristischen und religiösen Gründen bedeutenden Stadt Popayán gilt. Aufgrund der innenpolitischen Situation Kolumbiens kommen verglichen mit den Hochgebirgsregionen benachbarter Andenstaaten nur wenige Besucher in die Cadena Volcánica de los Coconucos: In Pilimbalá werden jährlich 5.000, davon 25% als Ökotouristen geltende Ausländer gezählt (MUNICIPIO DE PURACÉ und COCONUCO 2002). Sie kommen vornehmlich herauf, um den Puracé zu besteigen. Das schlechter erschlossene San Rafael besuchen 1.000 Fremde, wovon lediglich 5% Ausländer sind (BEDENO 2004).

#### **4.4.2 San Rafael**

Der Sektor San Rafael liegt im Norden des Vulkans Puracé in einem Gebirgssattel zwischen der Cadena Volcánica im Süden und dem sich im Norden anschließenden Massiv des Nevado del Huila. Der Sattel bildet zudem einen weiten Pass über die Zentralkordillere, der von einer Hauptverbindungsstraße zwischen den Departamentos Cauca (Popayán) und Huila (La Plata) durchquert wird (vgl. Abbildung 4.6). Die Höhendifferenzen innerhalb des Untersuchungsraumes beschränken sich auf 100 m, absolut liegen die Höhen zwischen 3.350 und 3.450 m.ü.d.M.

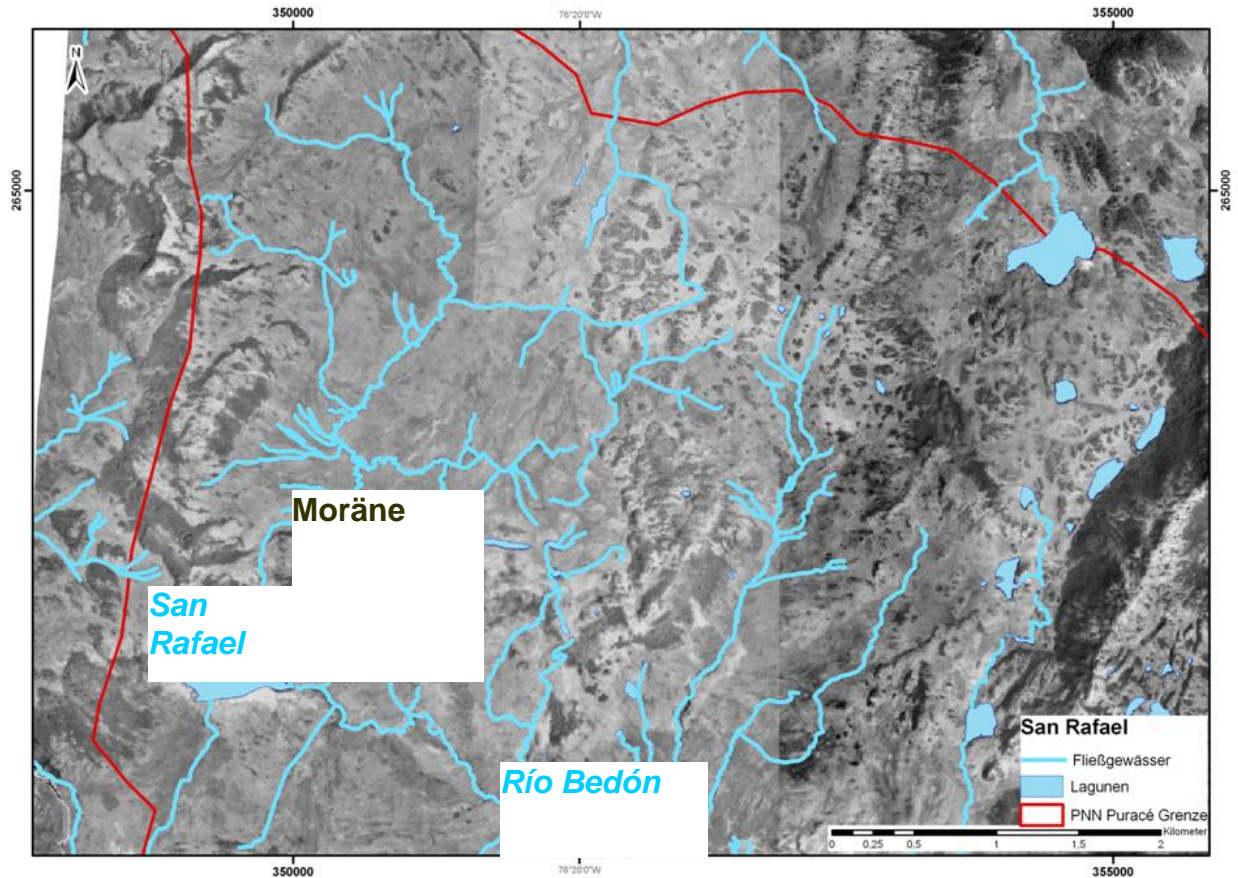


Abbildung 4.16: Orthophoto des Untersuchungsgebiets San Rafael. Dargestellt sind die Lagunen und Fließgewässer in der Chore (vgl. Kapitel 2.2, insbes. Tabelle 2.1), daneben die Grenze des PNN Puracé. Zu erkennen ist das unausgeglichene Gewässernetz und die relative Ebenheit des Reliefs. Die das Untersuchungsgebiet begrenzenden Höhenzüge im Osten und Westen sind bewaldet. Eigene Kartierung und Darstellung auf der Grundlage von Luftbildern aus den Jahren 1989 und 1991.

Morphologisch handelt es sich um eine von tertiären und quartären Vulkaniten und Aschen gebildete und im Pleistozän glazial überprägte Senkenzone. In ihr entspringen die Hauptfluter Río Bedón, nach Osten in den Río Magdalena entwässernd, und Río San Francisco, der nach Westen in den Río Cauca fließt. Durch die geringen Niveauunterschiede (vgl. Abbildung 4.17f) sind die Fließgeschwindigkeiten sehr niedrig und aufgrund der starken zum Teil sehr ergiebigen Niederschläge bei gleichzeitig geringer Sonnenstundenzahl (MUNICIPIO DE PURACÉ und Coconuco 2002) und niedrigen Temperaturen (vgl. Kapitel 4.3.3.1 und Abbildung 4.15 sowie Tabelle 4.5) kommt es zu Vermoorung oder zumindest staunassen Böden.



Photo 4.6: Blick von einer im Norden gelegenen Endmoräne auf die 26,5 ha große Laguna San Rafael und die im Hintergrund liegende, wolkenverhangene Cadena Volcánica de los Coconucos.

Auffallend ist die im Bereich des Passes dominierende Ebenheit und die damit einhergehende Vermooring. Lediglich die steileren Hänge sind wegen fehlender Staunässe von Bäumen und Sträuchern bestanden.

Aufn. Volker Heck am 06.11.2002 in 3.425 m.ü.d.M.

Die Gliederung des Raumes wird durch die unterschiedlichen pleistozänen Moränenvorstöße, kleinere Quellen, die den Ríos Bedón und San Francisco tributären Bäche sowie die Restwasserseen hervorgerufen. Dazwischen liegen weite staunasse oder vermoorte Bereiche. Die größte der Lagunen im Untersuchungsgebiet ist die namensgebende Laguna San Rafael mit einer Größe von 26,5 ha (vgl. Abbildung 4.16 und Photo 4.6).

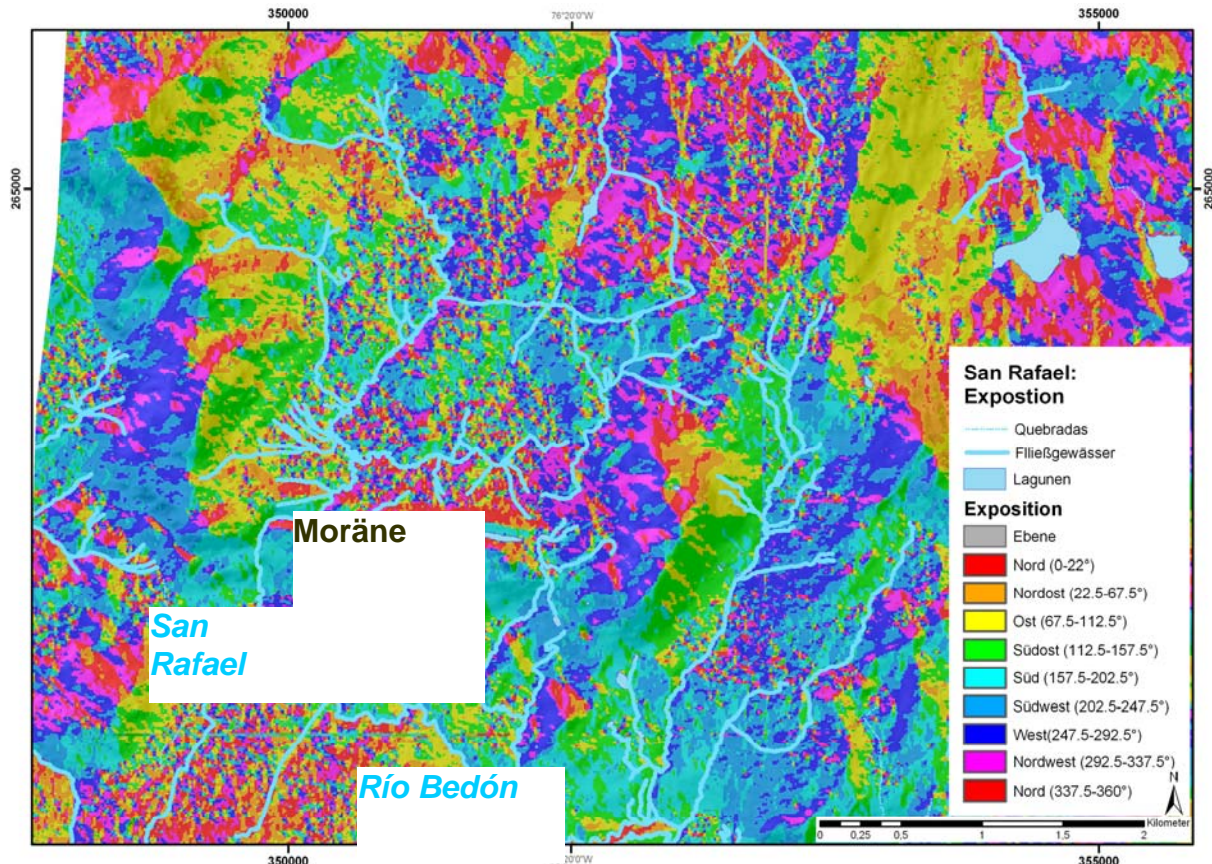


Abbildung 4.17: Expositionskarte des Untersuchungsgebietes San Rafael. Eigene Kartierung und Darstellung auf der Grundlage von Luftbildern aus den Jahren 1989 und 1991

Die Lagune selber entwässert in Richtung Osten über den Río Bedón und bildet das Zentrum der größten Verebnung. Die große Reliefenergie zum Vorfluter (Río Magdalena) hin bewirkt aber schon nach wenigen Kilometern Fließstrecke ein starkes Einschneiden des Río Bedón (vgl. Abbildung 4.17, 4.18 und 4.19). Die Hangneigungen sind sehr gering. Im Bereich der Seen sind vermoorte Flachbereiche vorhanden, wohingegen einzelne Hügel herausragen, in denen dann auch das anstehende Gestein herauspräpariert ist. Sie weisen selten Neigungen von über 20° auf. Die Hauptexposition ist Süd im Norden des Río Bedón und Nord in dessen Süden. Weiter im Norden treten die den Raum nach Westen und Osten begrenzenden nord-süd-streichenden Gebirgszüge hinzu. In diesen Riedeln der Randbereiche sind die Hänge hauptsächlich ost- und westexponiert, so dass das Arbeitsgebiet meridional begrenzt wird (vgl. Abbildung 4.18).

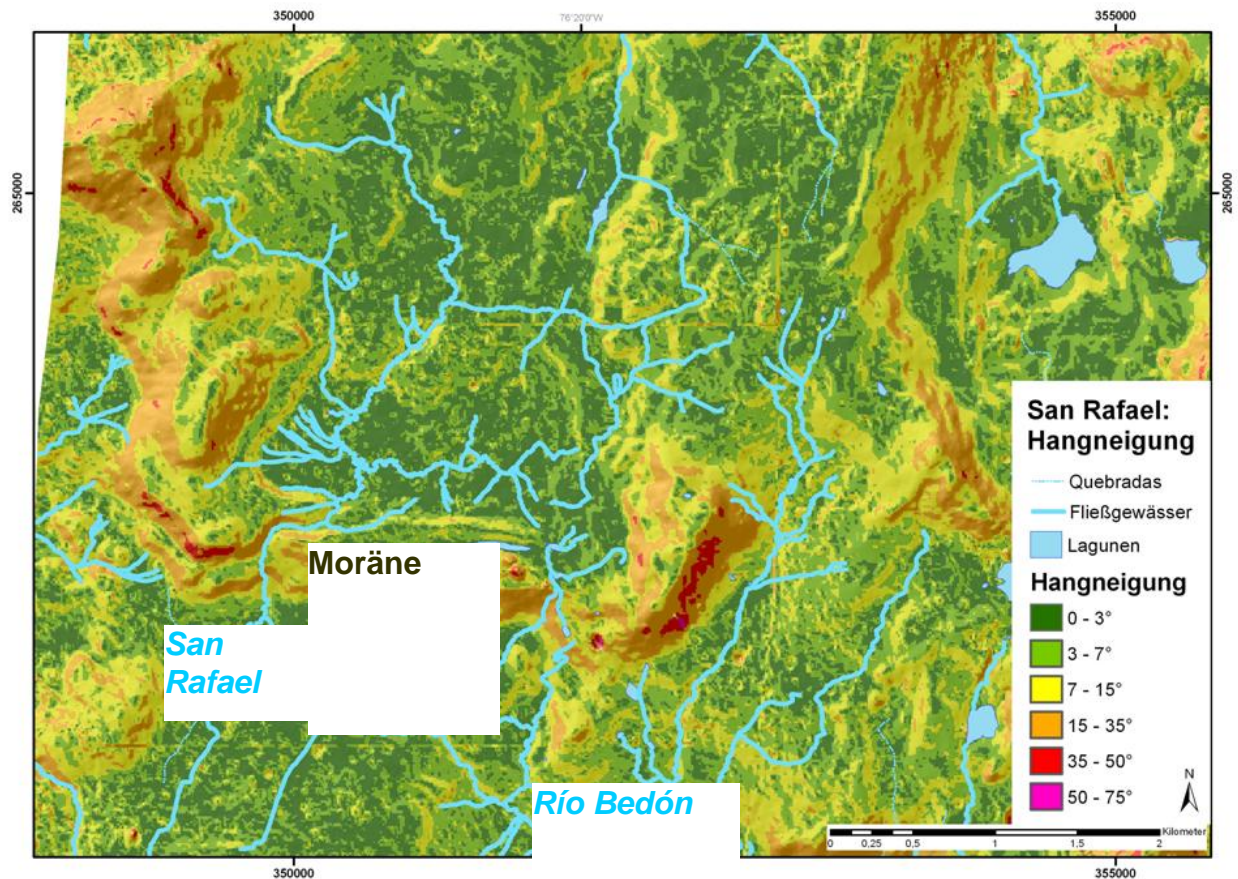


Abbildung 4.18: Hangneigungskarte des Untersuchungsgebietes San Rafael. Eigene Kartierung und Darstellung auf der Grundlage von Luftbildern aus den Jahren 1989 und 1991.

Im Norden der Laguna San Rafael erstreckt sich ein weitestgehend geschlossener Moränenzug (FLÓREZ 1983), der das nächst höher gelegene Niveau von dem Becken der Laguna San Rafael trennt. Die Beschaffenheit des Areals gleicht dem des südlich anschließenden Raumes, die Entwässerung findet über die Laguna San Rafael oder den Río Bedón nach Osten hin statt. Es treten in diesem zentralen Bereich der Verebnung keine großen Reliefunterschiede auf, allerdings sind nach Westen und Osten Höhenzüge vorgelagert, deren Hänge Steilheiten von z.T. 35° und mehr aufweisen (vgl. Abbildung 4.18).

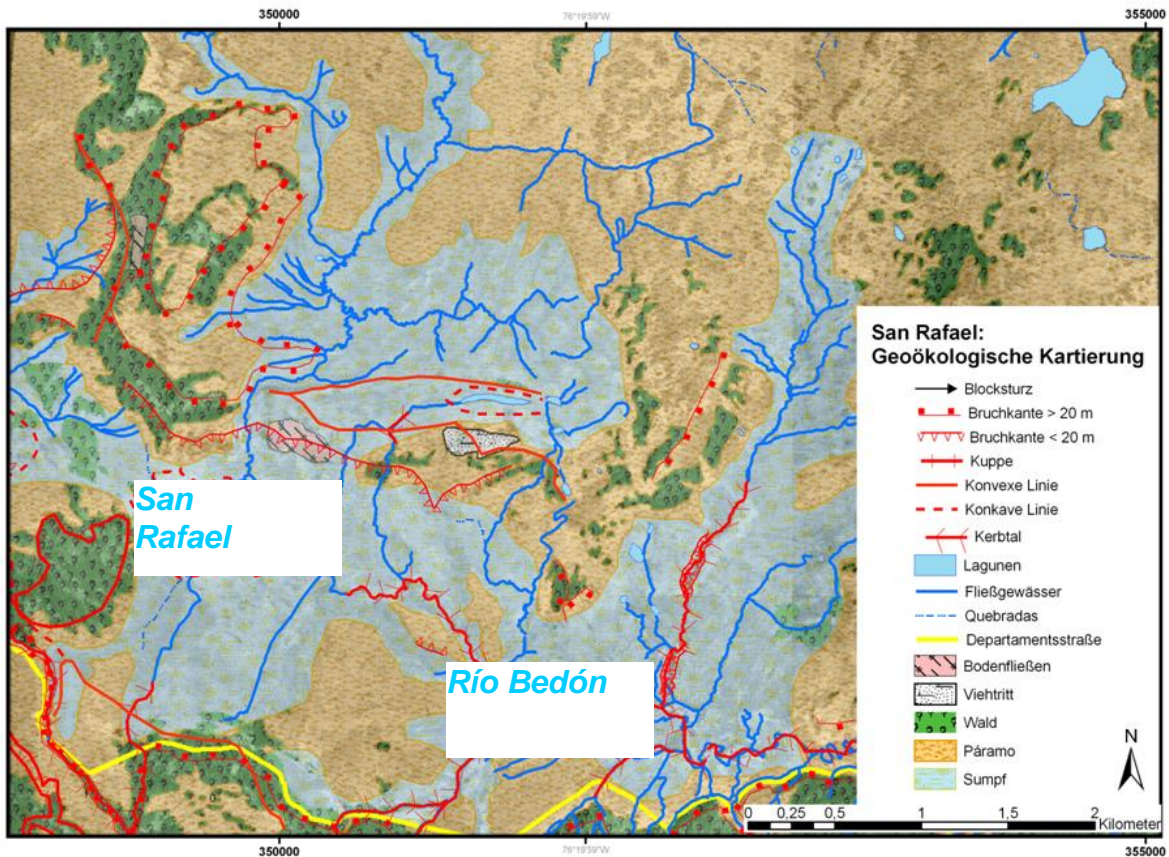


Abbildung 4.19: Geoökologische Kartierung des Untersuchungsgebietes San Rafael. Gemäß den Vorgaben der LE sind die Reliefparameter rot dargestellt und das Gewässernetz in Blautönen.

Eigene Kartierung und Darstellung auf der Grundlage von Luftbildern aus den Jahren 1989 und 1991.

In den Bereichen mit der größeren Steilheit und der daraus resultierenden Lage über dem Grundwasserspiegel kann eine Bodenbildung stattfinden. Die Bodenbildung ist abhängig von Grad der Vernässung. In den trockeneren Bereichen handelt es sich um Andosole mit einer mächtigen Humusaufgabe. Der Bodentyp ist der des Inceptisols oder Rankers. Die stärker vernässten Bereiche in den Ebenen und nahe den Lagunen und Fließgewässer sind Hydrandepts, wasserbeeinflusste Rohböden (vgl. z.T. Anhang A 5 und A 6, Bodenprofile, III 1 und III 3).

DUQUE und RANGEL veröffentlichten im Jahr 1989 Ihre Vegetationsstudien im PNN Puracé. Sie bezeichnen die Assoziation der ebenen und feuchten Standorte des Sektors San Rafael als *Calamagrostio-Espeleton hartwegiana*. Die stärker inklinierten oder von Felsen durchsetzten Areale ordnen sie hingegen der hochandinen Stufe zu: Die hier



stockenden Gehölze werden als *Weinmannia brachystachyae-Miconia cuneifoliae* zusammengefasst (DUQUE und RANGEL 1989, 79, ferner Tabelle A 8).

Die trockeneren Standorte sind von Strauchpáramo bewachsen, wohingegen in den flacheren Zonen der Graspáramo stockt. Im Einzelnen setzt sich die Vegetation in den beiden Vegetationsgesellschaften wie folgt zusammen.

In den Auenbereichen der Fließgewässer und nahe den Lagunen ist Grasland mit Frailejones (*Espeletia spec.*) ausgebildet, die Höhen von über 2 m erreichen. Die namensgebenden Pflanzen innerhalb dieser Gesellschaft sind *Espeletia hartwegiana centroandina* für die Strauchschicht und *Calamagrostis effusa* für die Grasschicht. Neben den beiden Charakterarten treten *Pentacalia vaccinioides*, *Hypericum lancioides* und *Blechnum loxense* in der Strauchschicht und *Cortaderia sericantha* mit *Cerastium subspicatum* in der Grasschicht sowie diverse *Sphagnum*-Arten auf.

Die gemeinhin als die „typische“ bezeichnete Páramogesellschaft (Páramo im eigentlichen Sinne) (DUQUE und RANGEL 1989 sowie RANGEL und GARZÓN 1995) ist im Untersuchungsgebiet auf die feuchten bis staunassen Standorte (in der Karte als Sumpf ausgewiesen) beschränkt, wie durch das gleichzeitige Auftreten der *Sphagnum*-Moose deutlich wird. In den besser drainierten Bereichen und an Hängen sind hochandine Waldgesellschaften ausgebildet (vgl. Photo 4.7):



Photo 4.7: Blick von Westen über die Laguna Larga im Sektor San Rafael.

Es handelt sich bei der Aufnahme um einen typischen Standort dieses Untersuchungsgebietes. Die unmittelbare Nähe zu den Lagunen kennzeichnen diverse Gräser und Sphagnum-Moose. Auch die Ebenen sind sehr feucht, so dass sich hier die Espeletien durchsetzen können. Auf den Hängen stocken häufig Restwälder.

Aufn. Volker Heck am 15.01.2003 in 3.430 m.ü.d.M.

Der hochandine Wald wird vornehmlich aus *Weinmannia mariquitae* und *Miconia cuneifolia* gebildet. Diese Baumarten erreichen Höhen von bis zu 12 m. Daneben treten auch *Miconia puracensis*, *Gynoxys tolimensis* und *Diplostegium bicolor* auf. Die Strauchschicht wird zumeist von denselben Arten gebildet, die dann auch basale Verzweigungen aufweisen. Ein Zeichen der hohen Niederschläge, die häufig als Nebelnässen vorkommen, ist das Auftreten von Epiphyten, beispielsweise *Rubus lechleri*, *Peperomia jamesoniana* und *Brachyomidium spec.* Auch in den von verholzenden Pflanzen bestandenen Bereichen ist die Grasschicht, die wiederum von *Calamagrostis effusa* und *Calamagrostis macrophylla* gebildet wird, vorhanden (zum Vergleich das folgende Photo 4.8).



Photo 4.8: Ausschnitt aus dem hochandinen Wald im Untersuchungsgebiet San Rafael. Neben *Weinmannia* deutet der hohe Strauchreichtum und der dichte Unterwuchs auf den großen Strahlungsgenuss auch am Boden hin, der durch die Lage am Hang bedingt ist. Zeichen für hohe Niederschläge sind die auftretenden Epiphyten.

Aufn. Volker Heck am 22.12.2002 in 3.425 m.ü.d.M.

### 4.4.3 Pilimbalá und Nordflanke der Cadena Volcánica

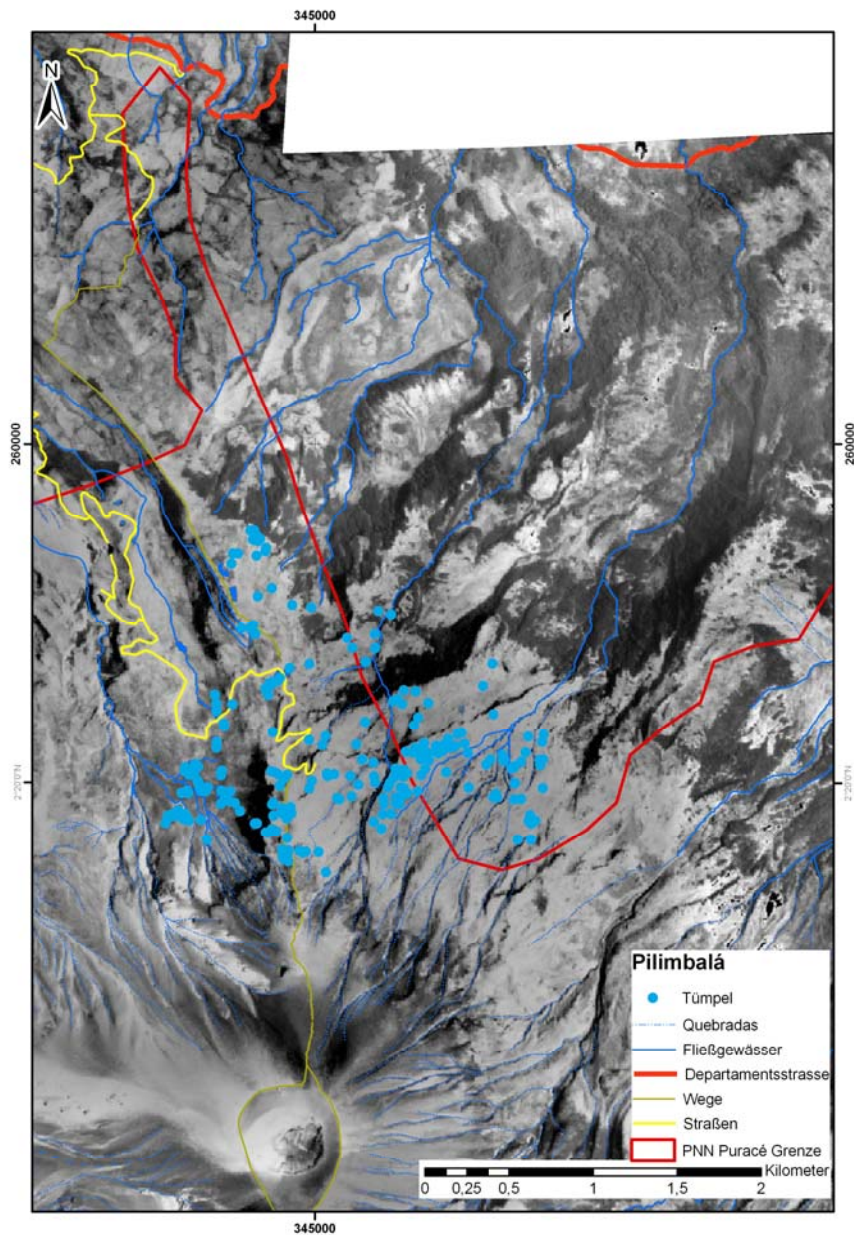


Abbildung 4.20: Orthophoto des Untersuchungsgebiets Pilimbalá. Dargestellt sind die Fließgewässer, Quebradas und Tümpel in dem Geoökotopgefüge (vgl. Kapitel 2.2, insbes. Tabelle 2.1) daneben die Grenze des PNN Puracé, wie auch das Straßen- und Wegenetz. Im Süden liegt der Vulkan Puracé mit dem von ihm radial ausgehende Gewässernetz. Nach Norden schließt sich das eigentliche Untersuchungsgebiet an, das von der Departamentsstraße begrenzt wird. Eigene Kartierung und Darstellung auf der Grundlage von Luftbildern aus den Jahren 1989 und 1991.

Entgegen dem relativ planen Untersuchungsgebiet San Rafael auf der Passhöhe der Zentralkordillere mit seinen unterschiedlichen Expositionen und nur geringen Differenzen hinsichtlich der Höhenlage ist im zweiten Geoökotopgefüge die gesamte Vegetationshöhenstufenabfolge von den Restwäldern und dem Strauchpáramo bis hin zum periglazial beeinflussten Superpáramo im Gipfelbereich vertreten (vgl. Abbildung 4.23 und Photo 5.1). Der Sektor Pilimbalá erstreckt sich von der Abzweigung hinauf zur Schwefelmine südlich der Verbindungsstraße von Popayán im Caucaatal in das Depto. Huila im Magdalenatal. Die geringste Höhe innerhalb des Untersuchungsgebietes liegt bei 3.150 m.ü.d.M., die höchsten Erhebungen bilden die Gipfel der Cadena Volcánica de los Coconucos mit über 4.600 m.ü.d.M.



Photo 4.9: Blick nach Nordosten von der Nordflanke des Vulkan Puracé auf den Sektor Pilimbalá. Die Aufnahme entstand in der Páramostufe, deutlich anhand der Dominanz von Gräsern und Polsterpflanzen zu erkennen. Im Bildmittelgrund sind die für die Landwirtschaft gerodeten Areale innerhalb der Subpáramostufe ersichtlich. Darüber der sich nördlich anschließende Sektor San Rafael mit der dominierenden Lagune. Auch hier wiederum gut zu erkennen: Die relative Ebenheit dieser Chore (vgl. Kapitel 2.2, insbes. Tabelle 2.1) im Vergleich zur Nordflanke der Cadena Volcánica de los Coconucos. Aufn. Volker Heck am 14.02.2003 in 3.950 m.ü.d.M.

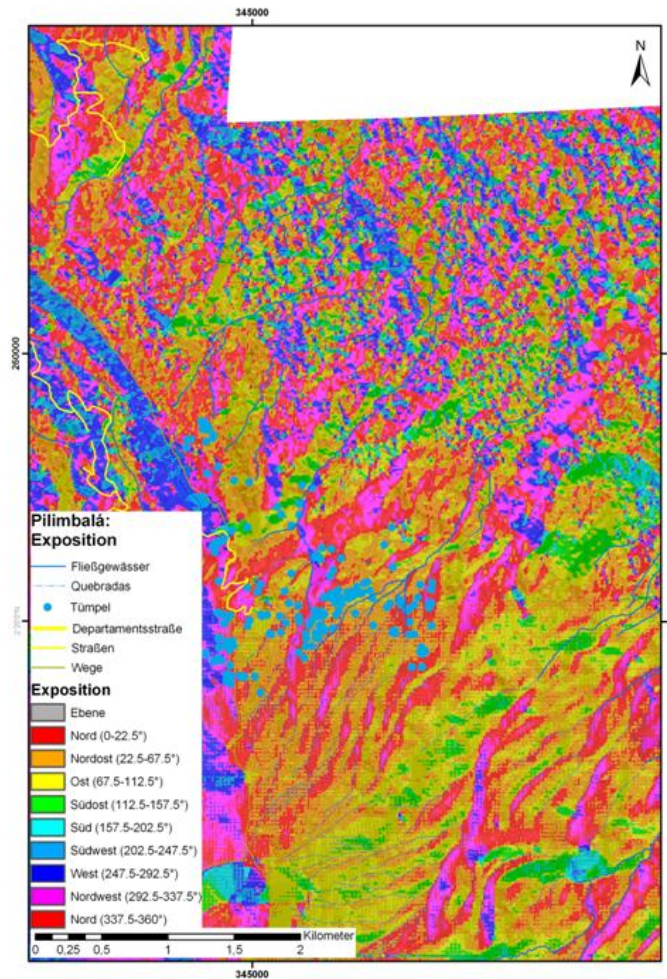


Abbildung 4.21: Expositionskarte des Untersuchungsgebietes Pilimbalá.  
Eigene Kartierung und Darstellung auf der Grundlage von Luftbildern aus den Jahren 1989 und 1991.

Der niedriger gelegene nördlich vorgelagerte Pass mit der Departamentsstraße und die im Süden gelegene Cadena Volcánica de los Coconucos bedingen die Hauptexposition des Untersuchungsgebietes nach Norden. Ausgehend vom Kraterrand des Volcán Puracé fällt das Relief bis zu den Ríos San Francisco, Vinagre und Bedón ab. Rund um den Krater haben die einzelnen Quellbäche in zunächst nur nach Starkregenereignissen wasserführenden Quebradas ihren Ursprung (vgl. Abbildung 4.20 und 4.23).

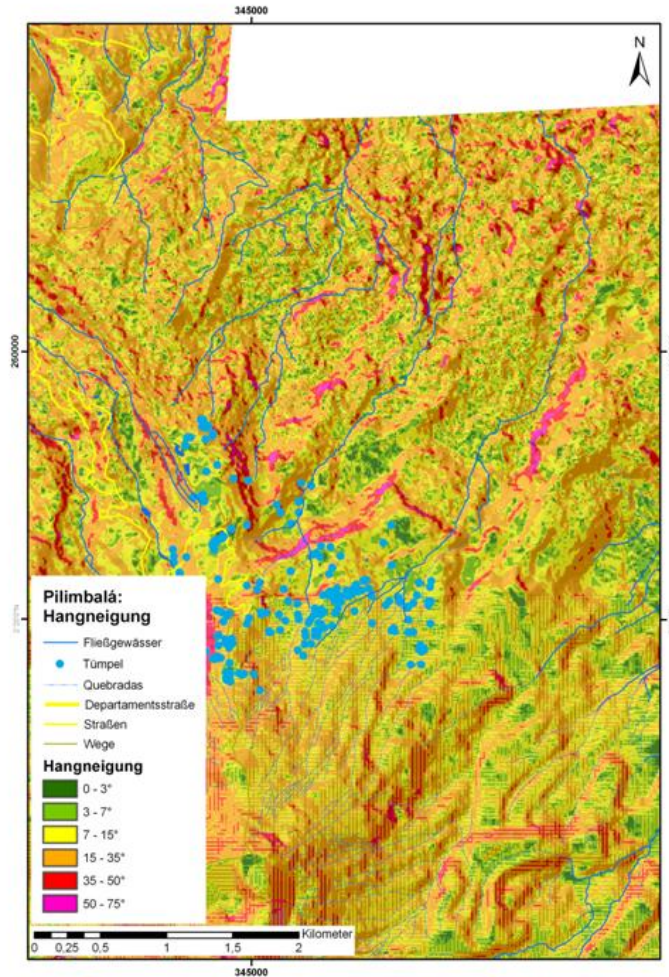


Abbildung 4.22: Hangneigungskarte des Untersuchungsgebietes Pilimbalá.

Quelle: Eigene Untersuchungen, eigene Darstellung auf der Grundlage von Luftbildern aus den Jahren 1989 und 1991.

Die Nordflanke der Cadena Volcánica de los Coconucos wird von Tälern gegliedert. Sie haben ihren Ursprung rund um den Krater des Puracé, so dass in Pilimbalá eine süd-nördliche Orientierung vorhanden ist. Eine Modifikation ergibt sich nach Nordwesten zum Caucatal hin. Hier sind die Riedel Südost-Nordwest orientiert, wohingegen die Streichrichtung im Nordosten Südwest-Nordost ist. Zur Hauptexposition treten daher östliche Richtungen auf der magdalena-wärtigen Seite und westliche auf der cauca-wärtigen Seite hinzu. Die Hänge sind nicht übermäßig stark inkliniert (in der Regel unter 35°), es gibt allerdings zwei Stufen innerhalb des Geländes: Zum einen in einer Höhe von ungefähr 4.000 m.ü.d.M. in nordwestlicher Richtung direkt an der Nordflanke des Puracé, zum anderen bei ca. 3.700 m.ü.d.M. nach Nordostenweisend. Die Bereiche sind von morphologisch widerständigen Gesteinen geprägt. Sie trennen jeweils zwei re-

lativ flache Areale voneinander, die aufgrund der geringen Steilheit staunass sind und damit innerhalb des Untersuchungsraumes Pilimbalá Sonderstandorte darstellen: Sie entsprechen weitestgehend der Chore San Rafael (vgl. Abbildung 4.21, 4.22 und 4.23, daneben Photos 4.9 und 4.10).

Durch die physikalischen Verwitterungsprozesse und ausgelöst von den immer wieder auftretenden leichten Beben, kommt es in den Steilstufen wie auch in den Vulkankratern zu Blockstürzen und Rutschungen (vgl. Abbildung 4.23).



Photo 4.10: Die Nordflanke des Puracé mit Blick auf das Untersuchungsgebiet Pilimbalá. Im Bildmittelgrund ist die Páramostufe zu erkennen. Mit dem Anstieg in der Höhe von ca. 4.200 m.ü.d.M. im Vordergrund ist die Grenze zum Superpáramo erreicht. Pilimbalá ist gegliedert durch radial vom Vulkan Puracé ausgehende Quebradas und Täler, die bis in große Höhen als Gunsträume vegetationsbedeckt sind. Im Hintergrund der schneebedeckte Nevado del Huila und die Laguna San Rafael am rechten Bildrand.

Aufn. Volker Heck am 23.01.2003 in 4.250 m.ü.d.M.



In der gesamten Periglazialstufe herrschen morphodynamische Solifluktionerscheinungen vor, die in erster Linie in den nordexponierten Teilen der Krater verstärkt auftreten (vgl. Photo 4.3 und Abbildung 4.23).

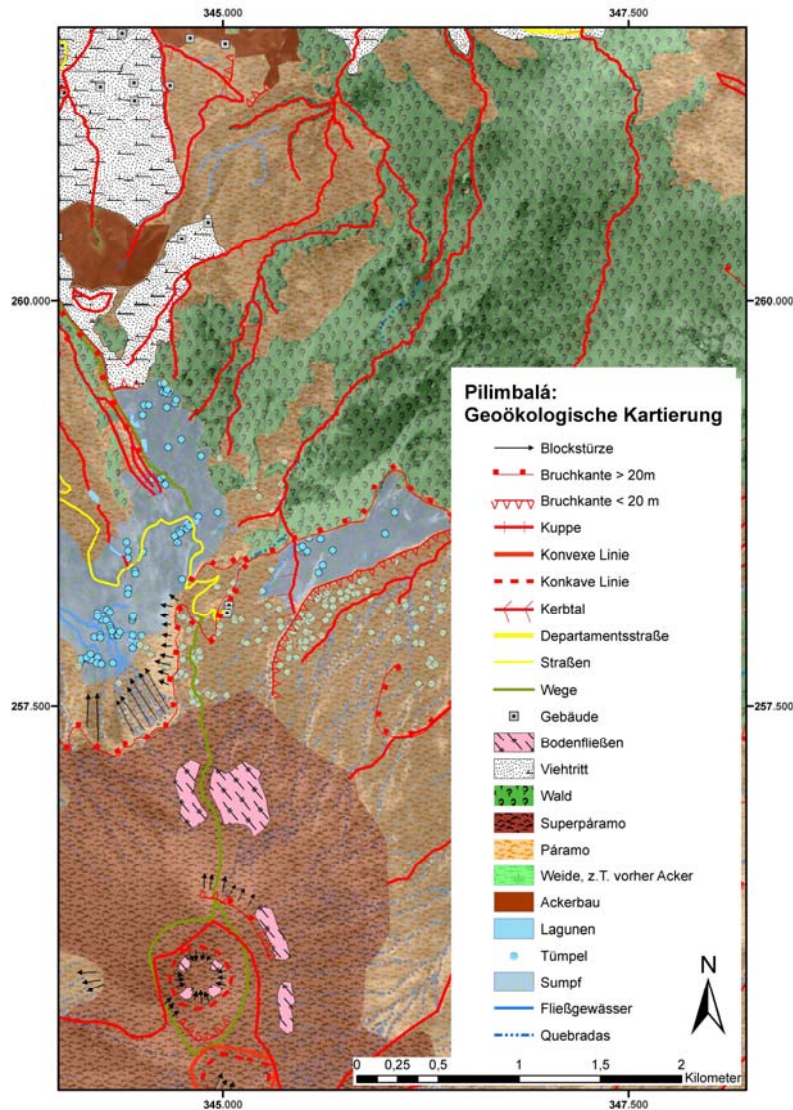


Abbildung 4.23: Geoökologische Kartierung des Untersuchungsgebietes Pilimbalá. Gemäß den Vorgaben der LE sind die Reliefparameter rot dargestellt, das Gewässernetz in Blautönen. Quelle: Eigene Untersuchungen, eigene Darstellung auf der Grundlage von Luftbildern aus den Jahren 1989 und 1991.

Es handelt sich um den Raum, der in Teilen bereits von RANGEL und LOZANO (1986), RANGEL und DUQUE (1989) sowie RANGEL und GARZÓN (1995) vegetationskundlich untersucht worden ist. Die Arbeiten wurden von Osten her im Aufstieg vom Magdalenatal durchgeführt, so dass die hier vorliegende Arbeit im Norden und Westen weitere Geoto-

pe erschließt. Sie konnten aufgrund der langen Untersuchungszeit kartiert und damit nach Vegetationszusammensetzung (Dominanzen) und morphologischen Merkmalen ausgewiesen werden (vgl. Kapitel 3.2.3). Ein Teil der Flanke hinauf zum Krater des Puracé ist bis heute vermint, daher wurden diese Gebiete auf Basis der erstellten Orthophotos kartiert und die Verfahren zur geoökologischen Erfassung tropischer Hochgebirgsräume (vgl. Kapitel 5.2) im Gelände erarbeitet. Zur Verifizierung der Analysen in der Chore wurden im Osten, Süden und Westen des Puracé-Kraters stichpunktartig Kontrollen durchgeführt.

Der Raum eignet sich besonders für die Geländearbeiten, da auf kürzester Horizontalstrecke die unterschiedlichen Vegetationshöhenstufen der drei Páramos untersucht werden konnten. Aufgrund der Hauptexposition nach Norden herrschen innerhalb des Gebietes ähnliche Strahlungsverhältnisse und die Differenzierung der einzelnen Geoökotope ist lediglich auf Reliefunterschiede, Gestein und schließlich die Landnutzung zurückzuführen.



Photo 4.11: Komposite zweier Aufnahmen, die den Norden des Untersuchungsraumes Pilimbalá zeigt. Hier ist das Nebeneinander aufgegebener Felder (links) mit initialer Vegetationssukzession, Brachen (links des Weges) und der noch genutzten Äcker (Mitte), hier eine zur Kartoffelaussaat vorbereitete Parzelle, zu erkennen. Im Hintergrund der Krater des Vulkan Puracé. Im Vordergrund die Horste der *Calamagrostis effusa*. Die Vegetation auf den aufgegebenen Parzellen setzt sich aus Frailejones (*Espeletia spec.*) und Farnen (*Blechnum loxense*) zusammen. Aufn. Volker Heck am 23.01.2003 in 3.750 m.ü.d.M.

Im Einzelnen besteht die Geochore Pilimbalá aus folgenden kleineren Geoökotopgefügen:

Südlich der Departamentsstraße beginnt der Subpáramo. Er umfasst die niedrig gelegenen Bereiche und zieht sich innerhalb der Quebradas in Ausnahmefällen bis auf 3.450 m.ü.d.M. hinauf. Das bedingt der Schutz vor Wind und den daraus resultierenden höheren Temperaturen in diesen Rachein.

Im Übergangsbereich zwischen dem Strauch- und dem eigentlichen Páramo wird von den ansässigen Campesinos Landwirtschaft betrieben. Es sind einige Parzellen angelegt, in denen Kartoffeln und Zwiebeln angebaut werden, wenige Bauern schalten neben den Hauptkulturen Kohl zwischen. Die kleinen Felder beschränken sich fast ausschließlich auf die Riedel und die stark hanggeneigten Bereiche.

Die flacheren Abschnitte sind stark vernässt, hier lassen sich – auch wieder abhängig von der Meereshöhe und dem Vernässungsgrad - unterschiedliche Gesellschaften der typischen Páramovegetation mit den Frailejones (*Espeletia spec.*), verschiedenen Gräsern (*Calamagrostis spec.*, *Agrostis spec.*) und Puyas (*Puya spec.*), ausgliedern. Dieses Mosaik zieht sich bis in etwa 3.900 m.ü.d.M. hinauf. Dort treten die Espeletien mehr und mehr hinter die Gräser zurück und bis in 4.100 m.ü.d.M. gewinnen die Lupinen (*Lupinus microphyllus* und *Lupinus spec.*) die Oberhand. Das Wachstum der Lupinen endet bei 4.200 m.ü.d.M. Höhe schlagartig, darüber sind nur noch Poa-Gräser wuchsfähig, die in Gesellschaft von Flechten und Moosen bis hinauf in die Kraterregionen des Puracé und der anderen Gipfel der Coconucos vorkommen. Ein Grund liegt in den in kürzeren Abständen auftretenden Frostwechseltagen mit der einhergehenden Solifluktion und anderen frostdynamischen Prozessen im Boden.

Im Einzelnen sind in der Geochore Pilimbalá von der Straße Popayán – La Plata im Norden bis hinauf zum Krater des Vulkan Puracé folgende Vegetationsformationen zu unterscheiden:

Die Vegetationszusammensetzung in den Quebradas südlich der Departamentsstraße ist identisch mit den Vorkommen in den Hangbereichen des Sektors San Rafael. Unterschiede ergeben sich erst mit zunehmender Höhe bis hinauf in die Superpáramos in den Gipfelbereiche der Cadena Volcánica de los Coconucos.



Photo 4.12: Krater der Cadena Volcánica de los Coconucos vom östlichen Kraterrand des Puracé. Das Photo zeigt die Coconucos von Norden bis zum höchsten Berg, dem Pan de Azúcar. Bis in die höchsten Lagen sind die Krater vegetationsbedeckt. Es handelt sich vornehmlich um *Agrostis spec.* mit den vergesellschafteten Flechten und Moosen.  
Aufn. Volker Heck am 22.01.2003 in 4.600 m.ü.d.M.

Heute ist die Cadena mit Vegetation bedeckt (vgl. die Photos 4.2 und 4.12). Dies unterscheidet die im Rahmen der vorliegenden Arbeit gesammelten Ergebnisse von denen vorangegangener Studien: So schreiben RANGEL und LOZANO, dass zwischen 4.250 und 4.350 m.ü.d.M. keine Vegetation auftritt, die ebenen Kraterbereiche aber wieder bewachsen sind (RANGEL und LOZANO 1986, 508). Bei der Untersuchung zeigt sich diese vegetationslose Stufe nicht mehr, es handelt sich allerdings um Einzelpflanzen von Flechten und Moosen, wie auch *Agrostis*-Individuen, welche auch die am höchsten aufsteigende Vegetationseinheit bilden.

Absteigend von der Cadena tritt ab ca. 4.200 m.ü.d.M. *Lasiocephalus puracensis* mit *Senecio canescens* und *Racomitrium crispulum* hinzu. Sie leitet über zur die größten

Höhen besiedelnden geschlossenen Vegetationseinheit, bestehend aus *Valeriana microphylla* und *Lupinus microphyllus*, in unter 4.100 m.ü.d.M. (*Lupino alopecuroidis-Valerianetum microphyllae*) Neben den beiden dominanten Pflanzenarten sind *Agrostis spec.* und *Lachemilla spec.* bedeutend.

Darunter treten erste Polsterpflanzen auf, zum Beispiel *Werneria humilis*, *Distichia muscoidis* und *Azorella aretioidis*. Dominant bleiben aber *Agrostis spec.* und *Valeriana microphylla*. Erste Individuen von *Calamagrostis effusa* treten hinzu. Die relative Dominanz der Lupinen verschwindet unter 4.000 m.ü.d.M. schnell.

Es vollzieht sich der Übergang vom Superpáramo zum Páramo, der bis in Höhen von 4.000 m.ü.d.M. auftritt:

Bis hinunter in etwa 3.700 m.ü.d.M. dominieren Gräser der Gattungen *Calamagrostis* und *Agrostis*. Neben *Espeletia hartwegiana centroandina* (bis ca. 3.850 m.ü.d.M.) kommen einzelne Sträucher *Gynoxys lehmannii* und *Pentacalia vernicosa* vor. Auffallend ist zudem das Auftreten bedornter Puyas (*Puya spec.*) in den vernässten Standorten, häufig in Gesellschaft mit *Werneria humilis*.

Schließlich handelt es sich in den tiefen Lagen des Páramo im eigentlichen Sinne, also zwischen 3.700 und 3.400 m.ü.d.M. um Frailejones, die aus *Espeletia hartwegiana centroandina* und einem Unterwuchs aus *Calamagrostis effusa* und *C. macrophylla* bestehen.

Wie schon in der Vegetationsbetrachtung des Untersuchungsgebietes San Rafael, so sind auch für die Chore Pilimbalá aus den oben geschilderten Pflanzengesellschaften mehrere Gruppen auszugliedern, die durch die hier zugrunde liegende Analyse nach dominanten Arten modifiziert werden:

Die Talbereiche nahe der Departamentsstraße bis in ca. 3.400 m.ü.d.M. werden als *Weinmannio brachystachyae-Micontietum cuneifoliae* zusammengefasst. Weiterhin werden die höher gelegenen Bereiche von 3.400 bis 4.400 m.ü.d.M. von DUQUE und RANGEL als *Oritrophio-Distichion muscoidis* angesprochen (1989, 79). Im Gegensatz zu den beiden Autoren sind aber die flachen Areale zwischen 3.600 und 3.800 m.ü.d.M. wiederum als *Calamagrostio-Espeletion hartwegianae*, also dem Sektor San Rafael entsprechend, zu bezeichnen (vgl. Tabelle A 8). Abweichend von DUQUE und RANGEL legt die aktuelle Vegetationsanalyse die Ansprache der Superpáramos als *Lachemillo pecti-*

*natae-Loricarietum colombianae* aufgrund der veränderten Vegetationszusammensetzung nahe (vgl. Tabelle A 7 und A 8).

Abweichend von der Betrachtung der Morphologie und Vegetation in den untersuchten Choren erfolgte die Bearbeitung der Böden in Abhängigkeit der Höhenlage. Daher wurden auch Standorte gewählt, die außerhalb der Untersuchungsgebiete Pilimbalá und San Rafael liegen.

#### **4.5 Bodensequenzen**

Die Bodenbildungsprozesse in den kolumbianischen Anden sind von der andauernden Andenhebung und dem rezenten Vulkanismus geprägt. So bilden die vulkanischen Aschen, Pyroklastika und Laven fast immer das Ausgangssubstrat zur Bodenbildung (JENNY 1948).

Es konnten in den physiognomisch auszuweisenden Höhenstufen Superpáramo, Páramo, und Subpáramo insgesamt 13 Bodenprofile aufgenommen werden (vgl. Abbildung 4.24). Hieraus wurden die Idealprofile mit den Bezeichnungen III 3, III 2 und IV 1 ausgewählt. Diese wurden in Höhenlagen von 4.210, 3.660 und 2.870 m.ü.d.M. aufgeschlossen und beprobt. Sie repräsentieren die Bodenverhältnisse in den Mittelhangbereichen der oben genannten Vegetationseinheiten. Alle Bodenprofile weisen eine Nordexposition auf. Bei der Auswahl der Standorte wurde darauf geachtet, dass es sich grundsätzlich um Grasgesellschaften handelte. Somit ist der Einfluss auf den Boden durch unterschiedliche Vegetationszusammensetzungen möglichst gering.

Die Grundlage für die Bodenuntersuchungen bilden die drei oben genannten Idealprofile in den dominierenden Vegetationsgesellschaften. Um vergleichbare Werte auch bei den Laboruntersuchungen zu erhalten, liegen die als ideal ausgewählten Profile im Sinne des Catena-Prinzips jeweils in Mittelhanglagen. Damit ist gewährleistet, dass die ermittelten Werte für die drei Vegetationshöhenstufen übertragbar sind, da die Bodenentwicklung von der Temperatur und der Vegetationsbedeckung abhängt. Schließlich ist der Boden die Ernährungsgrundlage für die Pflanzen. Die Genese der Böden im Untersuchungsgebiet ist in den Mittelhängen identisch: Es handelt sich in allen Fällen um vulkanische Aschen (vgl. Kapitel 4.1.2.2 und Abbildung 4.3).

Die zusätzlich zu den Leitprofilen aufgenommenen Profile dienen der Kontrolle und umfassen zudem Sonderstandorte. Von diesen weiteren Profilen sind Proben aus einzelnen Horizonten (vgl. Kapitel 3.2.4) im Labor untersucht worden (vgl. Abbildung 4.24 und Anhang). Sie wurden jeweils der Mitte des anzusprechenden Horizonts entnommen. Die Mächtigkeit des Horizonts lässt allerdings keine Aussage über die Höhe einer Ascheschicht nach der Eruption des Puracé zu. Die Aktivität des Vulkans ist in den letzten 230 Jahren gut dokumentiert (vgl. Kapitel 4.3.2 und Tabelle 4.3). Es ist anzunehmen, dass sie auch vor Beginn dieser Aufzeichnungen ähnlich hoch war. Die Bodenentwicklung resultiert demnach nicht aus einem Einzelereignis, vielmehr entwickelten sich die Horizonte aus mehreren Ascheschichten.

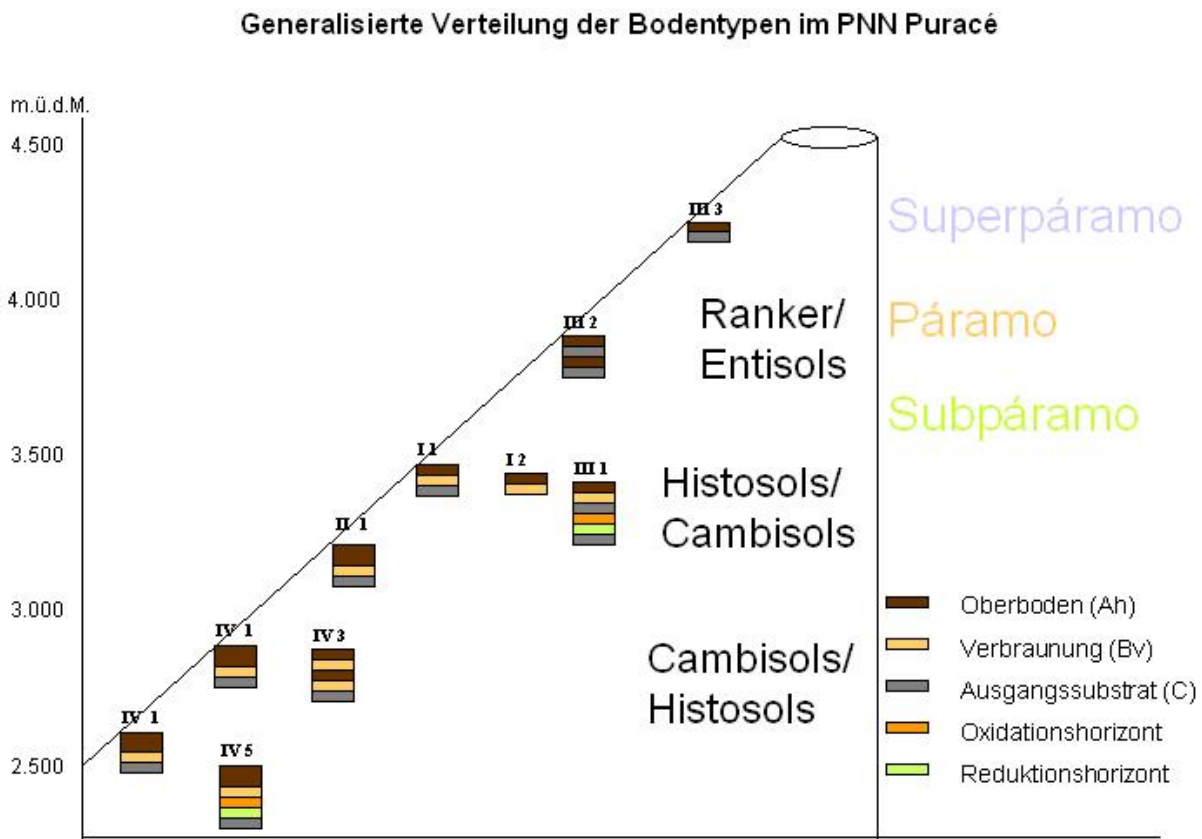


Abbildung 4.24: Generalisierte Verteilung der aufgenommenen Bodentypen in den verschiedenen Höhenstufen des PNN Puracé.

Aufgetragen ist neben der Lage über dem Meer des untersuchten Bodenprofils auch die Bezeichnung der jeweiligen Probe.

Quelle: Eigene Untersuchungen und Darstellung.

Neben den Profilen wurden an allen Kartierstandorten bei ausreichend tiefen Böden

Pürckhauereinschläge vorgenommen. Damit ist sichergestellt, dass es sich bei den aufgenommenen Idealprofilen um die für die jeweilige Stufe charakteristischen Bodentypen handelt (AEPPLI und SCHÖNHALS 1975).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten Bodenproben an unterschiedlichen repräsentativen Standorten innerhalb der jeweiligen Vegetationshöhenstufen im Norden des PNN Puracé untersucht werden. Vorangehende Studien (u.a. RANGEL und LOZANO 1986, DUQUE und RANGEL 1989 sowie RANGEL und GARZÓN 1995) konzentrierten sich bei ihren Untersuchungen mehr auf die Vegetation der Ostabdachung der Zentralkordillere. Sie gehen nur kurz auf generelle Eigenschaften der Böden ein, so dass nun erstmals der Westen hinunter zur Departamentshauptstadt Popayán vegetations- und bodenkundlich erfasst ist (vgl. Kapitel 3.2.4 für die Labormethodik und 3.2.3 und 4.4):

#### **4.5.1 Bodenprofil III 3**

Das Bodenprofil III 3 (vgl. Abbildung A 7) repräsentiert in einer Höhe von 4.210 m.ü.d.M. die größte Meereshöhe und damit einen typischen in der Superpáramostufe auftretenden Boden. Es ist zugleich die größte Höhe, in der flächenhaft auch in Mittelhanglagen Bodenbildung stattfindet. Es handelt sich somit um die größte Höhe über dem Meeresspiegel, in der hinsichtlich der Untersuchungskriterien noch die Aufnahme eines geringmächtigen Bodenprofils im Untersuchungsgebiet möglich ist. Die sehr niedrigen Jahresdurchschnittstemperaturen von ca. 1°C (vgl. Tabelle 4.5 und Abbildung 4.11 und 4.12) bedingen das spärliche Pflanzenwachstum und die äußerst langsame Umsetzung der organischen Substanz. Das Profil wurde auf der Nordflanke des Volcán Puracé, ca. 200 Höhenmeter oberhalb der Polizeistation in unmittelbarer Nähe des Seismographen von INGEOMINAS aufgenommen. Zwar sind bis in etwa 4.650 m.ü.d.M., also die Gipfelbereiche der Cadena Volcánica de los Coconucos, einhergehend mit der schütterten Vegetationsbedeckung (vgl. Kapitel 4.4.3). Es sind fleckenhaft diskontinuierliche Bodenbildungsprozesse zu beobachten. Die hieraus resultierenden Horizonte, insbesondere der A-Horizont mit unter 3 cm Mächtigkeit, sind äußerst gering entwickelt. Im Rahmen der Untersuchungen wird daher auf ein Pedon aus 4.210 m.ü.d.M. zurückgegriffen. In dieser Höhenstufe sind kontinuierliche Böden im eigentlichen Sinne vorhanden. Das Profil gliedert sich wie folgt gliedert (vgl. Tabelle 4.6):



Tabelle 4.6: Gliederung Bodenprofil III 3:

Tiefe unter GOF in cm	Horizontbezeichnung
0 – 5	A <sub>h</sub>
6 – 15	C

Quelle: Eigene Untersuchungen.

Es handelt sich hierbei demnach um einen Ranker nach der deutschen Ansprache, nach der US Soil Taxonomy um einen Entisol.

Die chemischen Untersuchungen zeigen einen sehr niedrigen pH-Wert an, der von 5,4 im Oberboden noch auf 5,1 im Unterboden leicht absinkt. Die relativ hohen Säuregehalte der vulkanischen Böden zeichnen alle im Untersuchungsgebiet analysierten Proben aus.

Die ermittelten Werte für den Kohlenstoffanteil und die organische Substanz zeigen deutlich die in dieser Höhenstufe der unteren Tierra helada beginnende Bodenbildung: Die Farbunterschiede im Profil, die im Gelände eine Unterteilung des Profils zu einem A/C-Boden rechtfertigen, geben die Laboruntersuchungen nicht wieder: Die Gehalte an Kohlenstoff unterscheiden sich nicht signifikant zwischen A- und C-Horizont.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen aber die deutlich herabgesetzte biologische Aktivität aufgrund der niedrigen Temperaturen, wie auch die nur langsame Besiedlung der jungen vulkanischen Aschen nach einem Ausbruch in großen Höhen. Auf die Vulkantätigkeit muss auch der relativ hohe Gehalt an Natrium zurückgeführt werden. Dieser liegt in den beiden untersuchten Horizonten bei 1,1 und 1,4 ppm, nimmt also im Ausgangsgestein noch zu. Die anderen austauschbaren Kationen ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) sind nur in Spuren oder gar nicht enthalten (vgl. Tabelle 4.7 und Abbildung 4.25).

Tabelle 4.7: Bodenchemische Untersuchungsergebnisse III 3

Ort	Puracé Estación Ingeominas	
Höhe	4.210 m.ü.d.M.	
Probe	III 3	
Horizont	A <sub>h</sub>	C
Tiefe unter GOF in cm	0 – 5	5 – 15
pH	5,440	5,050
Kohlenstoff (%)	0,232	0,170
Org. Mat.	0,400	0,300
Feuchte (%)	0,200	1,110
Stickstoff (%Ntotal)	0,130	0,080
Kalium (meq K/100g)	0,000	0,020
Calcium (meq Ca/100g)	0,036	0,060
Magnesium (meq Mg/1g)	0,000	0,000
Natrium ppm	1,150	1,390

Quelle: Untersuchungen GEA der Universität Cauca.

### Puracé, Station Ingeominas

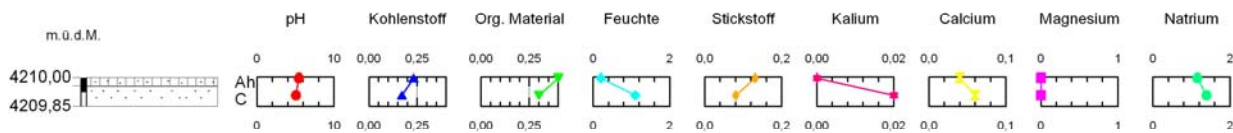


Abbildung 4.25: Graphische Darstellung der Laborergebnisse des Bodenprofils III 3.

Quelle: Untersuchungen GEA der Universität Cauca, eigene Darstellung.

#### 4.5.2 Bodenprofil III 2

Das Profil III 2 (vgl. Abbildung A 6) ist wegen seiner großen Horizontmächtigkeiten mit mächtigem A<sub>h</sub>-Horizont typisch für die vulkanisch geprägte Páramostufe (vgl. RANGEL 2000 und VAN DER HAMMEN und DOS SANTOS 1995 sowie IGAC 1982 und 1980). Der hier wiedergegebene Boden ist in 3.660 m.ü.d.M. ca. 100 Höhenmeter oberhalb der Schwefelmine (vgl. Abbildung 1.1) aufgenommen worden. Es handelt sich aufgrund der Horizontabfolge und den Ergebnissen aus dem Labor wiederum um einen Rohboden (US Soil Taxonomy: Entisol; Ranker) und damit um den typischen Vertreter auf Mittelhängen dieser Höhenstufe.

Die guten Aufschlussverhältnisse am Standort machen es möglich, auch die unter dem rezenten Boden liegenden Horizonte zu erfassen. Die Interpretation der Abfolge A<sub>h</sub> - C1

–  $fA_{h1}$  – C2 –  $fA_{h2}$  – C3 $fG_{o/r}$  –  $fA_{h3}$  - Cf $G_o$  ergibt somit einen Ranker auf einem fossilen Ranker, der wiederum einem Ranker-Gley aufliegt. Der nach unten als letzter Boden erfasste Gley–Ranker ist in der Entwicklung am weitesten fortgeschritten, hier ist deutlich der Oxidationshorizont ohne gleichzeitige Reduktionsspuren zu erkennen. Nach der FAO-Klassifikation handelt es sich um einen Ranker-Ranker-Ranker/Gleysol-Gleysol/Ranker.

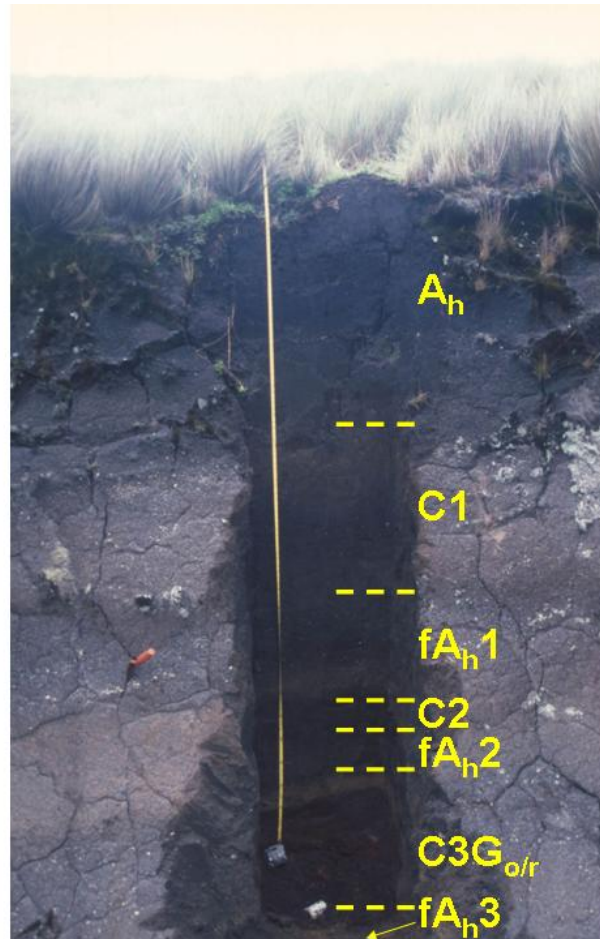


Photo 4.13: Bodenprofil III 2 (Laguna Mina).

Das mächtige Profil steht stellvertretend für den Páramo im eigentlichen Sinne. Die Nähe zum tätigen Vulkan Puracé wird durch die vielen Ascheschichten deutlich. Folgen die einzelnen Eruptionen zeitlich nicht sehr eng aufeinander, kann immer wieder eine Bodenentwicklung erfolgen. Sie wird durch erneute Vulkanausbrüche gestoppt, so dass in diesem Profil mehrere fossile Böden unter dem Rezenten vorhanden sind (vgl. Photo 4.13).

Aufn. Volker Heck am 08.01.2003 in 3.660 m.ü.d.M.

Die verschiedenen Bodenbildungen innerhalb des Profils deuten auf die Vulkantätigkeit innerhalb der Cadena Volcánica de los Coconucos hin, die immer wieder neue Aschen lieferte und die Bodenbildung unterbrach, bzw. zu einer erneuten Bodenbildung in der neu entstandenen Decke führte. Die Tephraecken erreichen aufgrund der großen Nä-

he zum Vulkan und dessen häufige Ausbrüche große Mächtigkeiten, wie der nachstehenden Tabelle 4.8 zu entnehmen ist. Zudem geht wegen der niedrigen Jahresdurchschnittstemperaturen von ca. 6°C in der Höhenlage die Umsetzung organischen Materials langsam vonstatten, was zu zusätzlicher Akkumulation führt (vgl. Tabelle 4.8 und Abbildung 4.11).

Tabelle 4.8: Gliederung Bodenprofil III 2

Tiefe unter GOF in cm	Horizontbezeichnung
0 – 120	A <sub>h</sub>
120 – 200	C1
200 – 260	fA <sub>h1</sub>
260 – 280	C2
280 – 310	fA <sub>h2</sub>
310 – 360	C3fG <sub>o/r</sub>
360 – 390	fA <sub>h3</sub>
390 – 410	CfG <sub>o</sub>

Quelle: Eigene Untersuchungen.

Aufgrund der großen Mächtigkeit des A<sub>h</sub> wurde der Horizont im oberen und unteren Drittel, das heißt in 30 und 100 cm unter GOF beprobt. Wie schon das zuvor beschriebene Bodenprofil III 3 besitzt auch das besprochene Pedon sehr niedrige pH-Werte. Die hier ermittelten Werte weisen mit 4,9 im Oberboden und 5,5 im untersten untersuchten Horizont CfG<sub>o</sub> eine umgekehrte Dynamik im Vergleich zum Profil der Superpáramostufe auf. Wie für Böden der Páramostufe charakteristisch, ist auch bei dem hier vorgestellten Profil der Anteil an organischer Substanz und der Kohlenstoffgehalt in den A-Horizonten recht hoch. Die große Durchwurzelungstiefe im A<sub>h</sub>-Horizont scheint dafür verantwortlich zu zeichnen, dass die Werte in diesem bis zur zweiten Probe in 100 im Vergleich zu 30 cm unter GOF sogar noch ansteigen. Auch die tiefer liegenden fossilen A-Horizonte weisen zu den benachbarten C-Horizonten oder Tephren einen deutlich höheren Anteil an organischen Stoffen und Kohlenstoff auf. Auffallend sind die sehr hohen Werte für fA<sub>h2</sub> und fA<sub>h3</sub>, vor allem verglichen mit dem dazwischen liegenden C3G<sub>o/r</sub>. Er weist nämlich für beide Parameter lediglich ein Viertel der prozentualen Mengen der verschiedenen A-Horizonte auf.

Der Mineralisierungsgrad innerhalb des untersuchten Bodens ist sehr hoch, insbesondere die gemessenen 22 meq Ca im oberen Teil des Oberbodens erscheinen fragwürdig

(vgl. Kapitel 3.2.4), zumal sich die Werte für die anschließenden Horizonte zwischen 0,1 und 0,6 meq Ca einpendeln. Ein Erklärungsversuch ist schwierig. Neben einem Messfehler kann der hohe Calciumwert durch anthropogenen Einfluss wegen der Nähe zur Schwefelmine oder tatsächlich aktiven Vulkanismus zustande kommen.

Wie schon bei dem aus dem Superpáramo stammenden Profil III 3 sind auch bei dem hier im Páramo untersuchten Boden die Mengen an Kalium (0 - 0,1 meq) und Magnesium (<0,1 meq) äußerst gering, wobei die A-Horizonte grundsätzlich leicht erhöhte Konzentrationen im Vergleich zu den C- und Mischhorizonten haben, die allerdings auch sämtlichst im Bereich der Messtoleranz liegen (vgl. Tabelle 4.9 und Abbildung 4.26).

Schließlich korrelieren die Na- nicht mit den gemessenen pH- Werten. Dies spricht für eine Natriumquelle in der näheren Umgebung. Allerdings sind die Natriumkonzentrationen im gesamten Untersuchungsgebiet konstant relativ hoch, ebenso wie auch die Azidität der Böden.

Tabelle 4.9: Bodenchemische Untersuchungsergebnisse III 2

Ort	Laguna Mina								
Höhe	3.660 m.ü.d.M.								
Probe	III 2								
Horizont	A <sub>h</sub>	A <sub>h</sub>	C 1	fA <sub>h</sub> 1	C 2	fA <sub>h</sub> 2	C3fG <sub>o/r</sub>	fA <sub>h</sub> 3	CfG <sub>o</sub>
Tiefe unter GOF in cm	0 – 120 (30)	0 – 120 (100)	120 - 200	200 - 260	260 - 280	280 - 310	310 – 360	360 – 390	390 - 410
pH	4,920	4,970	5,050	5,330	5,360	5,360	5,450	5,470	5,510
Kohlenstoff (%)	5,280	7,630	4,800	4,910	3,660	6,940	1,640	6,010	4,810
Org. Mat.	9,100	13,200	8,270	8,470	6,320	11,900	2,840	10,400	8,300
Feuchte (%)	4,050	7,060	6,270	6,280	6,250	6,270	6,480	8,450	7,990
Stickstoff (%Ntotal)	0,900	0,840	0,710	0,450	0,390	0,770	0,320	0,580	0,450
Kalium (meq K/100g)	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Calcium (meq Ca/100g)	22,000	0,320	0,260	0,450	0,260	0,520	0,150	0,580	0,310
Magnesium (meq Mg/1g)	0,050	0,060	0,020	0,030	0,020	0,030	0,020	0,070	0,020
Natrium ppm	0,660	1,290	0,490	1,150	1,340	1,240	0,830	0,660	0,860

Quelle: Untersuchungen GEA der Universität Cauca.

Die recht hohen Werte für organische Substanz und Kohlenstoff, wie auch das C/N-Verhältnis würden bereits auf dem hier untersuchten Boden in einer Höhe von 3.660

m.ü.d.M. einen landwirtschaftlichen Anbau ermöglichen. Denkbar sind hier frostresistente Kulturen, etwa Tuberkel-Pflanzen oder verschiedene Kohlarten.

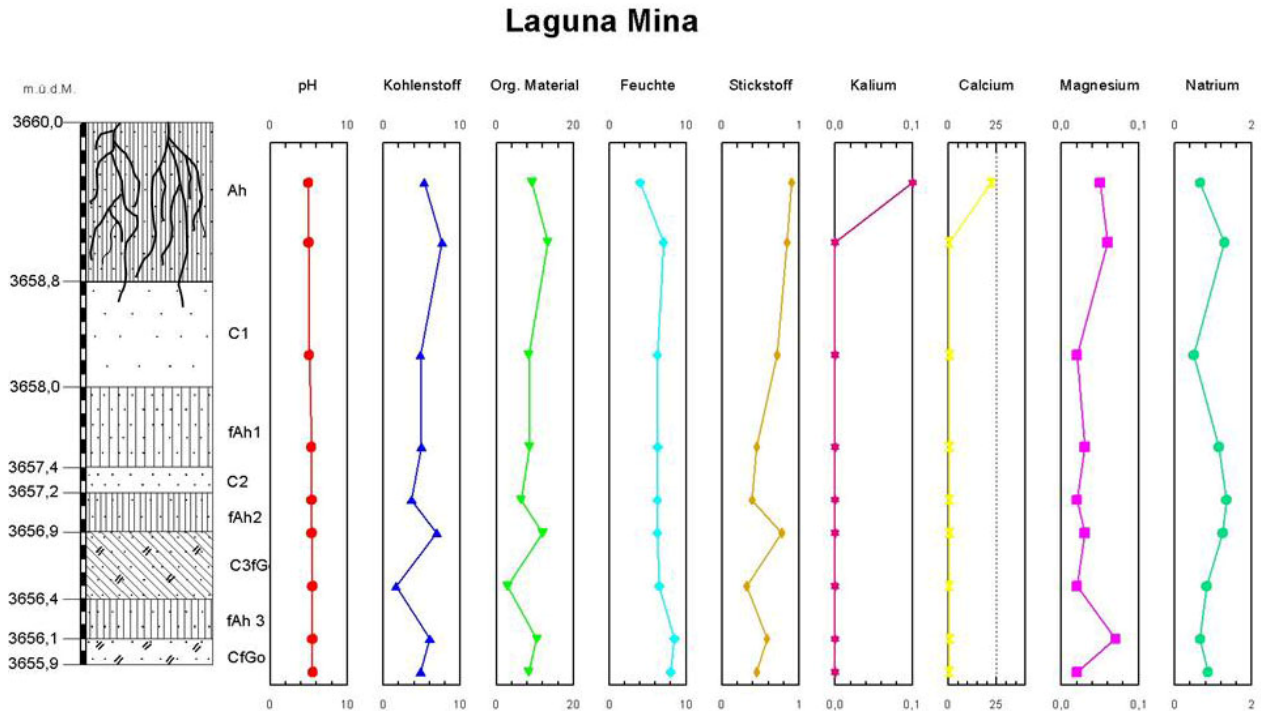


Abbildung 4.26: Graphische Darstellung der Laborergebnisse des Bodenprofils III 2. Quelle: Untersuchungen GEA der Universität Cauca, eigene Darstellung.

### 4.5.3 Bodenprofil IV 1

Das Leitprofil für die Subpáramostufe ist das hier vorgestellte Profil IV 1 (vgl. Abbildung A 8). Es wurde in einer Höhe von 2.870 m.ü.d.M. aufgenommen und weist die Horizontabfolge  $A_h - A_h B_v - B_v - C1 - CfA_h1 - fA_h1 - fB_v1 - C2$  auf. Es handelt sich somit um eine Braunerde auf einer fossilen Braunerde mit einem dazwischen liegenden Übergangshorizont. Damit ist der für diese Höhenstufe in den Inneren Tropen charakteristische Bodentyp wiedergegeben (HECK 2000, ERDMANN 1999, IGAC 1982 und 1980). Nach der Klassifikation der US Soil Taxonomy handelt es sich um zwei Cambisols (vgl. SOIL SURVEY STAFF 1996, 1998 und 1999, sowie Photo 4.14 und Tabelle 4.10). Das Profil wurde entlang der Verbindungsstraße von der Cabecera Puracé hinauf nach Pilimbalá aufgeschlossen.

Wie bereits bei der Interpretation des Profils III 2, so wurde auch hier die unten liegende Braunerde durch eine vulkanische Eruption begraben. In dem neu akkumulierten Aschepaket findet die rezente Bodenbildung statt (vgl. Tabelle 4.10).

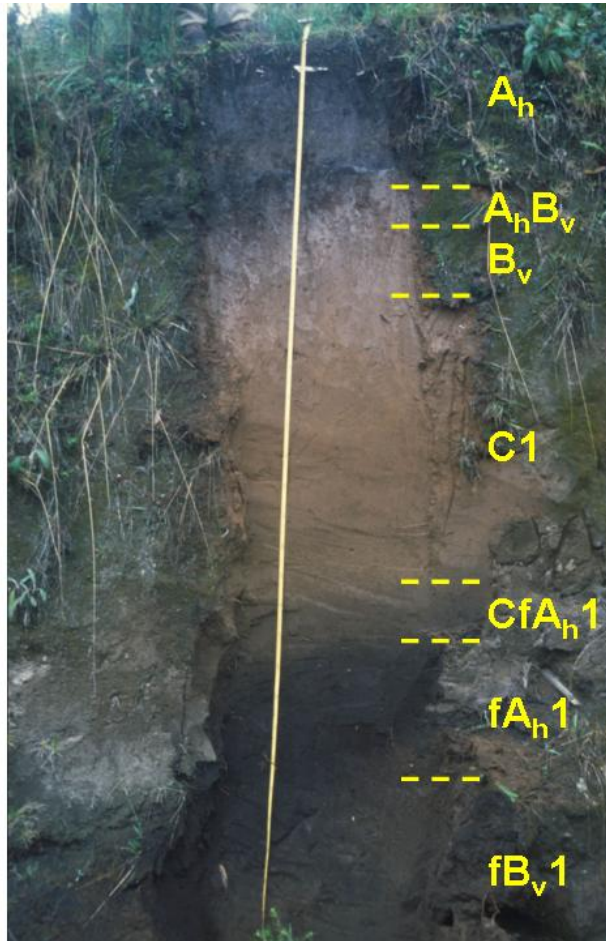


Photo 4.14: Bodenprofil IV 1 (Puracé – Pilimbalá).

Das Bodenprofil ist in der Subpáramostufe aufgeschlossen. Die Bodenentwicklung ist durch die höheren Temperaturen und die einhergehende chemikalische Verwitterung weiter fortgeschritten als in den darüber liegenden Höhenstufen. Auch hier hat ein Vulkanausbruch einen Boden begraben (unten), darüber hat sich erneut eine Bodenbildung vollzogen (vgl. Photo 4.13).

Aufn.: Volker Heck am 17.12.2002 in 2.870 m.ü.d.M.

Tabelle 4.10: Gliederung Bodenprofil IV 1

Tiefe unter GOF in cm	Horizontbezeichnung
0 – 50	A <sub>h</sub>
50 – 60	A <sub>h</sub> B <sub>v</sub>
60 – 90	B <sub>v</sub>
90 – 210	C1
210 – 240	CfA <sub>h</sub> 1
240 – 290	fA <sub>h</sub> 1
290 – 310	fB <sub>v</sub> 1
< 310	C2

Quelle: Eigene Untersuchungen.

Aufgrund der geringeren Meereshöhe und den hieraus resultierenden höheren Tempe-

raturen von durchschnittlich 12°C (vgl. Tabelle 4.5 und Abbildung 4.11) ist die Aktivität von Bodenlebewesen und damit auch die Umsetzung von organischem Material deutlich größer. Die Mineralisierungsprozesse laufen im Vergleich zu den oberen Páramostufen deutlich beschleunigt ab (RANGEL 2000). Daneben ist auch die Niederschlagssumme größer, so dass es zudem zu Auswaschung kommen kann.

Deutlich wird schon bei der Interpretation der gemessenen pH-Werte für das Bodenprofil, dass sie im leicht sauren Milieu zwischen 6,7 und 6,0 liegen. Die recht hohen Werte, nahe am neutralen Bereich stehen in Verbindung mit den auch in diesem Profil zu beobachtenden Mengen an Natrium. Wie schon bei den vorangegangenen Profilen liegen sie zwischen 0,5 und 1,3 ppm, mit tendenzieller Abnahme nach unten. Eine Ausnahme bilden die beiden unteren Horizonte des fossilen Bodens: Hier steigen die Anteile des Natriums sprunghaft von 1,2 über 3,1 auf 18,2 ppm an. Ein ähnlicher Anstieg, wenn auch in weitaus geringerer Ausprägung, ist bei allen untersuchten Bodenprofilen in größerer Tiefe zu beobachten (vgl. Tabelle 4.9). Damit scheint dieser Anstieg trotz der Schwierigkeiten bei der Interpretation der Laborergebnisse (vgl. Kapitel 3.2.4) für den Untersuchungsraum charakteristisch zu sein.

Ähnlich dem Natrium verhält es sich beim Profil IV 1 mit dem Calcium. Die Werte sind im Oberboden mit 9,7 meq sehr hoch, um dann sehr schnell über 1,9 bzw. 1,4 in den B-Horizonten abzusinken. Der niedrigste Wert wird im C1-Horizont erreicht, um daraufhin im fossilen Boden erneut stark anzusteigen und schließlich im C2 ein absolutes Maximum von 15,3 zu erreichen. Die Kurve des Magnesiums hat einen ähnlichen Verlauf, wengleich sich diese auf einem deutlich niedrigeren Niveau bewegt (vgl. Abbildung 4.26 und 4.27).

Im Vergleich zu dem aus dem Páramo stammenden Profil ist die Menge an organischer Substanz deutlich geringer. Dennoch zeigt sich der schon beim Profil III 2 zu beobachtende Effekt der tiefen Durchwurzelung und damit des Eintrags von organischem Material in der Form, dass die Volumenprozentage bis in 60 cm Tiefe von 5,0 auf 5,8 ansteigen. Analog verhält es sich bei dem Kohlenstoffanteil, der von 2,9 auf 3,3% ansteigt. Ebenfalls eine Analogie zum Páramoprofil ist in den auftretenden Maxima zu sehen: die höchsten Anteile an Kohlenstoff (4,8%) und organischer Substanz (8,3%) weist der fA<sub>n</sub>-Horizont auf, der so mit dem fA<sub>n2</sub> des Profils III 2 zu korrelieren ist. Insgesamt liegen die Anteile an Kohlenstoff und organischer Substanz niedriger als bei dem vorangegange-



nen Profil, was wiederum auf den schnelleren Stoffumsatz und die Auswaschung hindeutet.

Die gemessenen Stickstoff-Konzentrationen zeigen ein analoges Muster mit höheren Werten (0,5 - 2,6%) und einer Zunahme nach unten in den drei oberen Horizonten. Mittlere Werte (um 0,2%) herrschen in den folgenden und niedrige Prozentzahlen (< 0,2%) in den untersten Horizonten vor (vgl. Tabelle 4.10).

Schließlich ist das C/N Verhältnis innerhalb des gesamten untersuchten Profils durch den hohen Mineralisierungsgrad recht niedrig. Das beste Verhältnis weisen der fA<sub>h</sub>- und der fB<sub>v</sub>- Horizont auf, allerdings ist die gemessene Kationenaustauschkapazität für Calcium und Magnesium im gesamten Profil bei gleichzeitig hohen Natriumwerten sehr gering.

Beträchtlich sind zudem die Konzentrationen von Kalium im rezenten Boden, wohingegen die Werte in der fossilen Braunerde um mindestens die Hälfte erniedrigt sind (vgl. Tabelle 4.11 und Abbildung 4.27).

Tabelle 4.11: Bodenchemische Untersuchungsergebnisse IV 1

Ort	Puracé – Pilimbalá							
Höhe	2.870 m.ü.d.M.							
Probe	IV 1							
Horizont	A <sub>h</sub>	A <sub>h</sub> B <sub>v</sub>	B <sub>v</sub>	C1	CfA <sub>h</sub> 1	fA <sub>h</sub> 1	fB <sub>v</sub> 1	C2
Tiefe unter GOF in cm	0 – 50	50 – 60	60 - 90	90 – 210	210 – 240	240 – 290	290 – 310	< 310
pH	6,480	6,590	6,680	6,240	5,980	5,940	6,290	5,970
Kohlenstoff (%)	2,910	3,340	1,660	0,750	1,560	4,810	2,130	0,590
Org. Mat.	5,020	5,760	2,860	1,290	2,690	8,300	3,670	1,020
Feuchte (%)	8,370	7,290	7,640	4,890	5,600	6,600	6,830	6,830
Stickstoff (%Ntotal)	0,510	1,670	2,600	0,200	0,200	0,250	0,190	0,060
Kalium (meq K/100g)	2,330	3,370	3,650	0,860	0,750	0,990	0,940	1,030
Calcium (meq Ca/100g)	9,730	1,970	1,400	0,210	0,420	0,950	0,710	15,33
Magnesium (meq Mg/1g)	3,130	0,670	0,640	0,050	0,160	0,620	0,370	1,650
Natrium ppm	1,290	0,970	0,530	0,580	0,750	1,200	3,140	18,210

Quelle: Untersuchungen GEA der Universität Cauca.

### Puracé - Pilimbala

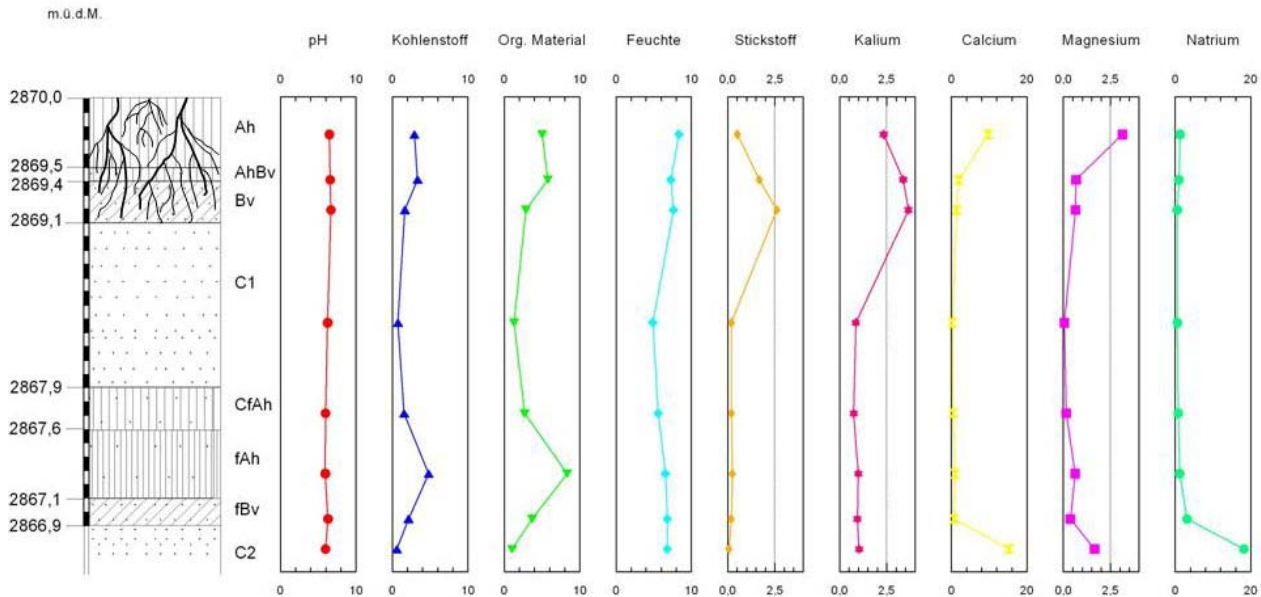


Abbildung 4.27: Graphische Darstellung der Laborergebnisse des Bodenprofils IV 1.  
Quelle: Untersuchungen GEA der Universität Cauca, eigene Darstellung.

#### 4.5.4 Interpretation der Bodenuntersuchungen

Die untersuchten Bodenprofile geben einen Einblick in die im Norden des PNN Puracé herrschenden Verhältnisse. Zusammen mit den Untersuchungen von DUQUE und RANGEL (1989), RANGEL (2000) und VAN DER HAMMEN und DOS SANTOS (1995), die vornehmlich im nördlich gelegenen Parque de los Nevados und im Ostabfall der Zentralkordillere im Departamento del Huila durchgeführt wurden, können diese zweifelsfrei in die Pedogenese der Tierra fría und Tierra helada eingeordnet werden:

Grundsätzlich handelt es sich bei den im PNN Puracé und seiner Umgebung auftretenden Böden genetisch um Andosole. Sie entstehen aus vulkanischen Aschen durch mineralische Transformation vulkanischer Gläser zu amorphen Materialien, in der Hauptsache Alophanen. Sie setzen die ohnehin aufgrund der niedrigen Temperaturen geringe bakterielle Aktivität noch weiter herab oder verhindern diese völlig. Die Folge ist eine Verminderung der Mineralisierung und damit die Akkumulation organischer Substanz im Oberboden. Es entstehen die für die Páramos charakteristischen, äußerst mächtigen  $A_h$ -Horizonte unter gleichen gegebenen Voraussetzungen, wie Andauer der Bodenbildung und Hangneigung (vgl. Profil III 2 und IV 1).

In Höhen über 4.000 m.ü.d.M. vermindern die niedrigeren Temperaturen und die stärker wirksamen periglazialen Prozesse im Verein mit der daraus resultierend schütterten Vegetation die Ablagerung von organischer Substanz. Daher sind die  $A_h$ -Horizonte weniger mächtig (vgl. Profil III 2).

Gemäß den herrschenden Temperaturverhältnissen bilden sich A/C – Böden, der deutschen Klassifikation als Ranker, hier nach der US Soil Taxonomy als Entisols bezeichnet. Beispiele für diese Bodentypen sind die Profile III 2 und III 3. Temperaturen zwischen 0 und 8°C verlangsamen bodenbildende Prozesse, die wegen der Höhe einsetzenden und zunehmenden Frostwechselhäufigkeit zudem stark von periglazialen Bedingungen mit Temperaturen um den Gefrierpunkt geprägt sind. In der US Soil Taxonomy werden solche Bodentypen mit der Vorsilbe „Cry-“ belegt (zum Beispiel Cryands). Aufgrund der niedrigen Durchschnittstemperaturen handelt es sich somit genau um Cryarthents in der Superpáramostufe. Eine genaue Bezeichnung der Böden mit ihrer Lage im Relief gibt die Abbildung 4.28.

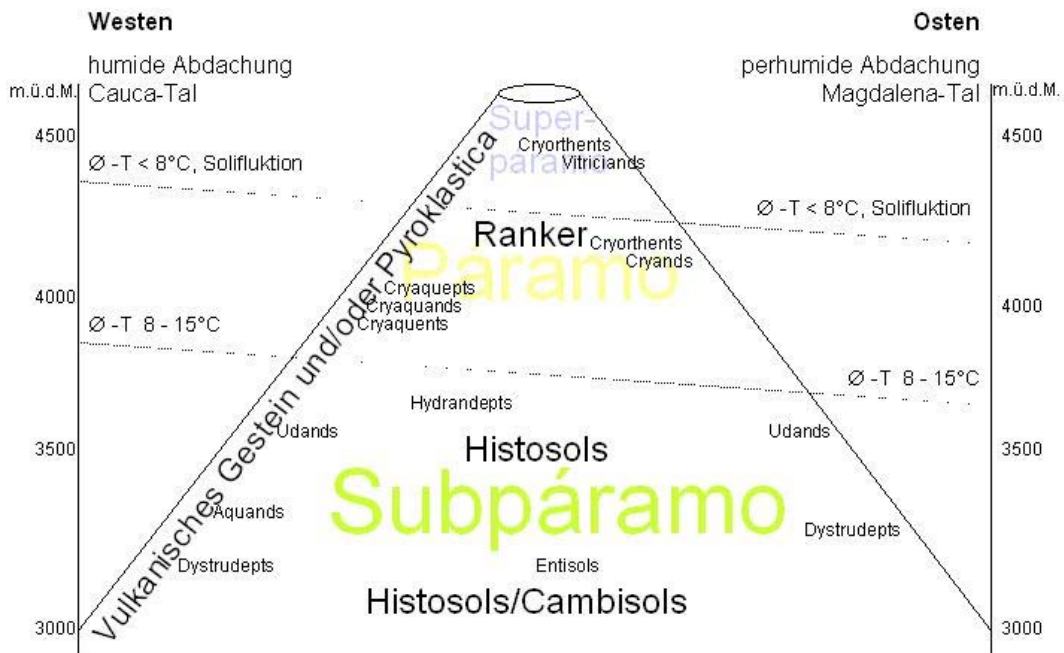


Abbildung 4.28: Lage der verschiedenen Bodentypen und Subtypen gemäß der Feuchtigkeit und Höhe im Relief nach dem in Kolumbien gebräuchlichen Standard, hier verdeutlicht anhand des Puracé.

Die Grundlage der Darstellung aus der kolumbianischen Literatur ist um eigene Ergebnisse erweitert. Quellen: IGAC 1995 und RANGEL (2000), verändert und ergänzt. Eigene Darstellung.

Die niedrigen Temperaturen führen in der Superpáramostufe dazu, dass die bodenchemikalischen Prozesse bei weitem hinter die physikalischen zurücktreten. Es kommt so auch bei langer ungestörter Bodenbildung nicht zur Ausbildung von Braunerden mit Verbraunungserscheinungen und damit der Ausprägung eines  $B_v$ -Horizonts. Allenfalls scheint durch Materialumlagerung eine Verfärbung erreicht zu werden, die wiederum die Ausweisung eines Transitions- oder Mischhorizontes ermöglichen kann (vgl. Profil III 1 und IV 4 im Anhang (Abbildung A 5 und A 11)).

Als typische Böden der Páramos sind Humitropepts, Drystropepts, Vitrudands, Melanocryands, Cryothents, Fulvodands, Tropothents, Tropofibrists und Tropohemists ausgebildet. Die in der Páramostufe entwickelten Böden entsprechen zum Teil den Histosols (IGAC 1995) (vgl. Abbildung 4.28).

Durch die Temperaturerhöhung hinunter zur Subpáramostufe können sich hier bereits echte Braunerden entwickeln, die chemischen Prozesse ermöglichen die Verbraunung und damit die Entwicklung eines  $B_v$ -Horizontes (vgl. Profil IV 1).

Generelle Untersuchungen des IGAC zeigen für die Subpáramos Melanudands, Hapludands und Fulvodands (vgl. Abbildung 4.28).

Alle Böden des Untersuchungsgebietes zeichnen sich durch einen hohen Anteil der Sandfraktion in der Bodenart aus und sind damit leicht erodierbar. Sie stehen am Anfang ihrer Entwicklung, die ersten genetischen Bodenbildungsprozesse sind die Reduktion von Eisen, Auswaschung von Calcium und die Akkumulation von organischer Substanz, die sich in der Bildung eines A-Horizontes manifestiert (IGAC 1995, 525).

Neben den in diesem Teil der Arbeit wiedergegebenen tropischen Braunerden wird durch hohe Niederschläge in Verbindung mit niedrigen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit und der daraus folgenden geringen Evapotranspirationsrate die Ausbildung eines weit verzweigten Gewässernetzes mit Bächen, Lagunen und Mooren hervorgerufen (vgl. Photos 4.6 und 4.7, Abbildung 4.19). An den Sonderstandorten sind Gleye und Pseudogleye ausgebildet. Zum Teil finden sich Reduktions- und Oxidationsspuren direkt benachbart in einem Horizont als Zeichen der von Bodenstruktur oder klimatisch verursachten Wechselfeuchtebedingungen durch Regen- und Trockenperioden (vgl. Abbildung A 5, A 6 und A 10 im Anhang).

## **5 Übertragbarkeit der Ergebnisse**

### **5.1 Aufnahme der Geofaktoren und deren Übertragbarkeit**

Die grundsätzliche Eignung der LE für geoökologische Aufnahmen in den tropischen Hochanden ist bereits in Kapitel 3.2 dargelegt worden. Nach vorgelegter Analyse der Pilotgebiete in der topischen Dimension (vgl. Kapitel 4.4ff) soll die Aufnahme der dominanten Geofaktoren und deren Interdependenzen aus der Feldkampagne diskutiert werden. Daraufhin wird ein Vorschlag zur Übertragung der Kartiererergebnisse auf diejenigen Bereiche des PNN Puracé unterbreitet, die von den Orthophotos und den DGMS abgedeckt sind, für Feldarbeiten aber nicht zugänglich waren.

Im Folgenden werden die in dem Testbereich gewonnenen Daten durch erneute Anpassung und Generalisierung auf die umliegenden peripheren Gebiete des Nationalparks übertragen, in denen die Landsat-Szenen mit den DGMS der Shuttle-Mission kombiniert sind (vgl. Kapitel 3.1).

### **Theoretische Überlegungen zur Anpassung der Landschaftsökologischen Erfassungsstandards**

Wie schon in Kapitel 2.4 ausgeführt, wurden die LE für die Gemäßigten Breiten entwickelt. Trotzdem bieten sie sich aus langjähriger Erfahrung als Instrumentarium für eine schnelle und umfassende Kartierung auch in innertropischen Hochgebirgen an. Seit der Publikation der KA GÖK 25 im Jahr 1988 (LESER und KLINK 1988) sind vom Geographischen Institut der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf Praktika in Deutschland und den westlichen Staaten Südamerikas durchgeführt worden. Bei den Veranstaltungen wurde meist auf die LE als grundlegende Methodik zurückgegriffen.

Zudem entstanden in den letzten Jahren einige Masterarbeiten in Ökosystemen der Tierra templada Kolumbiens, in deren Zuge bereits Modifikationen der Kartieranleitung erfolgten und erprobt wurden. Mit der kolumbianischen Raumordnungsplanung wurde ebenfalls ein Methodenschlüssel veröffentlicht, der in Kapitel 2.5f wiedergegeben ist und Eingang in die Feldarbeit fand (u.a. HECK 2000). Mit der hier vorgelegten Dissertation werden diese nun erstmals auch an die in einem vulkanisch aktiven Raum der Hochgebirgstropen angepasst und es wird ein Methodenschlüssel für kommende Untersuchungen vorgestellt.

Zu berücksichtigen ist vor dem Hintergrund der Entstehung der LE vor allem die verän-

derte Klimazone: In den Gemäßigten Mittelbreiten herrscht Jahreszeitenklima mit markantem Wechsel zwischen den Jahreszeiten, wohingegen in den Tropen das Tageszeitenklima ausgeprägt ist und eine Modifikation des Jahresrhythmus durch die Regen- und Trockenzeiten erfolgt (vgl. Kapitel 4.1.2.1, sowie TROLL 1975; LAUER und ERLNBACH 1987). Weiterhin gilt es der viel größeren Reliefenergie Rechnung zu tragen. Damit sind die Hangneigungsklassen, welche für die Landwirtschaft relevante Regelfaktoren, zum Beispiel die sog. „Treckergrenze“ beinhalten, anzupassen. In den Hochlandtropen Kolumbiens ist aber gerade die Grenze der Einsatzmöglichkeit schweren technischen Geräts weitestgehend belanglos, da der Ackerbau noch vornehmlich traditionell mit Ochsenpflügen oder Handackergerät erfolgt. Wichtiger sind hingegen die bodendynamischen Prozesse in Abhängigkeit von Hangneigung, Niederschlag und Temperatur.

## **5.2 Abweichungen und neue Standards der LE für die Innertropischen Anden**

Das Ziel der geoökologischen Karte, alle anwendungsrelevanten Interdependenzen in einem Naturraum aufzuzeigen, ist in den Tropen ebenso immanent wie in den Gemäßigten Breiten. Die geforderte Geländeaufnahme im Maßstab 1:10.000 mit nachfolgender Publikation in 1:25.000 lässt sich dort allerdings in den wenigsten Fällen realisieren: Es fehlen schlicht die nötigen Arbeitsgrundlagen in Form hochaufgelöster Luftbilder und thematischer Karten, die in Deutschland Standard sind (Geomorphologische Karte 1:25.000, Bodenkarte, Geologische und Hydrologische Karten, Vegetationskarte etc.). Die Grundlagen müssen in den Tropen vom jeweiligen Bearbeiter eines Raumes selbst geschaffen werden und hängen von der Qualität des zur Verfügung stehenden Ausgangsmaterials ab (vgl. Kapitel 3.1f).

Die in der vorliegenden Arbeit zugrunde liegenden Luftbilder sind – wie bereits in Kapitel 3.1 diskutiert – von allenfalls ausreichender Qualität: Dies gilt sowohl hinsichtlich des Maßstabs wie auch für die radiometrische Auflösung nach dem Scannen. Allerdings zeigen die Kapitel 3 und 4, dass auch mit diesem Material, das den Standardfall für periphere Räume in den kolumbianischen Anden und anderen Staaten Lateinamerikas widerspiegelt, eine klare Verbesserung im Gegensatz zu den in öffentlichen und privat getragenen Institutionen zu erhaltenen Arbeitsmaterialien erzielt werden kann. So kann dank der Fortschritte moderner digitaler photogrammetrischer Methoden eine Arbeits-

grundlage geschaffen werden, die die Erfassung und Übertragung einzelner geoökologisch relevanter Stellgrößen aus der Kartieranleitung ermöglicht. Dies ist vor allem aufgrund der Kleinkammerung des Reliefs, die eine Bearbeitung des Kartenblattes in einer vorgegebenen Zeit wie in Mitteleuropa unmöglich macht, von unschätzbarem Wert. Es muss deshalb in repräsentativ ausgewählten Piloträumen kartiert werden, um die hier gewonnen Ergebnisse in einem weiteren Schritt zunächst auf benachbarte Räume zu übertragen. Über Luft- und Satellitenbildinterpretation kann, wie nachfolgend gezeigt wird, eine umfassende Analyse des zu bearbeitenden Raumes erfolgen.

Dies bedingt eine gute Ortskenntnis, um die unterschiedlichen Raumeinheiten in dem Fernerkundungsmaterial unterscheiden und gruppieren zu können. Die hohe Reliefenergie und die damit einhergehenden diametral gegensätzlichen Prozesse in klimatischer, vegetationsgeographischer und morphodynamischer Hinsicht auf nur kurzer Distanz bedingen eine Modulation der in den LE publizierten Stell- und Regelgrößen in folgender Weise:

Der grundlegende Unterschied, vor allem in Bezug auf die Stell- und Regelgrößen liegt im Tageszeitenklima der Tropen begründet. Zwar sind auch hier langjährige Messreihen, beispielsweise beim Klima, erwünscht, allerdings ist eine generelle Klassifikation und Einordnung der Verhältnisse durch Messungen in der Trocken- und Regenzeit die Minimalvoraussetzung. Die Analyse der klimatischen Bedingungen (vgl. Kapitel 4.3.3.1) zeigt allerdings eine große Variabilität des Klimas, so dass zum Teil auch in der Trockenzeit Bedingungen wie in einer Regenzeit herrschen können und umgekehrt. Dem wurde mit Durchführung der Geländearbeiten während Phasen stabiler Witterung Rechnung getragen.

Die LE schreiben eine strikte Trennung der Stellgrößen in Tiefland, Mittel- und Hochgebirge vor (LESER und KLINK 1988). Im Untersuchungsraum ist eine solche Trennung allerdings nicht in jedem Fall sinnvoll, da in dem zweifelsfrei als Hochgebirgsraum auszuweisenden Arbeitsgebiet kleinräumig eher dem Mittelgebirge zuzuordnende Raumeinheiten mit Hochgebirgslandschaften abwechseln. Als Beispiel sei hier auf die weiten Ebenen des Sektors San Rafael mit den Lagunen und Seen hingewiesen, dem die schroffe Nordflanke der Cadena Volcánica gegenüber steht. In gleicher Höhenlage spielen grundsätzlich andere morphodynamische Prozesse eine Rolle, es bilden sich vollkommen unterschiedliche Vegetationsgesellschaften heraus, die jeweils an den Standort

angepasst sind (vgl. Kapitel 4.4).

### **5.2.1 Vorschlag für die Mindestanforderungen einer geoökologischen Kartierung in den Tropen und die nötigen Arbeitsschritte zu deren Anwendung**

Die Arbeit zeigt deutlich auf, dass die in Kolumbien für die südliche Zentralkordillere offiziell vorliegenden Daten häufig unvollständig oder veraltet und damit wenig hilfreich sind. Das macht es nötig, eine eigene Kartiergrundlage zu erstellen und auf dieser Basis die Geländekartierungen durchzuführen, wie auch die Übertragung in übergeordnete Ebenen nach den in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Kriterien der geographischen Dimension zu vollziehen.

Grundlegend ist die Beschaffung aussagefähigen und qualitativ brauchbaren Luftbildmaterials, das nach der Erstellung der Orthophotos und Digitalen Geländemodelle eine Analyse im Maßstab von ca. 1:15.000 ermöglicht. Die Pixelgröße sollte dabei nicht über 2 m (im vorliegenden Fall 1,2 m) im Gelände entsprechen, um somit noch eine Interpretation und digitale Kartierung in der topischen und chorischen Dimension zu ermöglichen.

Aus den DGMs können mit den marktgängigen Softwarelösungen (in Südamerika am weitesten verbreitet sind ArcGIS und ILWIS, allerdings ist dies auch mit Low-Cost-Lösungen, bspw. LISA, möglich) verschiedene thematische Karten abgeleitet werden. Besonders wichtig sind hierbei die Expositions-, Hangneigungs- und Höhenstufenkarten. Unter Berücksichtigung der Elementaranalyse der morphologischen Karte aus den durch eigene Aerotriangulation erstellten genauen DGMs (vgl. Kapitel 3.1.3.1 und 3.1.4) kann der Autor der Kartierung die oben genannten Produkte zur Ableitung aus der kleinen in die große Maßstabsebene benutzen. Durch die Applikation der Produkte entfällt vielfach die Kartierung von großräumigen morphologischen Einheiten, es müssen lediglich Kleinrelief und die aktuellen geomorphologischen Prozesse aufgenommen werden, um die realen Prozesse und Wechselwirkungen im Untersuchungsraum analysieren zu können (vgl. die folgende Abbildung 5.1 und die Abbildung 4.19 und 4.23 der Kartiergebiete San Rafael und Pilimbalá).

Es ist zwischen der absoluten Genauigkeit und der relativen Genauigkeit zu unterscheiden. Das direkte Abgreifen von Reliefformen ist mit Sicherheit erst ab einer Größe von



mindestens drei Pixeln oder ca. 10 m möglich. Es können durch Mustererkennung aber Aussagen über kleinere Objekte getroffen werden, vor allem für den Fall, dass sie regel- und flächenhaft auftreten: Die kuppige oder wellige Struktur kann hierbei auch für Objekte in den Luftbildern interpretiert werden, wenn sie eine Größe von einem Pixel aufweisen oder zum Teil sogar unterschreiten. Für diesen Fall ist eine Messung von Stufenhöhen oder der Größe von Erhabenheiten über dem durchschnittlichen Geländeniveau allerdings nicht möglich.

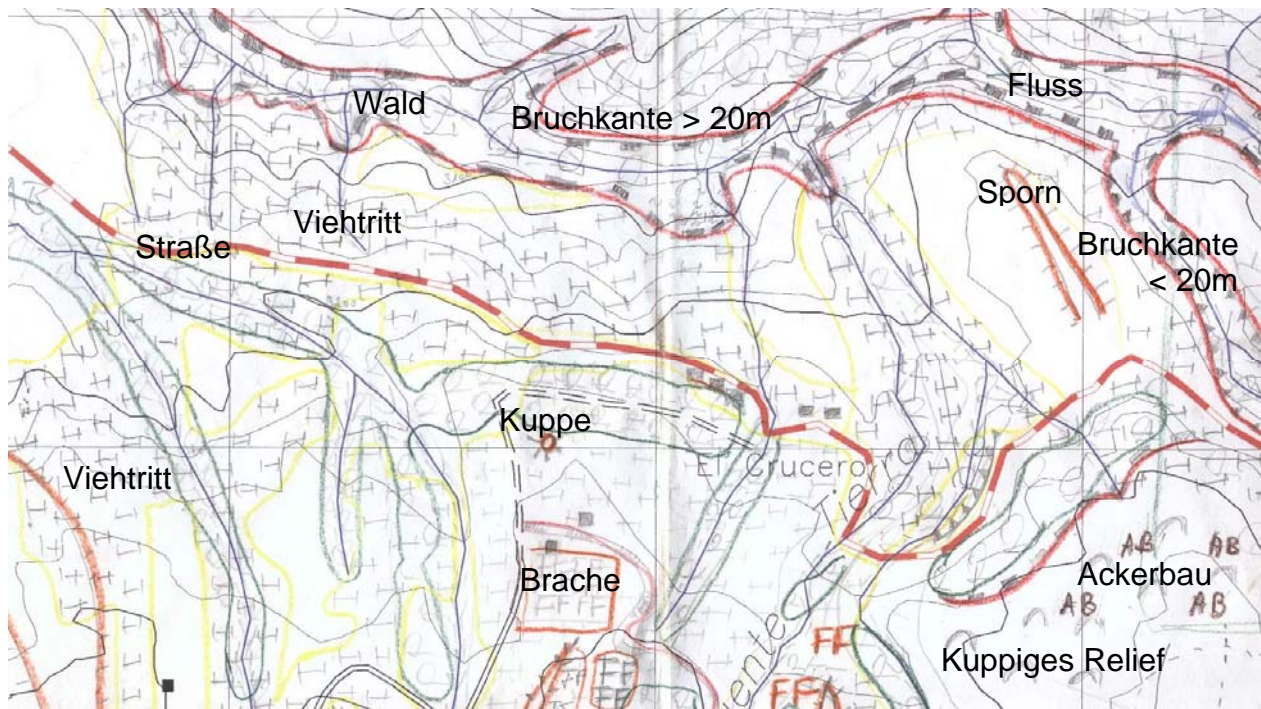


Abbildung 5.1: Beispiel der Feldkartierung anhand eines Ausschnittes des Kartiergebietes Pilimbalá. Als Kartiergrundlage dient die hochvergrößerte Karte 1:50.000. Es wurden die in den LE vorgegebenen Kartiersymbole verwendet. Die Signaturen sind in der Abbildung erklärt. Eigene Kartierung und Darstellung.

Größte Bedeutung haben neben den Rutschungen und Blockstürzen, die je nach Größe auch noch in den Orthophotos ersichtlich sind, solifluidale Prozesse in den Arealen, in denen Frostwechsel auftreten, wie auch die Viehtrittbildung. Anhand der Gangeln wird besonders deutlich, wie sehr der Mensch in den letzten Jahren in das andine Ökosystem eingegriffen hat: In vorkolumbischer Zeit waren Rinder und Pferde in Südamerika unbekannt, eine Erschließung der Páramostufe begann in großem Stile erst Anfang des 20. Jahrhunderts. Trotzdem sind heute gerade die Hänge in der sich für den Anbau der hochandinen Tuberkelpflanzen eignenden Höhenstufe um 3.500 m.ü.d.M. hochgradig

geschädigt, so dass sie trotz der vormals mächtigen Humusaufgabe (vgl. Kapitel 4.5.2) bis auf das anstehende Gestein herunter erodiert sind. Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Landnutzung ist die Betrachtung, Erfassung und Ausweisung dieser Areale ganz besonders wichtig.

Nur bedingt aus den Orthophotos ersichtlich sind die im Páramo auftretenden Brandflächen, so sie nicht schon zur Zeit der Aufnahme der Photos existierten und noch zum Kartierzeitpunkt erkennbar sind. Sie sind meist anthropogen bedingt. Die nach Brand sprießenden und sich regenerierenden Gräser eignen sich besser zur Beweidung. Sie sind weicher und werden daher vom Weidevieh besser und schneller verdaut.

Die Brände geraten jedoch häufig außer Kontrolle und sind oft Initialstadien für flächenhafte Abspülungen oder Erosionsprozesse in der Folge von Starkregenereignissen, da die schützende Vegetationsschicht zerstört wird.

Dies zeigt die große Relevanz der Beschaffung und Deutung von Klimadaten der Region. Wie im vorliegenden Fall ist es dabei häufig erforderlich, die Stationswerte von weiter entfernten Messstellen heranzuziehen. Kapitel 4.3.3.1 verdeutlicht, dass eine Übertragung des Niederschlagsanges im Jahresverlauf zwischen Hoch- und Tieflandsstationen relativ schwierig ist. So ist als Kontrolle eine Station innerhalb des Untersuchungsgebietes oder in deren unmittelbarer Umgebung unabdingbar. In Kolumbien stehen vielfach nur pluviometrische Daten zur Verfügung. Sollten diese lückenhaft sein, bietet sich der Vergleich mit Referenzstationen an, wie hier mit den Stationen Popayán, San Agustín und Neiva. Wichtig ist dann, dass die Messreihen der Referenz-, wie auch der im Untersuchungsraum befindlichen Station synchron sind.

Eine Möglichkeit, die Temperaturwerte zu ermitteln, liegt in der Messung von Bodentemperaturen unterhalb des tages- und jahreszeitlichen Schwankungsbereiches (in den Tropen mindestens 50 cm unter GOF). Das in der Arbeit vorgelegte Profil von 1.800 – 4.200 m.ü.d.M. (vgl. Kapitel 4.3.3.1) zeigt, dass bei homogener Lage der Messpunkte im Gelände die gewonnenen Daten aussagefähig und gut nutzbar sind. Durch Interpolation der Messwerte kann zugleich auf die Temperaturen in den Gipfelbereichen der Cadena Volcánica de los Coconucos geschlossen werden (vgl. Tabelle 4.5 und Abbildung 4.11). Damit sind allerdings nur die Durchschnittswerte der Temperatur eines Gebietes zu ermitteln. Bedeutend sind in ökologischer Hinsicht die auftretenden Extrema. Sie lassen

sich wiederum durch eigene Messungen im Gelände erfassen. Ergänzend können optische Beobachtungen herangezogen werden. So ist beispielsweise das Auftreten von Raureifbildung ein Anzeichen für Frostwechsel, die große Bedeutung für die ökologischen Prozesse haben an die sich die Flora anzupassen hat, oder durch Kammeisbildung Abtragungsprozesse aktiviert werden.

Zur Analyse und Einteilung von Hangneigungsklassen ist zu beachten, dass oben angesprochene, für die Mittelbreiten maßgebende Regelfaktoren, in den Hochanden vielfach keine Relevanz haben. Die Hangneigung ist hier verstärkt mit der Bodennutzung zu korrelieren. Im Untersuchungsgebiet wird in steilen Bereichen mit Hangneigungen von 35° und darüber Ackerbau betrieben, ohne dass es zu größeren Erosionserscheinungen kommt. Begründet werden kann das mit der langsam fortschreitenden Verwitterung und den damit einhergehenden großen Anteilen organischer Substanz in den Böden, die das Substrat zusammen halten (vgl. Kapitel 4.5).



Photo 5.1: Aufgegebener oder in Brache befindlicher Acker in der Páramostufe.

Typisches Beispiel für die Rodung eines Waldbereiches zum Anbau der hochandinen Tuberkelpflanzen. Gut erkennbar sind die noch vorhandenen Ackerfurchen des Kartoffelfeldes. Solange keine Beweidung auf einem solchen offen gelassenen Feld erfolgt, ist die Erosion, auch in den steilen Partien und hangabwärts gerichteten Furchen gering. Hänge und Schluchten sind im unteren Sektor Pilimbalá mit invadierten hochandinen (Rest)-Wäldern bestanden.

Aufn. Volker Heck am 21.01.2003 in 3.350 m.ü.d.M.

Nach der Aufgabe von ehemaligen Kartoffeläckern schließt sich die Grasschicht relativ schnell. Zwar sind die Konturen der Ackerfurchen auf den Feldern nach wie vor gut erkennbar (vgl. Photo 5.1), es kommt aber nicht zu größeren Materialverlagerungen.

In den weidewirtschaftlich genutzten Gebieten der Páramostufen ist die Erosion in Form von Viehtrittbildung und nachfolgendem Abtrag des Oberbodens ungleich stärker ausgebildet. Sie tritt in den innertropischen Hochanden schon bei Hangneigungen von unter 7° auf, da die Böden feuchtigkeitsgesättigt sind und das hohe Gewicht der Tiere die Kapillaren zusammenpresst. Es entstehen so Gleitbahnen über wasserstauenden Horizonten, auf denen ganze Pakete abrutschen können (RICHTER 1998) (vgl. Photo 5.2 und 5.3).



Photo 5.2: Beweidung mit Vieh im Sektor San Rafael. Gerade in diesen staunassen Bereichen kommt es durch Viehtrittbildung zu irreparablen Schäden der Böden, die mit dem kompletten Verlust des Oberbodens einhergehen können. Aufn. Volker Heck am 07.11.2002 in 3.430 m.ü.d.M.



Photo 5.3: Ehemalige Weide im Sektor Pilimbalá.

Es kann durch Beweidung nach der Bildung von Viehgangeln zur Auflösung des Oberbodens kommen, der nachfolgend das anstehende Grundgestein an die Oberfläche treten lässt (Vorder- und Mittelgrund). Im Bildhintergrund ist ein noch genutztes Kartoffelfeld zu erkennen.

Aufn. Volker Heck am 22.01.2003 in 3.390 m.ü.d.M.

Somit hat es sich in der hier vorliegenden Arbeit als sinnvoll herausgestellt, die Hangneigungen in folgender Weise, angelehnt an die Vorgaben für den Mittelgebirgsraum zu klassifizieren. In der nachstehend aufgeführten Tabelle (Tabelle 5.1) sind diese ergänzt um die unter verschiedener Nutzung bei vorausgesetzt gleicher Bodenart auftretenden Prozesse:

Korreliert man die auftretenden bodendynamischen Prozesse mit dem Niederschlag zeigt sich eine weitere Notwendigkeit zur Erosionsprävention. Der PNN Puracé ist das Quellgebiet der vier größten Flüsse Kolumbiens. Die Böden der Páramos sind sehr humusreich und können die auftretenden Niederschläge gut speichern. Das Wasser tritt in Quellen wieder aus. Kommt es nun zu verstärkter Erosion, so geht das retardierende Moment verloren und mit sich verstärkendem oberflächlichem Abfluss erhöht sich auch die Erosion.

Tabelle 5.1: Bei unterschiedlichen Hangneigungen und Nutzungen auftretende Prozesse in der Subpáramo- und Páramostufe

Hangneigung	Nutzung	Prozess
0 – 3°	Ohne Ackerbau Weide	- - -
3 – 7°	Ohne Ackerbau Weide	- - Verdichtung durch Viehtritt
7 – 15°	Ohne Ackerbau Weide	- - Verdichtung durch Viehtritt, Bodenfließen
15 – 35°	Ohne Ackerbau Weide	- Materialverlagerung durch Splash-Erosion Verdichtung durch Viehtritt, Bodenfließen, Badlandbildung
> 35°	Ohne Weide	Verdichtung durch Viehtritt, Bodenfließen, Badlandbildung

Quelle: Eigene Untersuchungen

Tabelle 5.2: Arbeitsphasen mit Inhalten

Phase	Labor / Institut	Behörden / Beschaffung	Gelände
I		Literatur	
II	Satelliten- und Luftbildinterpretation	Satelliten-, Luftbilder,  Statistiken  ↓	Auswahl der Kartiergebiete
III	Orthophoto DGM		Passpunktnahme
IV	Auswahl der Kartiergebiete		Auswahl der Kartiergebiete
V	Digitalisierung; Boden- und Vegetationsbestimmung		Geoökologische Kartierung, Beprobung
VI	Auswertung		Verifizierung
VII	Übertragung		
VIII	Endprodukt		

Neben den inhaltlichen Ergebnissen aus dem Untersuchungsgebiet ergeben sich in den Inneren Tropen organisatorische Besonderheiten. Vieles ist trotz guter Planung nicht im Vorfeld der Geländearbeiten zu realisieren. Die obenstehende Tabelle 5.2 zeigt die verschiedenen Arbeitsschritte vom Projektbeginn bis zum Abschluss der Untersuchungen

unter Berücksichtigung der Arbeitsorte, also Labor (Institut), Behörden und Gelände auf, wie sie im Idealfall aufeinander aufbauen sollten. Selbstverständlich kann und muss es zu Überschneidungen zwischen den einzelnen Phasen kommen.

### **5.2.2 Vorschlag für die Mindestanforderungen einer Kartierung nach dem POT in einem geschützten Naturraum der Hochanden**

Ergänzend zu den im vorangegangenen Kapitel 5.2.1 dargelegten Mindestanforderung an die Kartierung nach den LE muss die Einbindung des kolumbianischen POT (IGAC 1997) erfolgen.

Die Klassifikation der Landnutzung im PNN Puracé und dessen Umgebung kann in die geoökologische Kartierung integriert werden. Wichtig ist die Klassifikation der kulturgeographischen Inhalte nach den Vorgaben seitens der POTs (vgl. Kapitel 2.5):

Wie schon in Kapitel 2.5f dargelegt, sind die Ziele des POT einerseits die Erfassung der natürlichen Bedingungen, wie andererseits die Sozial- und Wirtschaftsstruktur auf Gemeindeebene. Da der PNN Puracé Teil mehrerer Gemeinden und Departamentos ist, ist die koordinierende Abstimmung zwischen den einzelnen Akteuren unabdingbar.

Die auf die kolumbianischen Verhältnisse angepassten LE, die in den vorangegangenen Kapiteln diskutiert sind, bieten eine ausreichende Grundlage für die Betrachtung der ökosystemaren Grundlagen und Steuergrößen. Für eine ganzheitliche Raumanalyse sollten folgende Parameter ergänzend nach dem POT (IGAC 1997) erhoben werden:

Dieser, ebenso wie die LE, fordert die Unterscheidung zwischen den einzelnen Landschaftsteilen des Untersuchungsgebietes. Allerdings soll sie nicht allein aufgrund der physiogeographischen Merkmale erfolgen, sondern der Mensch im Zentrum der Betrachtung stehen: Zu unterscheiden sind die unbeeinflussten Naturlandschaften (etwa die Gipfelbereiche der Cadena Volcánica de los Coconucos und die unzugänglichen Bereiche der Sektoren Pilimbalá und San Rafael), die vom Menschen beeinflusste Naturlandschaft (die größten Teile San Rafaels und Pilimbalás) und die anthropogene Kulturlandschaft (Ackerflächen, Weiden und Siedlungsraum) (vgl. Abbildung 4.19 und 4.23).

Die Produktion von Gütern und Dienstleistungen ist in der Páramostufe Südkolumbiens gering. In Verbindung mit den landwirtschaftlichen Aktivitäten hingegen ergibt sich ein nicht zu unterschätzender Wirtschaftszweig, nämlich der Anbau von Feldfrüchten, die Beweidung der Graslandschaft und die Extraktion von Holz aus den Bergnebelwäldern (vgl. Tabelle 2.2).

Der Tourismus könnte eine größere Rolle spielen, die Infrastruktur jedenfalls ist vorhanden. Erhalt und Schutz der Natur sind im Umfeld und innerhalb des PNN Puracé die vordringlichsten Aufgaben der räumlichen Planung.

In den kolumbianischen Anden liegen die letzten Rückzugsgebiete der Hochlandindios des Landes (U.A.E.S.P.N.N. 2001b, 2002a, 2002c). Im PNN Puracé handelt es sich um die Coconucos, die vor allem seit der *Época de la Violencia* von den spanischstämmigen Siedlern verdrängt wurden (vgl. Kapitel 4.1.1). Mit der Kartierung muss der Schutz der ethnisch-kulturellen Vielfalt des Landes einhergehen, das heißt, auch das traditionelle Wirtschaften muss erfasst werden, etwa die den Indígena verbrieften Rechte auf Viehhaltung und Fischfang (vgl. Photo 5.4) in den Fließgewässern und Lagunen auch innerhalb des PNN Puracé. Daneben wird das Sammeln von Pflanzen in den Páramos betrieben.



Photo 5.4: Von einem Indígena gefangene Regenbogenforelle im Sektor San Rafael. Der eingeführte Fisch wurde trotz seiner geringen Größe nicht wieder in die Quebrada Chorrillo entlassen, sondern nach Aussage des Anglers gebraten und verspeist. Durch die Introdution nicht heimischer Fauna ist das ökologische Gleichgewicht der Páramogewässer beeinträchtigt. Gerade die Forellen haben einen großen Teil des heimischen Wasserlebens zerstört. Aufn. Volker Heck am 07.11.2002 in 3.360 m.ü.d.M.



Hiermit wird klar, dass die Grenze des Nationalparks mit den daraus resultierenden gesetzlichen Bedingungen, also dem Schutz der Natur ohne die Möglichkeit Ackerbau oder Viehzucht betreiben zu dürfen, im Fall des PNN Puracé von den Coconucos nicht anerkannt wird. Die Konsequenz ist die bis heute andauernde Invasion in den Park und dessen landwirtschaftliche Nutzung.

### 5.2.3 Die Übertragung der Kartierergebnisse

Es handelt sich bei der vorliegenden Arbeit um eine geoökologische Analyse, deren Ergebnisse ausgehend von einem kleinen Raum auf angrenzende Gebiete übertragen werden sollen. Dazu ist die Verschneidung der auf verschiedenen Maßstabsebenen erhobenen Informationen nach der landschaftsökologischen Theorie (vgl. Kapitel 2.2) nötig. Hierzu stehen in der vorliegenden Arbeit die Ergebnisse aus Feldkartierungen, Luftbilder und die Satellitendaten (vgl. Kapitel 3.1) zur Verfügung.

In den Luft- und Satellitenbildern müssen zur Übertragung der Kartierinhalte, wie die Bodentypen oder Hangneigungsklassen, gleichartige Areale ausgegliedert werden, die zunächst innerhalb derselben Maßstabsebene übertragen werden sollen. Ein Beispiel sind die homogenen Gras- und Espeletienpáramos im Norden und Westen der Cadena Volcánica de los Coconucos. Innerhalb der Bereiche sind in Abhängigkeit der Vernässung verschiedene Bodentypen zu unterscheiden, die in den exemplarisch ausgewählten Pilotgebieten Pilimbalá und San Rafael analysiert wurden (vgl. Kapitel 4.4). Diese Art von upscaling (BLUMENSTEIN et al. 2000) ermöglicht zunächst die Interpolation der Böden im jeweiligen Geoökotop und nachfolgend die Übertragung auf korrespondierende Bereiche in den angrenzenden Regionen der Zentralkordillere Kolumbiens.

Wesentlich einfacher ist die zusammenfassende Betrachtung der Vegetation zu leisten: Denn einerseits sind die durch Vorabinterpretation im Gelände unterschiedenen Vegetationsformationen aus dem Luftbild abzuleiten, andererseits ist der untersuchte Bereich nach der Methode von BRAUN BLANQUET (1964) sowie LESER und KLINK (1988) für die LE größer und damit ist die Übertragung in die nächst-höhere Dimension leichter zu vollziehen. Der Schritt erfolgt so von der topischen in die chorische Betrachtungsebene. Zwangsläufig muss eine Generalisierung erfolgen, es werden in die nächsthöhere Maßstabsebene nur die dominanteren Inhalte übernommen, so etwa beim Übergang von der topischen in die chorologische und nachfolgend in die regionische Dimension (vgl. Kapi-

tel 2.2).

Immanent ist es, die aus der Aerotriangulation gewonnenen Geländemodelle mit in die Interpretation einfließen zu lassen. Wie bereits in den Kapiteln 3.1.3.1 und 4.4 dargelegt, sind auch in den zentralen Tropen Gesetzmäßigkeiten und Beziehungen zwischen Exposition und Vegetationszusammensetzungen gegeben. Eine Interpretation allein auf Grundlage des Luft- und Satellitenbildmaterials kann hier zu falschen Ergebnissen führen, wenn nicht auch die Expositions- und Hangneigungskarten einbezogen werden. Weiterhin dienen sie als Grundlage für die Abschätzung von Bodenfeuchte und des Vernässungsgrads (vgl. Abbildung 4.19, 4.23 und 5.2).

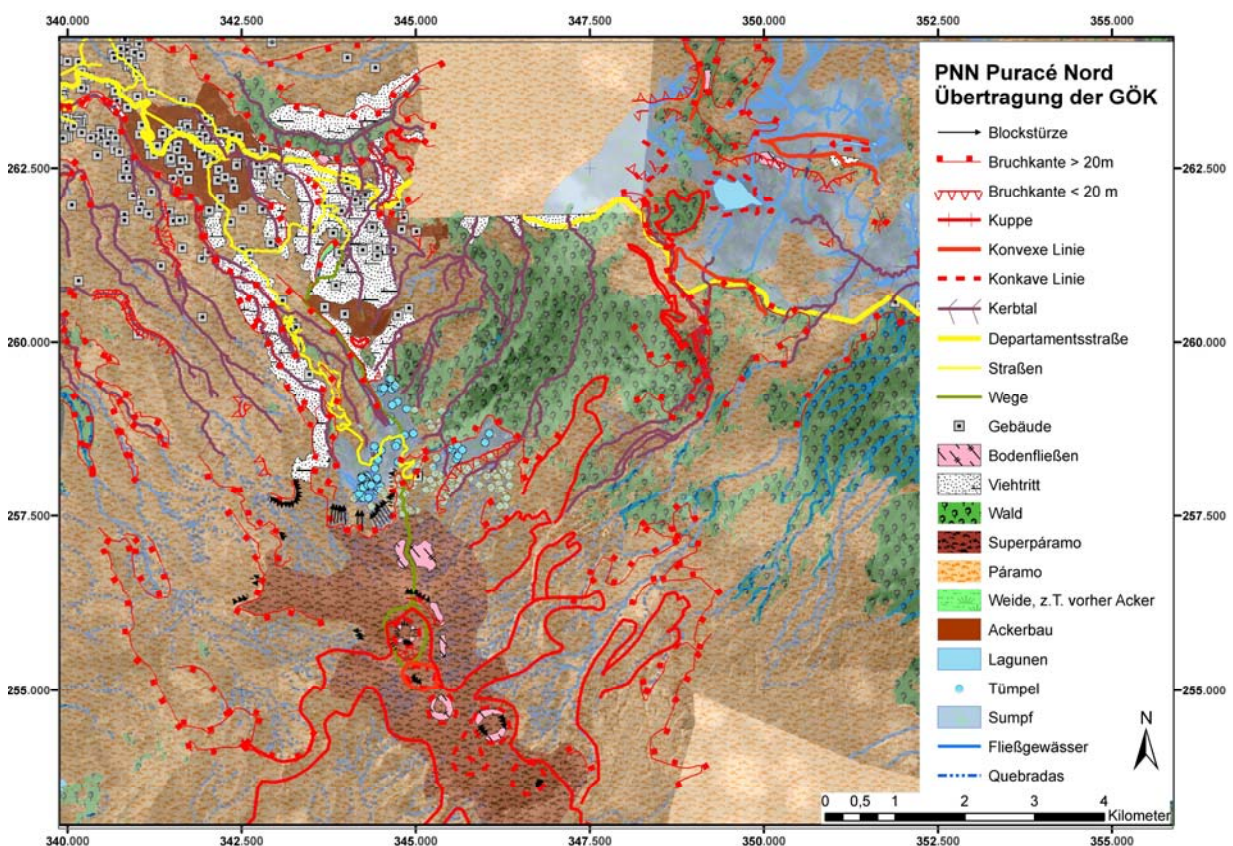


Abbildung 5.2: Übertragung der Kartierergebnisse aus den Pilotgebieten in benachbarte Choren im Norden des PNN Puracé

Bei den hellen Bereiche im Norden (oben zwischen den Rechtswerten 345000 und 348500 und oberhalb des Hochwertes 261000) sowie im Südosten (unten rechts östlich des Rechtswertes 348000) handelt es sich um die Bereiche in denen keine Luftbilder vorliegen.

Quelle: Eigene Untersuchungen, eigene Darstellung auf der Grundlage von Luftbildern aus den Jahren 1989 und 1991.

Zur Übertragung der in den Pilotgebieten und dem begehbaren Teil des Untersuchungsraumes gewonnen Kartierergebnisse müssen diese Areale in den Luftbildern klar zu

verorten sein (vgl. Abbildung 5.2). Nachfolgend kann die Übertragung in die Satellitenbilder erfolgen (vgl. Abbildung 5.5). Damit ist die Möglichkeit gegeben, die edaphischen Sonderstandorte hinsichtlich der Vegetationsformationen in den Landsat-Szenen eindeutig zu bestimmen.

Die digitalisierten Teilräume dienen als Grundlage für die überwachte Klassifizierung der Vegetation für den gesamten Untersuchungsraum. Die Klassifizierung der Vegetation über alle Kanäle erbringt bessere Resultate als die alleinige Betrachtung der Rotkanäle oder deren Kombination, zum Beispiel des NDVI-Index, der anderen Räumen gute Ergebnisse erbringt (HOCHHUT 2005).

Unklassifizierbare Einheiten beschränken sich damit innerhalb des Kernuntersuchungsgebietes auf ein Minimum, Schwierigkeiten ergeben sich in den Tälern, in denen keine Pilotgebiete nach der Kartieranleitung bearbeitet werden konnten (vgl. Abbildung 5.5).

Der Vergleich der beiden aus den Jahren 1989 und 1999 stammenden Szenen des Untersuchungsgebietes zeigt keine signifikante Veränderung der Vegetationshöhenstufen (vgl. Abbildung 5.3). Ein Manko bei der Nutzung der Landsat-Szenen für die Vegetationsanalyse besteht neben dem kleinen Maßstab in der fehlenden Stereobetrachtungsmöglichkeit. Daher kann lediglich die Radiometrie zur Unterscheidung der Vegetationsformationen genutzt werden, nicht jedoch Wuchshöhe und Habitus der Einzelpflanzen.

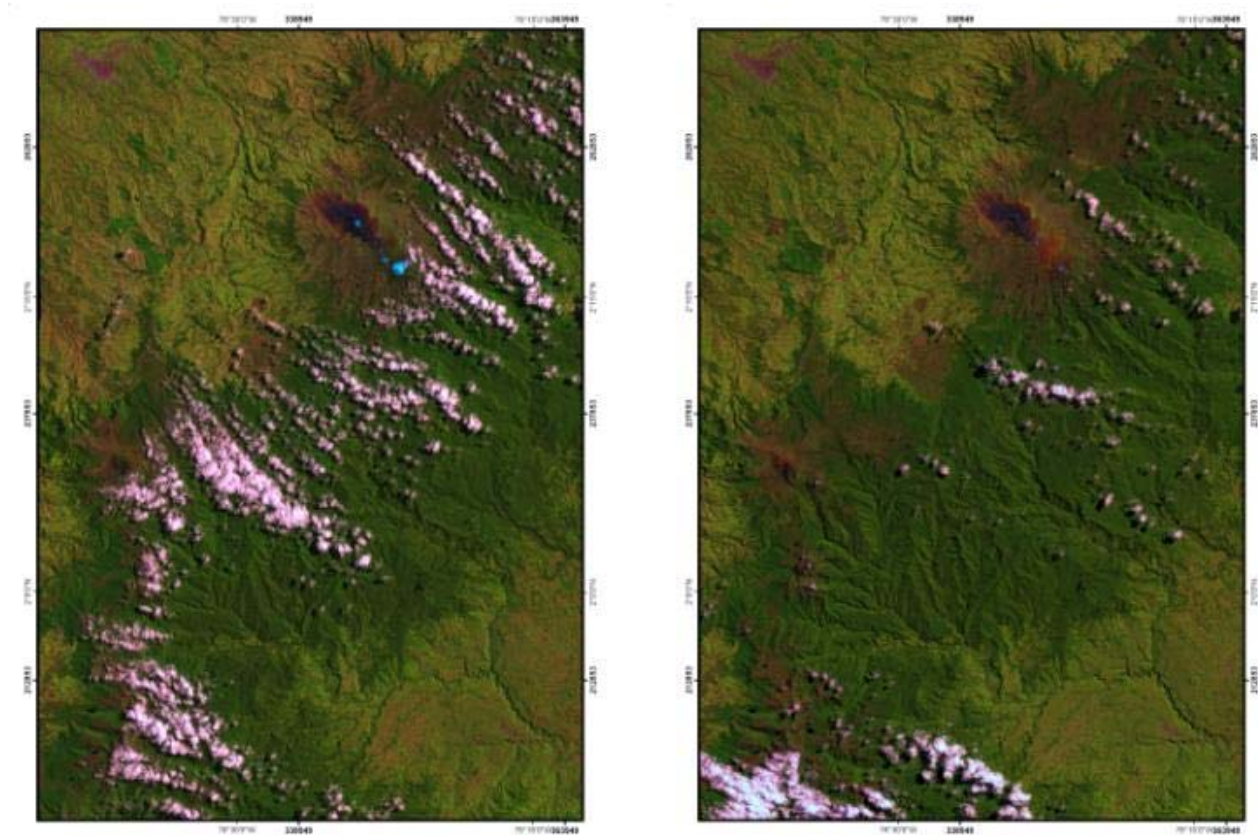


Abbildung 5.3: Landsat-Szenen von August 1989 (links) und August 1999 (rechts).

Bei direkter Gegenüberstellung der beiden Jahrgänge wird ersichtlich, dass es in der zwischen den Aufnahmen gelegenen Dekade zu keiner signifikanten Veränderung der Vegetationshöhenstufen gekommen ist. Zum Aufnahmezeitpunkt der linken Aufnahme weisen die höchsten Gipfel der Cadena Volcánica de los Coconucos Snow-Patches auf. Der hohe Bewölkungsgrad erschwert den Vergleich ein wenig, daher wird für alle anderen auf den Landsat-Szenen basierenden Betrachtungen die rechte, aus dem Jahr 1999 stammende Aufnahme genutzt (vgl. auch folgende Abbildung 5.4).

Eigene Darstellung.

Unterstützt wird dies durch die vergleichende Darstellung der beiden zugrunde liegenden Satellitenbilder. Es treten keine signifikanten Veränderungen im Bereich von über 5% auf. Die gut sichtbaren Unterschiede, die in der folgenden Darstellung visualisiert sind, beschränken sich auf die im Nordwesten der Abbildung gelegene Stadt Popayán und die veränderten Bewölkungsstrukturen. Zum Vergleich dient die folgende Abbildung (vgl. Abbildung 5.4):

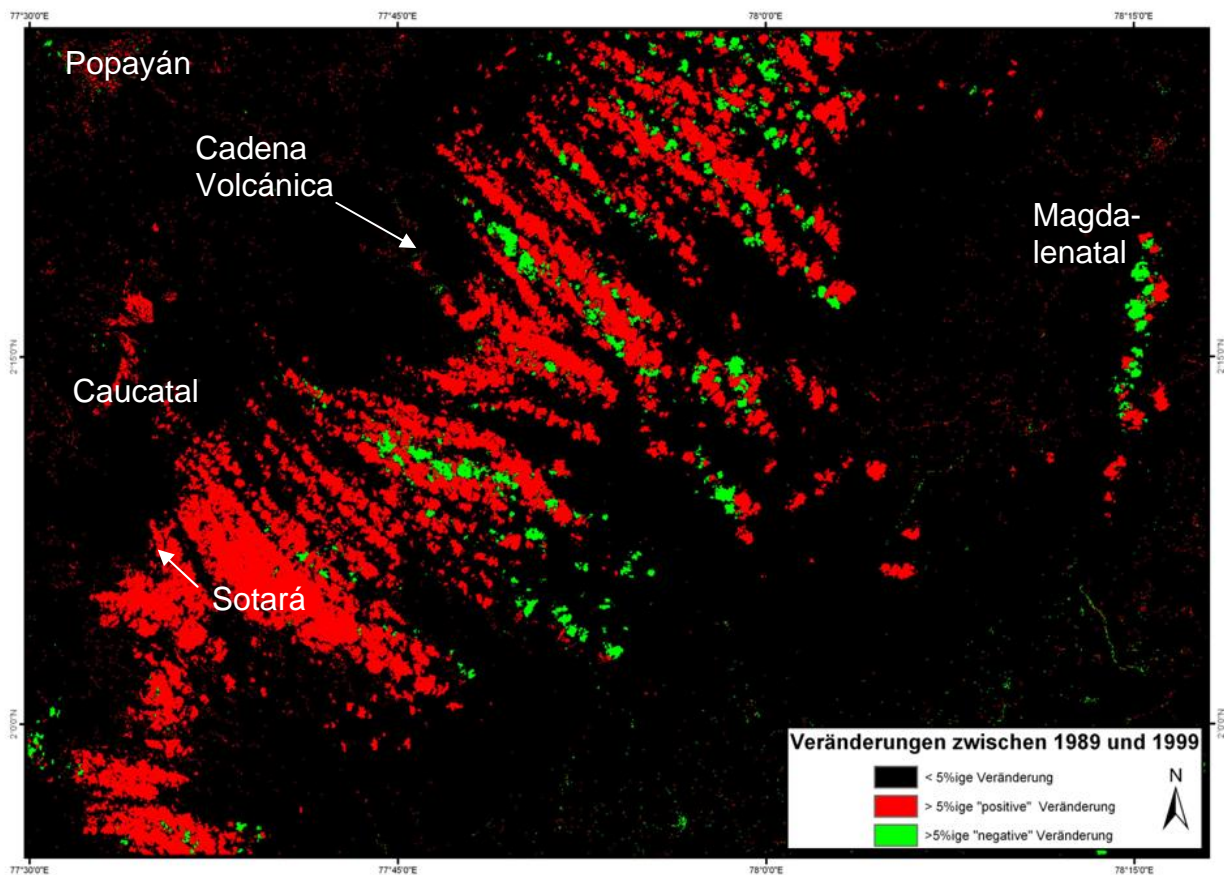


Abbildung 5.4: Vergleichende Darstellung der beiden Landsat-Szenen aus den Jahren 1989 und 1999. Durch die Erdas-Funktion „Change Detection“ werden die Grauwerte zweier Rasterbilder des gleichen Raumausschnittes miteinander verglichen. Die auftretenden Veränderungen werden in einem neuen Rasterbild dargestellt, bei oben stehender Abbildung als positive Veränderung von 1989 auf 1999 und negative Veränderung von 1999 auf 1989. Die Unterschiede beschränken sich auf die Stadt Popayán im Nordwesten und die veränderte Bewölkungsstruktur an den jeweiligen Aufnahmetagen (vgl. auch die vorherige Abbildung 5.3).  
Eigene Darstellung.

Die Auswertungen erfolgen auf Grundlage des Satellitenbildmaterials aus dem Jahr 1999. Dies hat zum einen den Vorteil, dass der Bewölkungsgrad zum Beobachtungszeitraum viel geringer ist, zum anderen ist die Aktualität der Szene größer. Somit kann vor dem Hintergrund, dass es zwischen dem Jahr 1989 und 1999 keine signifikante Veränderung gibt, und der Zeitunterschied von 1999 zu den Feldarbeiten 2002/03 lediglich drei Jahre beträgt, von einer größtmöglichen Aktualität ausgegangen werden.

In der folgenden Abbildung 5.5 sind die durch die überwachte Klassifizierung ausgegliederten Vegetationshöhenstufen dargestellt. Auf Basis der Geländekartierungen und der Übertragung auf den Norden des PNN Puracé (vgl. Abbildung 5.2) sind in der Landsat-

Szene eindeutig zuzuweisende Vegetationsformationen als areas-of-interest digitalisiert worden. Diese wurden aufgrund ihrer Grauwertinformation innerhalb der Szene übertragen. Deutlich zu erkennen sind die verschiedenen Páramostufen vom Strauchpáramo bis zum Superpáramo in den Gipfelbereichen der Vulkane, und die weiten die Cadena Volcánica de los Coconucos umgebenden Bergwälder (vgl. Abbildung 5.5).

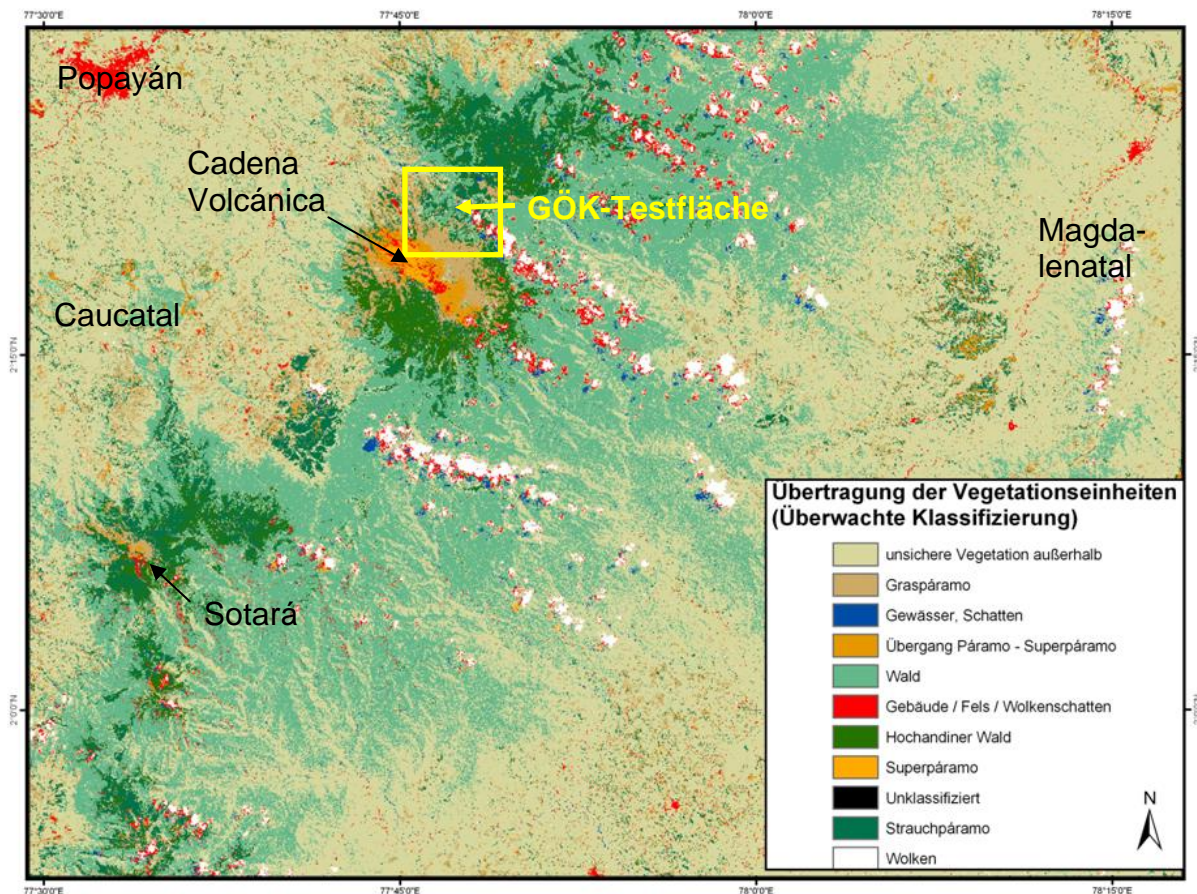


Abbildung 5.5: Übertragung der Vegetationseinheiten nach überwachter Klassifizierung aus den Kartiergebieten San Rafael und Pilimbalá im Norden des PNN Puracé auf den gesamten Nationalpark und die umgebenden Tiefländer.

Quelle: Eigene Ergebnisse; eigene Darstellung.

Schließlich soll der Versuch unternommen werden, die Übertragung der Kartiererergebnisse von der topischen in die chorische Dimension anhand absoluter Zahlen und prozentualer Werte darzustellen.

Grundlage hierfür ist die Überführung der Ergebnisse aus der ökologischen Kartierung (vgl. Abbildungen 5.2) unter weiterer Generalisierung in die Landsat-Szenen (vgl. Abbildung 5.5). Die Basis ist derselbe Raumausschnitt des Nordens des PNN Puracé, aus-

zuwählen aus den Abbildungen 5.2 und 5.5. Einschränkend ist anzumerken, dass die zugrunde liegende Abbildung 5.2 die Synthese der Geländeaufnahme und Übertragung nach den LE ist und damit nicht allein die Vegetationsformationen und vegetationslose Bereiche wie in den thematisch aufbereiteten Satellitenbildern für die Klassifikation ausgewiesen sind. Anteil an den verschiedenen Páramo- und Waldstufen haben auch die als Viehtritt und Ackerbau ausgewiesenen Räume (vgl. Abbildung 5.2).

Tabelle 5.3 und Abbildung 5.6 zeigen die Anteile der kartierten Inhalte auf Grundlage der Abbildung 5.2:

Tabelle 5.3: Flächenanteile im Norden des PNN Puracé auf Basis der Orthophotos

	Fläche in m <sup>2</sup>	Fläche in km <sup>2</sup>	Flächenanteile in %
Gesamtfläche	91941746	91,9	100,0
Wald	22597605	22,6	24,6
Strauchpáramo	14722986	14,7	16,0
Graspáramo	40385492	40,4	43,9
Superpáramo	2334246	2,3	2,5
Neue Weide	20587	0,0	0,0
Gewässer	144334	0,1	0,2
Sumpf	8563399	8,6	9,3
Bodenfließen	188313	0,2	0,2
Viehangeln	2984783	3,0	3,2

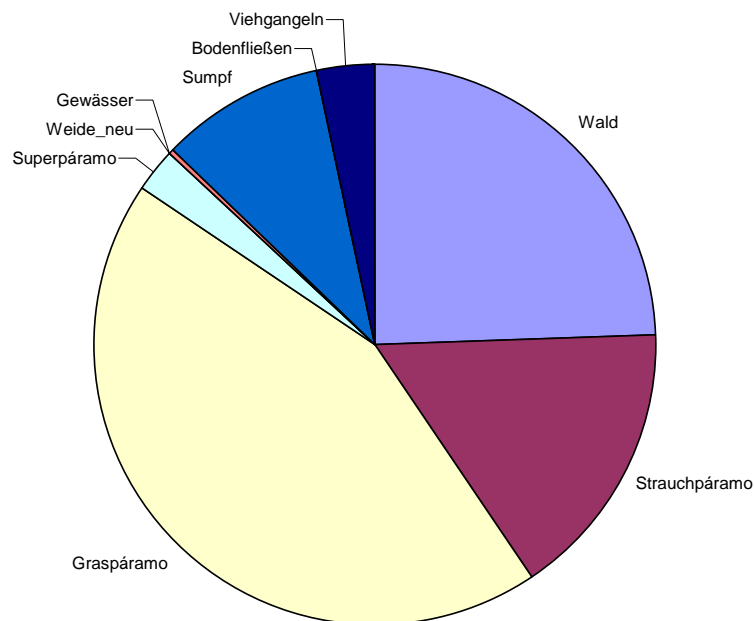


Abbildung 5.6: Flächenanteile im Norden des PNN Puracé auf Basis der Orthophotos.

Zur besseren Vergleichbarkeit zeigt folgende Abbildung (vgl. Abbildung 5.7) die an die überwachte Klassifizierung aus den Landsat-Bildern angelehnte Auswertung auf Basis der Kartierung nach den LE.

In den Orthophotos ergeben sich für Wald 25%, die Páramos (Strauchpáramo 16%, Graspáramo 44% und Superpáramo 2,5%) nehmen zusammen ca. 62,5% der Fläche ein.

Die zugrunde liegenden Daten sind im Gegensatz zur vorangehenden Abbildung 5.6 um die Klassen Viehgangeln und Bodenfließen reduziert, gemäß ihres Auftretens im Untersuchungsgebiet gehen erstere in den Graspáramo, letztere in den Superpáramo mit ein. Mit dem Eingang von Bodenfließen und Viehgangeln sind keine Flächenanteile für morphologischen Einheiten mehr aufgeführt und damit die Vergleichbarkeit mit den aus den Landsat-Szenen errechneten Ergebnissen gegeben. Im Vergleich zu den Werten aus Tabelle 5.3 bleiben die Werte für die Waldformationen mit ca. 25% unverändert, der Anteil der Páramos steigt leicht auf 65% an, wobei der eigentliche prozentuale Zuwachs in der Graspáramostufe (47%) generiert wird (vgl. Abbildung 5.7).

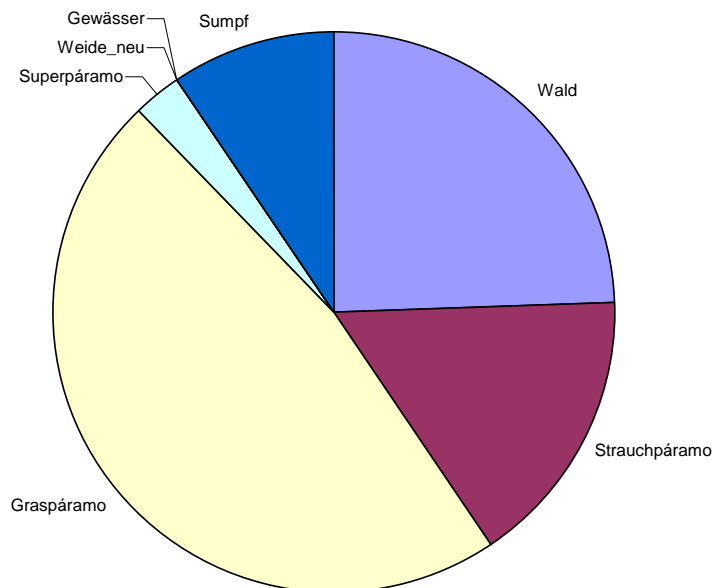


Abbildung 5.7: Zusammengefasste Flächenanteile im Norden des PNN Puracé auf Basis der Orthophotos.



Für den Norden der Cadena Volcánica wird im Folgenden das Ergebnis der überwachten Klassifikation wiedergegeben (vgl. Tabelle 5.4 und Abbildung 5.8).

Tabelle 5.4: Übertragung der Flächeninhalte auf den Norden des PNN Puracé auf Basis der Landsat-Szenen

	Pixelanzahl	Fläche in m <sup>2</sup>	Fläche in km <sup>2</sup>	Flächenanteile in %
Gesamtfläche	99510	89559000	89,6	100,0
Wald	11069	9962100	10,0	11,1
Hochandiner Wald	14740	13266000	13,3	14,8
Strauchpáramo	6272	5644800	5,6	6,3
Graspáramo	29141	26226900	26,2	29,3
Übergang Páramo/Superpáramo	9335	8401500	8,4	9,4
Superpáramo	3814	3432600	3,4	3,8
unsichere Vegetation	20682	18613800	18,6	20,8
Gewässer, Schatten	811	729900	0,7	0,8
Gebäude, Fels, Wolkenschatten	3107	2796300	2,8	3,1
Wolken	539	485100	0,5	0,5

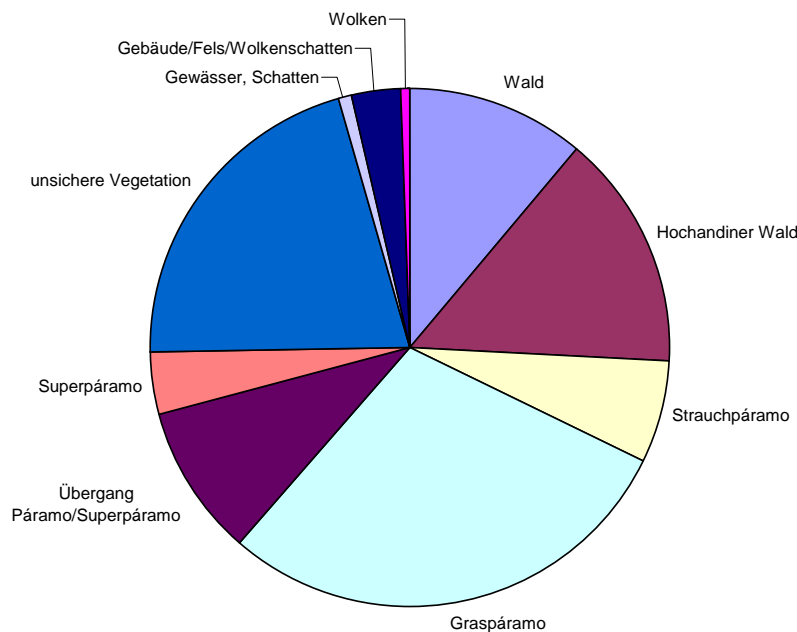


Abbildung 5.8: Flächenanteile der Vegetationsformationen im Norden des PNN Puracé auf Basis der Landsat-Szenen.

Gruppiert man nun die einzelnen Vegetationsformationen in den Landsat-Szenen gemäß der Kartierung nach den LE, so ergeben sich in der nachstehenden Tabelle (vgl.

Tabelle 5.5 und Abbildung 5.9) folgende Flächenanteile für Wald, Graspáramo und Superpáramo:

Tabelle 5.5: Gruppierung der Vegetationsformationen auf Basis der Landsat-Szenen

	Pixelanzahl	Fläche in m <sup>2</sup>	Fläche in km <sup>2</sup>	Flächenanteile in %
Gesamtfläche	99510	89557200	89,6	100,0
Wald	25809	23228100	23,2	25,9
Strauchpáramo	6272	5644800	5,6	6,3
Graspáramo	38476	34626600	34,6	38,6
Superpáramo	3814	3432600	3,4	3,8
unsichere Vegetation	20682	18613800	18,6	20,8
Gewässer, Schatten	811	729900	0,7	0,8
Gebäude, Fels, Wolkenschatten	3107	2796300	2,8	3,1
Wolken	539	485100	0,5	0,5

Die Werte der einzelnen ausgewiesenen Vegetationsformationen stellen sich nach der Klassifizierung auf Basis der Landsat-Szenen folgendermaßen dar: Der Waldanteil liegt bei ca. 26% und damit in einem ähnlichen Rahmen wie schon bei der Übertragung aus den Orthophotos. Die Übertragung des Graspáramo und des Superpáramo entspricht mit ca. 40, respektive 4% ebenfalls genähert den Ergebnissen. Einzig die Übertragung des Strauchpáramo gelingt mit einem Anteil von 6,3 % in den Landsat-Bildern verglichen mit 16% aus den Orthophotos nur unzureichend (vgl. Abbildung 5.7 und 5.9 sowie Tabelle 5.5). Ausschlaggebend scheint hierfür die inhomogene Struktur zu sein, da die als unsichere Vegetation klassifizierten Bereiche einen Anteil von 20% einnehmen. Die Verteilung dieser Klasse (vgl. Abbildung 5.5) legt nahe, dass ein großer Anteil dem Strauchpáramo zugerechnet werden muss.

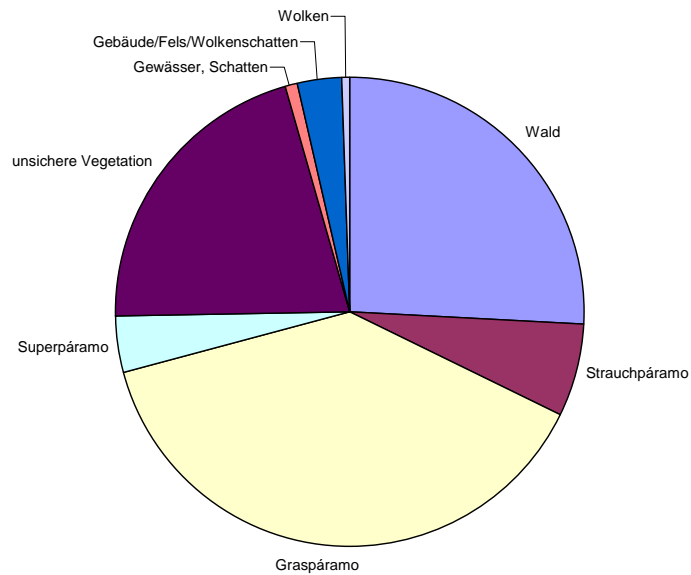


Abbildung 5.9: Gruppierung der Flächenanteile auf Basis der Landsat-Szenen.

Tabelle 5.6: Übertragung der Flächenanteile auf die Cadena Volcánica auf Basis der Landsat-Szenen

	Pixelanzahl	Fläche in m <sup>2</sup>	Fläche in km <sup>2</sup>	Flächenanteile in %
Gesamtfläche	10975713	9878141700	9878,1	100,0
Wald	1655063	1489556700	1489,6	15,1
Hochandiner Wald	151065	135958500	136,0	1,4
Strauchpáramo	462685	416416500	416,4	4,2
Graspáramo	515710	464139000	464,1	4,7
Übergang Páramo/Superpáramo	132553	119297700	119,3	1,2
Superpáramo	46702	42031800	42,0	0,4
unsichere Vegetation	6821517	6139365300	6139,4	62,2
Gewässer, Schatten	95374	85836600	85,8	0,9
Gebäude, Fels, Wolkenschatten	291448	262303200	262,3	2,7
Wolken	803596	723236400	723,2	7,3

Für die gesamte Cadena Volcánica de los Coconucos ergibt sich nach der ungewichteten Übertragung der Kartierergebnisse die hier dargestellte Situation (vgl. Tabelle 5.6 und Abbildung 5.9):

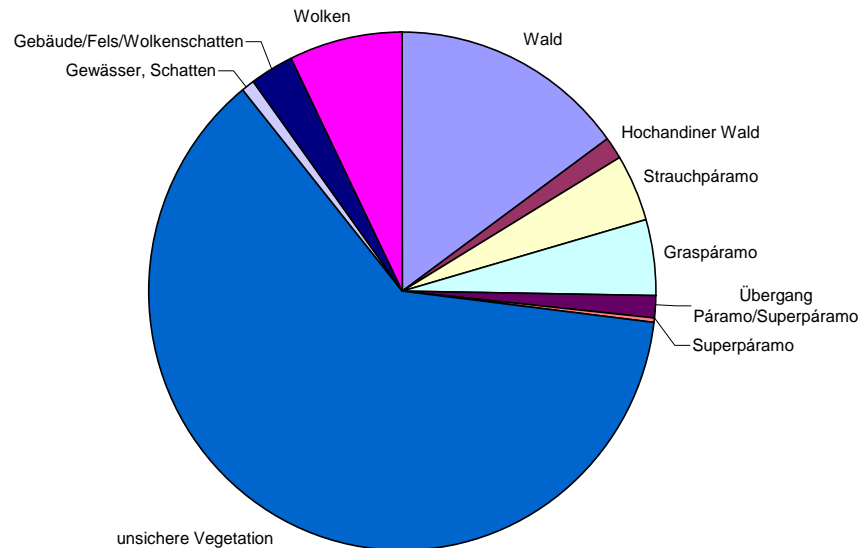


Abbildung 5.10: Die Flächenanteile in der Cadena Volcánica auf Basis der Landsat-Szenen.

Nach der gewichteten Übertragung ergeben sich folgende Flächenanteile (vgl. Tabelle 5.7 und Abbildung 5.11)

Tabelle 5.7: Gewichtete Übertragung der Flächenanteile auf Basis der Landsat-Szenen

	Pixelanzahl	Fläche in m <sup>2</sup>	Fläche in km <sup>2</sup>	Flächenanteile in %
Gesamtfläche	11579463	10421516700	10421,5	100,0
Wald	2409878	2168890200	2168,9	22,0
Strauchpáramo	462685	416416500	416,4	4,2
Graspáramo	648263	583436700	583,4	5,9
Superpáramo	46702	42031800	42,0	0,4
unsichere Vegetation	6821517	6139365300	6139,4	62,2
Gewässer, Schatten	95374	85836600	85,8	0,9
Gebäude, Fels, Wolkenschatten	291448	262303200	262,3	2,7
Wolken	803596	723236400	723,2	7,3

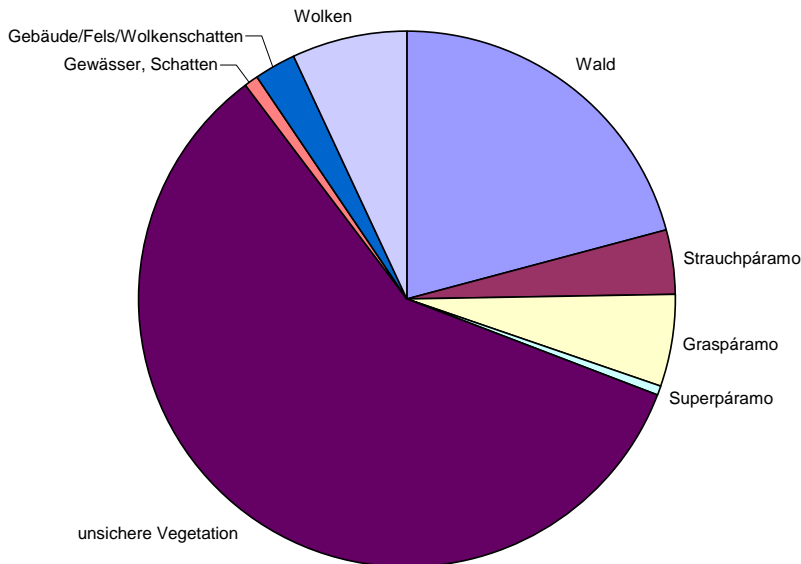


Abbildung 5.11: Die Flächenanteile in der Cadena Volcánica nach Gewichtung auf Basis der Landsat-Szenen

Der Vergleich der beiden Tabellen (5.6 und 5.7) und Abbildungen (5.10 und 5.11) zur Übertragung der Kartierergebnisse zeigt die Schwierigkeit auf, die es mit sich bringt, wenn Untersuchungsergebnisse aus der topischen in die chorische Dimension übertragen werden. Dies hängt zum einen von der Qualität des zugrundeliegenden Rasterbildes ab, zum anderen von der Verteilung der Pilotgebiete. Im vorliegenden Fall sind diese gut verteilt, um die Vegetationsformationen im Norden des PNN Puracé auch auf Grundlage der Satellitenbilder wiederzugeben. In den westlich und östlich gelegenen Tälern der Ríos Cauca und Magdalena werden hingegen schnell die Grenzen der Übertragbarkeit erreicht, da die hier auftretenden Grauwerte nicht eindeutig zugeordnet werden können. Das gleiche gilt für die eingeschränkte Tauglichkeit des Satellitenmaterials bei Bewölkung und den durch die morgendliche Aufnahmezeit (9:52 Uhr, vgl. Kapitel 3.1.1 und 4.3.3.1) stark verschobenen Wolkenschatten (vgl. Abbildung 5.5).

## 6 Synthese und Ausblick

### 6.1 Grundlagen

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass mittels der Geoökologischen Kartieranleitung (LE) in Verbindung mit Fernerkundungsmethodik auch in den Tropen, insbesondere Kolumbien, gute Analyseergebnisse erzielt werden können. Beachtet werden muss allerdings die besondere innenpolitische Situation des Landes, die permanente Geländearbeiten unmöglich macht. Gerade hier liegt einer der großen Vorteile der LE, nämlich ausgewählte Geofaktoren in immer gleicher Weise relativ schnell aufnehmen zu können. Während des Feldaufenthaltes ist es so gelungen, die für Mitteleuropa erarbeiteten Stell- und Regelgrößen an die besonderen Verhältnisse der Innertropischen Hochgebirge anzupassen und durch die in Kolumbien vorgegebenen gesetzlichen Grundlagen zu erweitern und so eine umfassende Analyse des Raumes zu erarbeiten.

Der in Kapitel 5 dargestellte Katalog aufzunehmender Faktoren kann somit als Grundlage für weitere geoökologische Studien in den nördlichen Anden dienen.

Die besondere Rolle indigener Kommunitäten zeigt zudem, dass eine staatliche Planung und die Ausweisung von Naturschutzgebieten immer wieder unterwandert werden. Einerseits ist in den Naturschutzgesetzen Kolumbiens, wie auch den internationalen Schutzgebietsklassifikationen klar geregelt, dass keine landwirtschaftliche Nutzung innerhalb des Parks stattzufinden hat, andererseits ist aber genau dies den Indígena rechtlich verbrieft: Die Indígena dürfen ihr angestammtes Land als Weide nutzen, wenn Teile der Nationalparks zugleich als „*Resguardos Indígenas*“, also Schutzgebiete für die Ureinwohner ausgewiesen sind. Es handelt sich dann automatisch um Kollektiveigentum, das vom *Cabildo Indígena* verwaltet wird (BEDENO 2004). Der Konflikt zwischen Nutzung und Schutz der Natur ist, wie in vielen anderen Großschutzgebieten (HECK 2005), nicht gelöst.

Die Feldkartierungen sind darauf angelegt, durch Generalisierung von bekannten Untersuchungsräumen die Strukturen und Prozesse für das Gesamtgebiet des PNN Puracé treffen zu können. Daher wurden die Untersuchungen zunächst in den beiden Teilräumen San Rafael und Pilimbalá durchgeführt. Die Ergebnisse sind im vorangegangenen Kapitel 5 dargelegt.

Um eine entsprechende Kartierung im Gelände durchführen zu können, muss zuerst die

nötige Arbeitsgrundlage geschaffen werden. Mittel der Wahl sind ein aus aktuellen Luftbildern errechnetes Geländemodell und Orthophoto. Vor dem Hintergrund der in Kapitel 3 wiedergegebenen Diskussion zur Genauigkeit der Aerotriangulation (vgl. Kapitel 3.1.3 und Tabellen 3.4, 3.5a und 3.5b) ist für ökologische Arbeiten in den tropischen Anden anzuraten, auf zeitaufwändige Passpunktaufnahmen in unzugänglichem Gelände zu verzichten. Stattdessen können georeferenzierte Satellitenbild-Szenen für die Lageentzerrung in Kombination mit SRTM-Radardaten für die Ermittlung der Höheninformation des Passpunktes verwendet werden. Die so gewonnenen Daten für die Bearbeitung der Luftbilder für die nachfolgende Aerotriangulation sind mit Genauigkeiten um ca. 10 m ausreichend genau, da die zur Übertragung der Kartierung in die chorische Dimension nötige Auflösung erreicht wird (vgl. Kapitel 3.1.3 und Tabellen 3.4, 3.5a und 3.5b).

Aus den DGMs und den Orthophotos lassen sich Geländeformen interpretieren und abgreifen, so dass im Gelände nur in den Piloträumen das Kleinrelief aufgenommen werden muss (vgl. Kapitel 4 und 5). Eine Übertragung aller morphologisch relevanten Parameter in die benachbarten Räume erfolgt über die erstellten Geländemodelle in verschiedenen Maßstäben und in Abhängigkeit des vorhandenen Luft- oder Satellitenbildmaterials. Dieser Schritt kann keinem Laien überlassen werden, vielmehr ist eine profunde Ortskenntnis vonnöten. Zudem muss das für die Betrachtung zugrunde liegende DGM ausreichend genau sein. Für die ökologische Betrachtung reicht es nicht aus, auf Interpolation von Höhenlinien zurückzugreifen, es müssen vielmehr wie im Fall der vorliegenden Studie Aerotriangulationsdaten genutzt werden.

Durch überwachte Klassifizierungen lassen sich Vegetationsformationen in den verschiedenen Maßstabsebenen übertragen (vgl. Abbildungen 5.6 bis 5.11 und Tabellen 5.3 bis 5.7).

Ebenso wichtig ist eine eingehende Untersuchung des lokalen Klimageschehens. Leider lässt die Dichte des in den kolumbianischen Anden installierten Stationsnetzes zu wünschen übrig. In der Arbeit sind unterschiedliche Verfahren diskutiert, trotzdem eine umfassende Temperatur- und Niederschlagsanalyse leisten zu können. Aus den Klimadaten lassen sich so die solaren Grundlagen für das Auftreten von Verwitterungsprozessen, Böden und Vegetationszusammensetzungen und auch der -gesellschaften ableiten.

## 6.2 Integrative Ergebnisbetrachtung

Die geoökologischen Untersuchungen zeigen eine große Variabilität der aufgenommenen Geofaktoren durch klimatische Einflüsse, namentlich der großen Temperaturdifferenz zwischen den Gipfelbereichen der Cadena Volcánica de los Coconucos mit Höhen von über 4.600 m.ü.d.M. und den niedriger gelegenen Standorten, wie zum Beispiel dem Sektor San Rafael mit ca. 3.200 bis 3.400 m.ü.d.M.

Das Niederschlagsgeschehen ist über das Jahr relativ ausgeglichen, es treten keine Trockenmonate auf, wohl aber Depressionen in den Monaten Januar und Februar sowie Juli und August (mit Ausnahme der Station San Rafael). Dies zeigt, dass die aus dem Cauccatal stammenden Klimadaten nicht 1:1 auf den hochandinen Untersuchungsraum übertragen werden können. Das Stationsnetz Kolumbiens ist aber darauf angelegt, zumindest eine weitmaschige Aufzeichnung pluviometrischer Daten zu gewährleisten, so dass anhand der Stationen San Rafael, Puracé und Pilimbalá das Niederschlagsgeschehen wiedergegeben werden kann (vgl. Abbildung 4.14a-c).

Schwieriger ist die Übertragung der Temperaturverhältnisse, da in nur einer Station, nämlich Paletará, Temperaturen aufgezeichnet werden. Es fehlen aber die für ökologische Aussagen wichtigen Extrema. Beobachtungen über Frosttage und solifluidale Prozesse geben hier Aufschluss. Die Durchschnittstemperaturen konnten durch ein Transekt von Bodentemperaturmessungen und deren erforderliche Korrektur (wie in Kap. 4.3.3.1 dargelegt um 3 K) ermittelt werden. Die Übertragung auf den Norden des PNN Puracé ist näherungsweise gelungen, ohne allerdings sämtliche tellurische Besonderheiten berücksichtigen zu können. Vorteilhaft ist aber, die jeweiligen Standorttemperaturen im Verlauf des Transekts ermittelt zu haben. Durch die Messung an homogenen Standorten hinsichtlich der Morphologie und des Bewuchses kann die Übertragung auf angrenzende Räume erfolgen (vgl. Kapitel 4.3.3; Abbildung 4.11 und Tabelle 4.5).

Die Temperaturen beeinflussen die Vegetation und den Materialumsatz sowie die Verwitterungsfähigkeit der organischen Substanz im Boden. Keinen großen Einfluss hat derzeit der Vulkanismus: der letzte Ausbruch des Puracé liegt bereits 30 Jahre zurück und der Vulkankegel ist bis in die höchsten Bereiche vegetationsbedeckt. Anders verhält es sich bei der Betrachtung auf lange Sicht, da immer wieder auftretende Eruptionen die Bodenbildung hemmen oder aussetzen und auch die Besiedlung der Cadena Volcánica durch Pflanzen unterbrochen wird.



Analog zum Ansteigen der Temperatur von den Gipfelregionen hinab zur Cabecera Puracé treten mehr und mehr höhere Pflanzen hinzu, bis die Páramos von hochandinen Wäldern abgelöst werden.

Die einzelnen Vegetationsgesellschaften bilden sich auf den verschiedenen Standorten innerhalb einer Höhenstufe bei gleichem Substrat und gleicher Exposition vornehmlich in Abhängigkeit der Bodenfeuchte und Inklination aus: Auf den steileren und damit trockeneren Standorten stocken bis in ca. 3.600 m.ü.d.M. Phanerophyten (*Weinmannia spec.* und *Miconia spec.*) mit Höhen bis zu 12 m. Darüber liegt die von Hemikryptophyten (*Calamagrostis spec.*) dominierte Graspáramostufe.

Auf den verebneten und damit auch stärker vernässten Arealen sind die páramo-typischen Gesellschaften mit Espeletien (*Espeletia hartwegiana*) ausgebildet. Sie werden in höheren Lagen durch Polsterpflanzen abgelöst (vgl. Kapitel 4.4f).

Obwohl sich das Untersuchungsgebiet in den Inneren Tropen in einer Breitenlage von ca. 2°20' Nord befindet, hat die Exposition eine große Bedeutung für die Vegetation: Die Nordhänge sind begünstigt, da in der kurzen Trockenzeit in den Monaten Juni, Juli und August die Sonne mit 77 bis 83° Einfallswinkel zur Mittagszeit im Norden steht und sich damit der Strahlungsgenuss erhöht.

Daher kann sich häufig eine von *Weinmannia* und *Miconia* dominierte (Sekundär)-Waldvegetation ausbilden (*Weinmannia brachystachyae-Miconia cuneifoliae*). Auf den Südhängen sind die Wälder in dieser Höhenstufe nicht so zahlreich, vielmehr ist insgesamt eine Dominanz von *Espeletien*-Assoziationen (*Calamagrostis-Espeletia hartwegiana*) vorhanden (eigene Ergebnisse in Anlehnung an RANGEL und LOZANO 1986 und RANGEL und ORLANDO 1995; vgl. Abbildung 5.5 und Tabelle A 6, A 7 und A 8).

Durch die größere Höhe über dem Meeresspiegel und der damit einhergehenden Veränderung der Vegetationszusammensetzung ist an der eigentlichen Cadena Volcánica de los Coconucos nur bis in Höhenlagen um 3.700 m.ü.d.M. Bergwald vorhanden. Insgesamt ist dieser Raum trockener, die Wälder beschränken sich auf die steilen Lagen mit Hangneigungen von über 15°. Ansonsten herrschen verschiedene Grasgesellschaften vor. In den Tropen sind im Gegensatz zu den Gemäßigten Breiten Quebradas bevorzugte Standorte für Phanerophyten. Da das Untersuchungsgebiet allerdings schon lange landwirtschaftlich genutzt wird, sind die Bergwälder in den für die Landwirtschaft geeigneten Flächen gerodet und auf die Ungunsträume zurückgedrängt (vgl. Photo 5.1).

Innerhalb der Páramostufe im eigentlichen Sinne zwischen 3.400 und 4.000 m.ü.d.M. ist die Hauptursache zur Ausbildung der verschiedenen Assoziationen einerseits in der Extraktion von Holz und dem Brennen zu suchen, zudem in der Bodenfeuchte, respektive Staunässe der einzelnen Areale. Auf den Feuchtstandorten dominieren *Calamagrostio-Espeletion hartwegiana*, wohingegen die trockeneren Steillagen von *Weinmannio brachystachyae-Micontietum cuneifoliae* bestanden sind (in Anlehnung an RANGEL und LOZANO 1986 und RANGEL und ORLANDO 1995; vgl. Tabelle A 7 und A 8).

Die Páramovegetation wird im Untersuchungsgebiet modifiziert: Neben der natürlichen Vegetation kommt bis in maximal 3.700 m.ü.d.M. Ackerbau vor. Es handelt sich vornehmlich um den Anbau der für die Höhenstufe typischen Tuberkelpflanzen, zumeist Kartoffeln. Als Zwischenfrucht wird zum Teil Kohl genutzt.

Klar erkennbar an den vielfach offengelassenen Feldern ist der Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzung und die Zunahme von Brachen (BEDENO 2004) zumindest im Sektor Pilimbalá, der den Hauptzugang im Norden in den Nationalpark darstellt. Sowohl in den vernässten Bereichen um die Laguna San Rafael, wie auch in der Cadena Volcánica selbst wird extensive Weidewirtschaft betrieben. Der Tradition folgend ist dies auch in den obersten Bereichen des Páramo mit Brennen (vgl. Photo 4.5) verbunden. Im PNN Puracé selber steigen die Rinder durch die den Indígena verbrieften Rechte (vgl. Kapitel 4.4.1) zum Teil bis in den von Moosen und Flechten dominierten Superpáramo auf und weiden hier noch die spärlichen Grashorste von *Agrostis* ab.

Die Böden im Untersuchungsgebiet zeigen ein der Vegetation vergleichbares Bild. Die Komplexität nimmt von den Gipfelbereichen hinunter in die Subpáramostufe zu. Das konnte mit dem Aufschluss verschiedener Profile in den einzelnen Höhenstufen gezeigt werden. Wie in Kapitel 4.5 anhand dreier stellvertretend ausgewählter Profile beschrieben, nehmen die Horizontmächtigkeiten vom Superpáramo hinunter zum Subpáramo zu. In gleichem Maße verringern sich die Korngrößen einerseits aufgrund der zunehmenden Entfernung vom Vulkan Puracé und dem damit verbundenen Saigerung des Auswurfmaterials, andererseits wegen physikalischer wie auch der stärker werdenden chemischen Verwitterung (vgl. Kapitel 4.5).

Letzteres ist bedingt durch die Erhöhung der Durchschnittstemperaturen (vgl. Tab. 4.5 und Abbildung 4.11). Abgesehen von den edaphischen Sonderstandorten, in denen bei hohem Grundwasserspiegel Gleye und Pseudogleye ausgebildet sind, herrschen in der Tierra fría tropische Braunerden vor. Ein besonderes Charakteristikum der im Norden des PNN Puracé aufgeschlossenen Böden ist die Abfolge von fossilen mit überlagerten rezenten Böden. Die stets wiederkehrenden Ausbrüche des Puracé (vgl. Tabelle 4.3) haben immer wieder die Bodenbildung gestoppt, so dass diese in den akkumulierten Ascheschichten von Neuem begann, oder aber es sind die Tephren kleinerer Eruptionen in die fortschreitende Bodenbildung eingearbeitet worden (vgl. Kapitel 4.5).

Neben der Sensibilisierung der im Park und seiner Umgebung lebenden und wirtschaftenden Menschen ist es nötig, dass die Inwertsetzung des Naturraumes durch eine weitere potenzielle Form der Nutzung erfolgt: den Ökotourismus.

Diese kann aber nur durch Ausländer generiert werden. Die unbedingte Voraussetzung dafür ist die Beendigung der bürgerkriegsähnlichen Zustände in Kolumbien (vgl. Kapitel 4.1.1). Sollten die innenpolitischen Konflikte des Landes gelöst werden, besitzt das Land eine Vielzahl ökotouristisch attraktiver Landschaftsräume, die zum Teil schon unter Schutz stehen. Eines dieser Schutzgebiete ist der PNN Puracé. Die Nähe zur Stadt Popayán und der ecuadorianischen Grenze im Süden, die gute Infrastruktur und Anbindung an das nördlich gelegene Cali macht schon deutlich, dass mit einer starken Steigerung der Touristenzahlen zu rechnen wäre.

Die Bedingungen dafür sind im Norden des PNN recht gut: es existiert eine gut ausgebaute Schotterstraße zwischen den Städten Popayán und La Plata (vgl. Abbildung 4.6, 4.19 und 4.23) und die U.A.E.S.P.N.N. bewirtschaftet eine Station in Pilimbalá. Von hier aus sind die beiden als Untersuchungsgebiete ausgewählten Sektoren Pilimbalá mit dem Aufstieg zum Puracé und den anderen Vulkanen und San Rafael mit der gleichnamigen Lagune gut zu erreichen. Noch sind die Touristenzahlen (vgl. Kapitel 4.4), nicht zuletzt aufgrund der Bedrohung durch die Guerilla (vgl. Kapitel 4.1.1) relativ gering, bei einer Veränderung der innenpolitischen Situation allerdings könnte sich wieder ein Naturtourismus einstellen, der zudem auf den Sektor San Juan (östlich des Kernuntersuchungsraumes) mit heißen Quellen ausgedehnt werden könnte.

Das erscheint vor dem Hintergrund der nach dem letzten Ausbruch des Puracé erkalten Thermalquellen in Pilimbalá wünschenswert, da die hier vorhandene Infrastruktur von Bädern heute nicht mehr genutzt werden kann. Die noch vorhandenen *Termales* in der Mine stehen wegen der fehlenden Absprachen oder Nutzungsverträge bislang für Besucher nicht zur Verfügung.

Eine besondere Attraktion für den Naturtouristen sind schon heute die im Jahr 1990 ausgewilderten Kondore (U.A.E.S.P.N.N. 1999a).

Mit der Kombination aus Ökotourismus und der Nutzung der Thermalquellen könnten die Besucher für den Naturraum sensibilisiert werden und zudem über die Nationalparkverwaltung eine Lenkung der Besucherzahlen und –aktivitäten erfolgen. Für den Fall einer Befriedung des Landes und der damit einhergehenden touristischen Inwertsetzung des PNN Puracé muss bei der U.A.E.S.P.N.N. Vorsorge getroffen werden, wie die Besucher gelenkt werden können. Einschränkend gilt, dass die Cadena Volcánica de los Coconucos nicht einzigartig in Kolumbien ist und auch in anderen Nationalparks, etwa dem Parque los Nevados, Thermalbaden und Naturerleben möglich sind. Trotz der Nähe zu größeren Städten als Popayán werden diese nur von einem geringen Teil der lokalen Bevölkerung angenommen (mündl. Mitt. JORDAN 2006).

Die folgende Abbildung 6.1 verdeutlicht die schwierige Lage für eine nachhaltige Landnutzung im PNN Puracé:

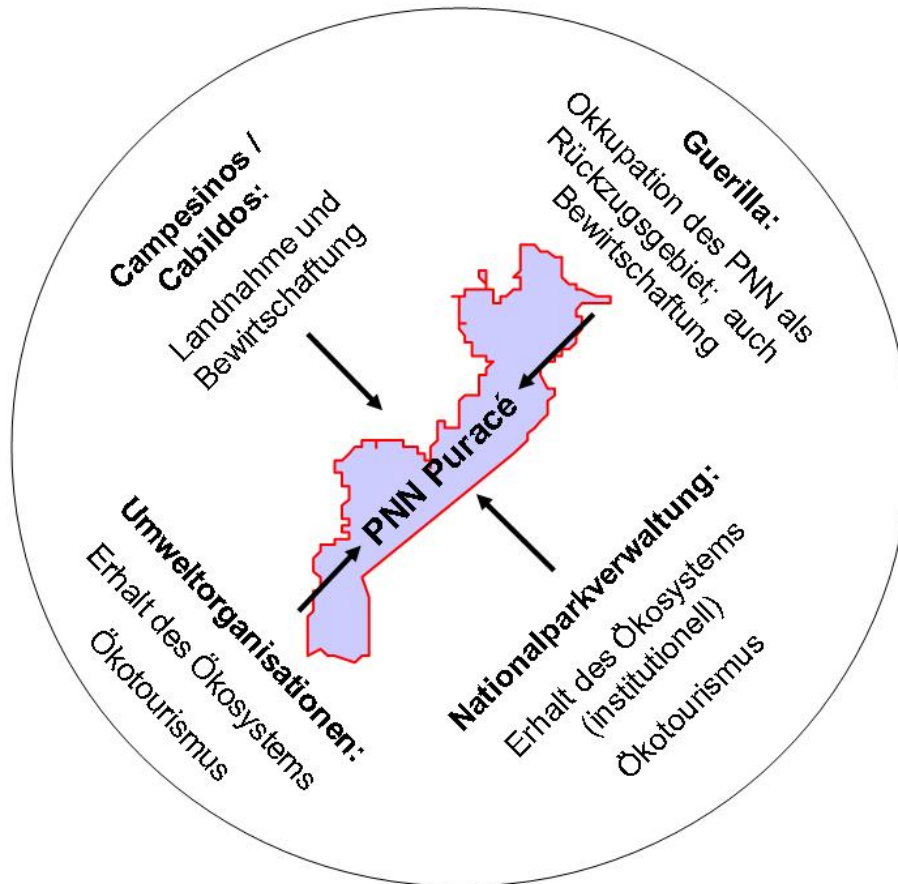


Abbildung 6.1: Die sich aktuell gegenüberstehenden Akteure im PNN Puracé.

Es handelt sich vier Gruppen, die mit unterschiedlichen Zielen im PNN Puracé interagieren. Im Einzelnen handelt es sich um die Campesinos mit den ihnen verbrieften Rechten zur Landnahme und Bewirtschaftung und die Guerilla, die den Norden des Parks u.a. als Rückzugs- und Transitraum nutzt. Dem stehen die verschiedenen Umweltorganisationen und die Nationalparkverwaltung mit den Zielen Naturschutz und Ökotourismus gegenüber.  
Eigene Darstellung.

Im Nationalpark stehen sich nicht nur die Campesinos mit den Raumentwicklungsbehörden und Gemeinden und der U.A.E.S.P.N.N. konfliktiv gegenüber, die die gesetzlichen Vorschriften durchzusetzen haben, hinzu kommt die Guerilla als weitere Kraft, die alle Nutzungspläne heute und in Zukunft torpedieren kann. Momentan wird der Sektor San Rafael (vgl. Abbildungen 4.6 und 4.16) als Rückzugsgebiet und Durchgangsstation der FARC zu den Departamentos Huila und vor allem Valle del Cauca (Farallones de Cali) genutzt. Somit ist die touristische Entwicklung und Inwertsetzung des PNN Puracé zunächst noch ein Zukunftsszenario.

Im Sektor Pilimbalá sind in der Nähe der PNN Station Wege angelegt, die seitens der

U.A.E.S.P.N.N. als ökologische Lehrpfade ausgebaut werden. Es handelt sich um wenige hundert Meter lange Pfade, die unter anderem auch die noch vorhandenen heißen Quellen auf dem Minengelände miteinbeziehen. Weiterhin ist von hier aus der Krater des Vulkan Puracé nach 7,5 km und 1.200 m Aufstieg zu erreichen.

Die Laguna San Rafael ist von der Hauptstraße aus auf einem ca. 2,0 km langen Weg zu erwandern. Die Abzweigung ist ungefähr 45 Minuten Fußweg von Pilimbalá entfernt. Kritisch muss angemerkt werden, dass alle Wege, insbesondere die in San Rafael, in schlechtem Zustand sind und vor einer nachhaltigen touristischen Nutzung dringend überholt werden müssten. Heute sind sie wegen der fehlenden Erreichbarkeit aufgrund der politischen Lage nicht zu nutzen. Ein anderes Zukunftsszenario läge in der Umweltbildung. Die Ausbesserung und Instandhaltung von Wegen und die Führung von Touristen kann eine neue Erwerbsquelle für die Bewohner der den PNN Puracé umgebenden Veredas der Gemeinde Puracé generieren, die nicht nur den unmittelbar im PNN Puracé beschäftigten Personen zu Gute käme.

### **6.3 Ausblick: Die Zukunft des PNN Puracé und der benachbarten Schutzgebiete**

Die Verteilung von Schutzgebieten ist in Kolumbien inselhaft (vgl. Abbildung 4.3). Es stehen zwar im ganzen Land Ausschnitte der unterschiedlichen Ökosysteme unter Schutz, allerdings fehlt eine Verbindung der Nationalparks untereinander, wie auch ein überregionales Konzept zum Erhalt der Kernzonen und zur nachhaltigen Nutzung der die Naturschutzgebiete umgebenden Areale.

Immanent ist es, die gesetzlichen Rechte der indigenen Gemeinschaften, wie auch die innenpolitische Situation des Landes in die Schutzgebietsplanungen einzubeziehen. Naturschutz kann somit nicht als Selbstzweck betrachtet werden, sondern wie von der U.A.E.S.P.N.N. (2001a und b) gefordert als ein Miteinander von staatlicher Planung und den betroffenen Menschen. Dies existiert bis heute nicht, der Plan de Manejo PNN Puracé (U.A.E.S.P.N.N. 2002d) listet auf sieben Seiten lediglich ein grobes Inventar der im Park heimischen Flora und Fauna auf ohne die Schutzziele zu thematisieren. Die im Norden des PNN Puracé vorkommenden Taxa können dieser Arbeit entnommen werden (vgl. Vegetationstabellen A 6 bis A 8 im Anhang).

Durch die Erlaubnis für die Indígena, in Teilen des Nationalparks auch weiterhin Viehzucht und Fischfang betreiben zu dürfen, werden die eigentlichen Naturschutzbestre-

bungen aufgeweicht. Wichtig ist es daher, den Schutz in den Kernzonen durchzusetzen und auch zu überwachen. Der Einfluss des Menschen manifestiert sich über die Beweidung und das Abbrennen von Grashorsten durch die Ausbreitung von *Blechnum loxense* in den unteren Páramostufen und durch Verstärkung der Erosion in den höher gelegenen Arealen. Es darf auch nicht vergessen werden, dass die Ausbreitung der Frailejones (*Espeletia spec.*) durch deren Brandresistenz erst durch das Brennen ermöglicht wird und es dadurch zu der Dominanz im Landschaftsbild kommt.

Um nunmehr den Norden des PNN Puracé in seiner heutigen Form erhalten zu können müssen langfristig Beweidung und Brennen verboten werden. Dies kann nur gelingen, indem um den heutigen Park herum eine Schutzzone ausgewiesen wird, in der nur eingeschränkt Ackerbau und Viehzucht betrieben werden sollte, um so die beiden in der Zentralkordillere gelegenen Nationalparks Huila (im Norden) und Puracé miteinander zu verbinden. Möglich ist die Schaffung eines übergreifenden Biosphärenreservates, innerhalb dessen die nachhaltige Nutzung in unter den Akteuren vereinbarten und nachfolgend ausgewiesenen Bereichen ausdrücklich erlaubt ist. Die Kernzonen der heute existierenden Nationalparks können so besser geschützt werden (vgl. Abbildung 6.2).

Damit wäre zu erreichen, dass die zerstückelten Naturschutzgebiete über einen Korridor miteinander verbunden werden und so nachfolgend über die Zentralkordillere ein Austausch von Tier- und Pflanzenarten ermöglicht wird. Unten stehende Abbildung zeigt die unterschiedlichen zur Diskussion zu stellenden Modelle: In einem ersten Schritt könnte durch die Ausweisung von Pufferzonen um die beiden bestehenden Nationalparks herum die Kernzone besser überwacht werden. Nachfolgend ist über einen gering besiedelten Teil der Zentralkordillere nördlich der Laguna San Rafael ein Korridor zu schaffen, der die beiden Parks verbindet. In einem letzten Schritt könnte auch der Korridor mit einer Pufferzone umgeben werden, so dass das neue Großschutzgebiet entsteht (vgl. Abbildung 6.2).

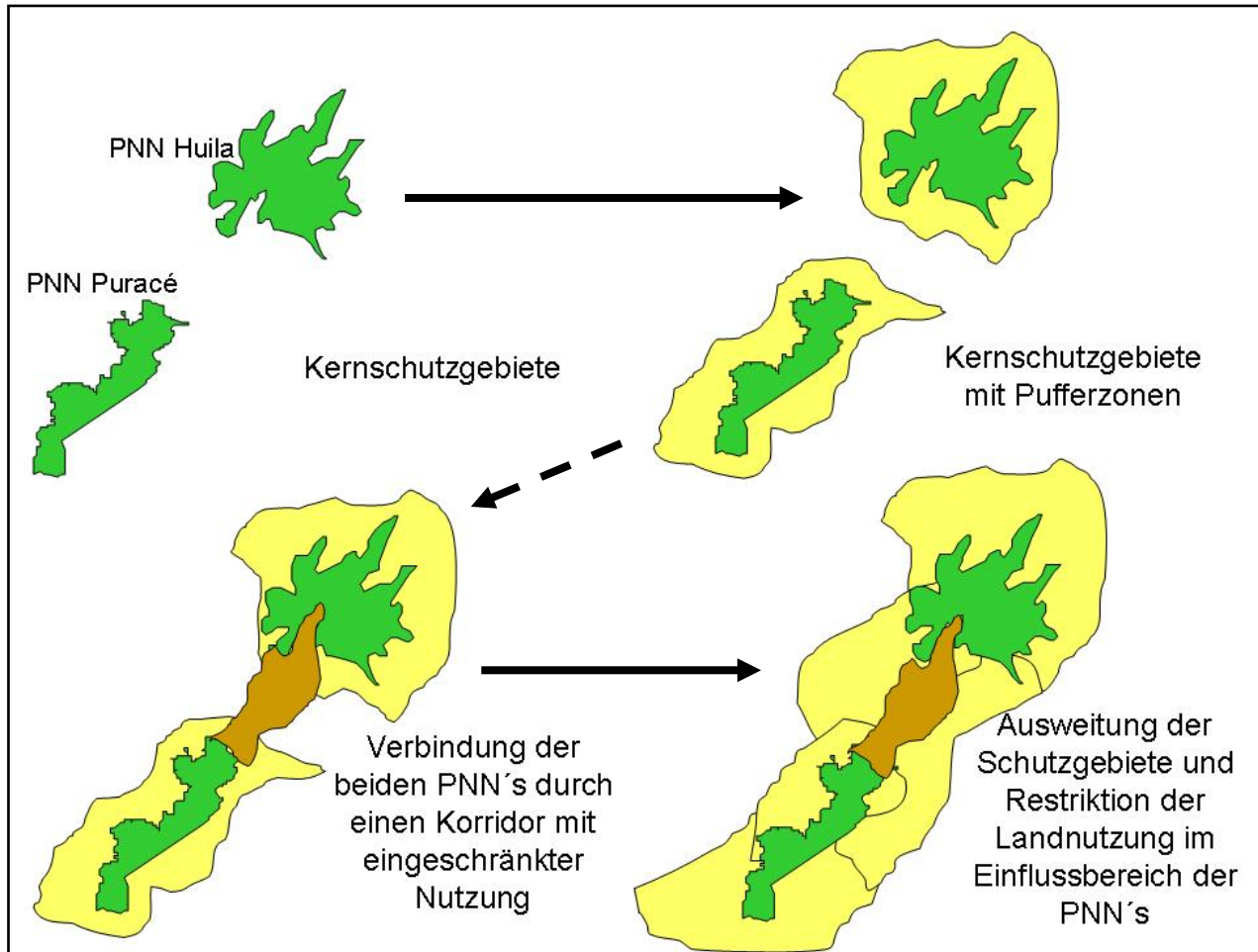


Abbildung 6.2: Szenario zur Zukunft des PNN Puracé und des im Norden gelegenen PNN Nevado del Huila.  
Eigene Darstellung.

Dieser Schritt erscheint dringend geboten, denn es werden entgegen der von Seiten der U.A.E.S.P.N.N. (2002b-d) publizierten Darstellung auch innerhalb der Parkgrenzen Bäume geschlagen und Viehhaltung betrieben (vgl. Photo 5.2). Dem kann begegnet werden, indem in niedriger gelegenen Stufen Aufforstungen entstehen und Weideflächen verfügbar gemacht werden. Ein nächster Schritt ist die Aufgabe der extensiven Viehhaltung durch Anlage von Korälen und Stallungen und das Füttern des Viehs in den Stallungen oder auf Wechselweiden.

In den Transitionszonen ist über das Instrument der Raumordnungsplanung das Bewusstsein zu schaffen, dass der Schutz der Ökosysteme schon hier und nicht erst innerhalb der Parkgrenzen beginnt. Der Schlüssel ist auch hier die angepasste Landnutzung mit den in der Höhenstufe ohne Zugabe von Fungiziden und Pestiziden wuchsfä-



higen hochandinen Kulturpflanzen, beispielsweise der Kartoffel (*Solanum tuberosum*), Mais (*Zea mays*), Lulo (*Solanum quitoense*), Bohnen (*Phaseolus vulgaris* var.), Kohl (*Brassica oleracea*) und Zwiebeln (*Allium cepa*) neben anderen.

Die heutige Situation zwischen den Hauptakteuren, nämlich der U.A.E.S.P.N.N. auf der einen und der örtlichen, vornehmlich indigenen Bevölkerung auf der anderen Seite, zeigt auf, dass trotz der Versuche von Seiten der Nationalparkbehörde, ein größeres Umweltbewusstsein zu schaffen, die den Indígena verbrieften Rechte zur Landnutzung auch im Schutzgebiet ausgenutzt werden.

Der POT schreibt die Untersuchung der verschiedenen Untersysteme vor. Nach der Evaluierung der nur geringen wirtschaftlichen Aktivität und Wertschöpfung durch den Anbau hochandiner Kulturpflanzen und Viehhaltung sowie Fischfang ist es angezeigt, neue Wege der Wertschöpfung zu finden: Auch hier wäre der Ökotourismus vorbehaltlich einer Befriedung Kolumbiens eine gute Möglichkeit, die örtliche Bevölkerung einzubinden und damit einen Beitrag zur Erhaltung des Naturraumes zu leisten. Wird nämlich zukünftig auf Brennen und Viehhaltung innerhalb der Grenzen des PNN verzichtet, gleichzeitig ein Einkommen durch Parkeintritte oder kleinere Restaurants für die örtliche Bevölkerung gesichert, so ist die Gefahr von Viehtrittbildung und nachfolgender flächenhafter Erosion und in Folge potenzielle Überschwemmungen stark vermindert.

Die Ergebnisse der Kartierungen in den beiden Pilotgebieten zeigen eine starke Homogenität bei den zu beobachtenden Prozessen. Die Übertragung in benachbarte Gebiete in der gleichen Höhenstufe gelingt in der chorischen Dimension ohne Schwierigkeiten. Dies gilt sowohl für die Morphologie, als auch die Vegetation.

In weiteren Arbeiten können die hier vorgestellten Ergebnisse auf andere Großschutzgebiete angewendet werden. Dies muss über die vernetzende Analyse ökologischer Inhalte mit den Akteuren erfolgen. Dem erwächst eine besondere Bedeutung vor dem Hintergrund der möglichen Verschmelzung der beiden PNNs Puracé und Nevado del Huila.

## 7 Zusammenfassungen

### 7.1 Zusammenfassung

Auf Grundlage von Luftbildern aus den Jahren 1989 und 1991 konnten für den Norden des PNN Puracé Digitale Geländemodelle und ein Orthophoto errechnet werden, die als Grundlage für Kartierungen in der topischen Dimension dienten. Diese Kartierungen wurden unter Anpassung der LE und des POT durchgeführt, nachfolgend wurde ein Vorschlag für die Mindestanforderungen einer Geländeaufnahme in tropischen Hochgebirgen erarbeitet. Die besondere innenpolitische Situation Kolumbiens hatte dabei in die Überlegungen einzufließen.

Aufgrund der Unzugänglichkeit einzelner Teile des PNN Puracé und der unbefriedigenden Qualität existierender Daten mussten Verfahren entwickelt werden, die zur Kartierung nötigen Grundlagen zu schaffen. Daher wurden die zur Aerotriangulation nötigen Passpunkte aus den Landsat-Szenen (Lage) und der SRTM-Shuttlemission (Höhe) ermittelt.

Die klimatische Einordnung des Untersuchungsraumes erfolgte über zwei Referenzstationen und die in der unmittelbaren Nähe oder innerhalb des PNN Puracé gelegenen Klimamessstellen. Daneben wurden auf einem unter homogenen Bedingungen angelegten Transekt die Bodentemperaturen gemessen und so die jeweilige Standorttemperatur ermittelt.

Die Vegetation wurde in den physiognomisch zu unterscheidenden Formationen untersucht und mit vorliegenden Untersuchungen aus Teilen des Projektgebietes verschnitten. Damit konnte auf die Assoziationen rückgeschlossen werden.

Die drei Vegetationshöhenstufen des Superpáramo, Páramo und Subpáramo dienen als Grundlage für die Standortwahl der Bodenuntersuchungen. Diese wurden jeweils unter homogenen Bedingungen in Mittelhangbereichen durchgeführt, um die Ergebnisse aus den verschiedenen Höhenstufen übertragen zu können.

Das Homogenitätskriterium und die Kartierung in typischen Ökotope sind die Grundlage für die Übertragung der Untersuchungsergebnisse in die chorische Dimension. In den Orthophotos und den errechneten thematischen Karten gelingt diese bis zu einer Objektgröße von 2 m in benachbarte Choren der Pilotgebiete.

Durch überwachte Klassifizierung werden in einem abschließenden Schritt die Vegetationsformationen in den Satellitenbildern ermittelt. Sowohl in den Orthophotos als auch den Landsat-Szenen konnten die Flächenanteile der Vegetationsformationen quantifiziert werden.

## 7.2 Summary

Based on aerial photographs from 1989 and 1991 it was possible to generate Digital Terrain Models and Orthophotos for the northern part of Puracé Nationalpark. Both DTM and Orthophotos served as basis for ecological studies in topical dimension. These mappings have been carried out by adaptation of German geocological methods and Colombian planning legislation. After that a suggestion for geocological mapping in tropical high mountains was given. The special domestic affairs of Colombia had to be taken into consideration.

Due to the inaccessibility of parts of Puracé Nationalpark and the insufficient quality of existing data special methods had to be developed in order to create an adequate basis for mappings. Therefore passpoints for aerotriangulation have been obtained from Landsat-satellite images (latitude and longitude) and SRTM-Shuttlemission (elevation).

For climatic analysis of the study area data from Popayán and Neiva outside the park and three sites within PNN Puracé have been processed. Furthermore a soil-temperature profile, taken under homogeneous conditions, allowed the determination of habitat-temperatures.

Vegetation-studies have been accomplished on basis of formations which could be distinguished physiognomically. These investigations have been compared to former studies which had been carried out in parts of the study area. Taken these results into consideration it was possible to describe the associations.

Soil studies have been made in the altitudinal belts of Subpáramo, Páramo and Superpáramo. In order to make the results of these analyses comparable, any of these surveys have been organised on middle slopes.

The criteria of homogeneity and mapping in topological dimension in typical ecotopes are the basis for latter transfer of results into the chorologic dimension. Based on Orthophotos and the calculated thematic maps it was possible to transmit objects of at last 2 m extent into neighbouring chores.

Supervised classification allowed in a final step the identification of vegetation-formations in Landsat-scenes. In the Orthophotos as well as in the satellite images the area of different vegetationformations could be quantified.

### 7.3 Resumen

En base a fotografías aéreas de los años 1989 y 1991 fue generado un modelo de terreno digital y una ortofoto del PNN Puracé. Las mismas fueron la base de la cartografía temática que a su vez se basó en elementos de un sistema de clasificación geocológico alemán y del POT. A partir de ésto, se señalan una serie de requerimientos mínimos a tener en cuenta para la generación de la cartografía.

La particular situación política de Colombia influyó en el planeamiento del trabajo. Debido a la inaccesibilidad a determinadas regiones en el PNN Puracé y a la mala calidad de los datos de que se disponía, debieron desarrollarse métodos alternativos para la obtención de los elementos necesarios para la cartografía. Por esta razón, los puntos de control necesarios para la aerotriangulación fueron obtenidos de imágenes Landsat (latitud y longitud) y de la misión SRTM (altura).

La clasificación climática de la región se basó en datos de dos estaciones meteorológicas de referencia (Popayán y Neiva) y en la información de estaciones de medición de precipitación en PNN Puracé y sus cercanías. Adicionalmente fueron medidas las temperaturas a nivel del suelo en condiciones homogéneas a lo largo de una transecta.

La vegetación de la zona en cuestión fué dividida en diferentes formaciones, diferenciables según criterios fisionómicos. En base a éstas fueron determinadas las asociaciones vegetales típicas.

Los muestreos para la caracterización edáfica se realizaron tomando como referencia principal las tres pisos de vegetación: Superpáramo, Páramo y Subpáramo. Los muestreos se realizaron en pendientes medias y en condiciones homogéneas, de manera de que los resultados generados en las diferentes zonas de vegetación pudieran ser comparables.

La incorporación de los resultados del relevamiento a la dimensión del geotopo se basó en criterios de homogeneidad y el mapeo según ecotopos típicos. En las ortofotos y en los mapas temáticos generados son caracterizables unidades de al menos 2 x 2 m.

Finalmente, las diferentes formaciones vegetales fueron caracterizadas en las imágenes satelitales mediante el método de clasificación referenciada. Las superficies correspondientes a las diferentes formaciones vegetales pueden ser cuantificadas tanto en las imágenes Landsat como en las fotografías aéreas.

## 8 Literaturverzeichnis

- ABN (Hrsg.)(1985): Nationalparke: Anforderungen, Aufgaben und Problemlösungen, aus: Jahrbuch Naturschutz und Landschaftspflege **37**, Bonn, 119 S.
- ACEVEDO, A. P., MONSALVE B., M. L. und CEPEDA V., H. (1987): Petrografía de algunas Lavas del Volcán Puracé en Épocas Históricas, unveröff. Manuskript INGEOMINAS Popayán, 10 S.
- ACOSTA, C. E. (1980): Los Coconucos, un punto caliente?, in: Revista de Geografía Universidad Nacional de Colombia **2 (1)**, Santafé de Bogotá, S. 7 - 34.
- AEPPLI, H. und SCHÖNHALS, E. (1975): Das Mexiko-Projekt der deutschen Forschungsgemeinschaft **VIII**: Die Böden des beckens von Puebla- Tlaxcala, Wiesbaden, 153 S.
- AG BODEN (Hrsg.)(1996): Bodenkundliche Kartieranleitung, Hannover, 392 S.
- ALBERTZ, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern, Frankfurt, 249 S.
- ALFARO, C., BERNAL, N., RAMÍREZ, G. und ESCOVAR, R. (2000): Colombia, Country Update, in: Proceedings World Geothermal Congress 2000, 10 S.
- ALLIANCE FOR NATURE (Hrsg.) (1990): Die IUCN-Kriterien der "1985 United Nations List of National Parks and Protected Areas", Wien, S. 1 - 19.
- ÁLVAREZ, M. D. (2001): Forests under Fire, aus: [http://nacla.mediumblend.com/art\\_display\\_printable.php?art=452](http://nacla.mediumblend.com/art_display_printable.php?art=452), 10 S.
- ARANGO, C. (1994): Perspectivos de la Agroecología y del Desarrollo Sostenible, aus: Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios **II**, CIPAV, Cali, S. 11 - 16.
- ARCILA, M. (1996): Geophysical Monitoring of the Puracé Volcano, Colombia, unveröff. Arbeit INGEOMINAS, Popayán, 11 S.
- AYLWARD, B. und TOGNETTI, S. S. (2002): Valuation of hydrological externalities of land use change: Lake Arenal case study, Costa Rica, aus: FAO Land-water linkages in rural watersheds Case study series, Rom, 20 S.
- BACKHAUS, N und KOLLMAIR, M. (2001): Heilige Institutionen? – Regelungen von Nutzungsansprüchen und Ressourcen von Nationalparks, in: Geographica Helvetica **56-1**, S. 57 - 69.
- BAHRENBERG, G., GIESE, E. und NIPPER, J. (1990): Statistische Methoden in der Geographie 1, Stuttgart, 233 S.
- BAHRENBERG, G., GIESE, E. und NIPPER, J. (1992): Statistische Methoden in der Geographie 2, Stuttgart, 415 S.
- BAKER, W. L. (1989): A review of models of landscape change, in: Landscape Ecology **2 (2)**, S. 111 - 133.
- BAKER, W. L. (1992): The landscape ecology of large disturbances in the design and management of nature reserves, in: Landscape Ecology **7 (3)**, S. 181 - 194.

- BAKER, P. und G. O. (2001): The History of South American Tropical Precipitation for the past 25,000 Years, in: *Science* **291**, S. 640 - 643.
- BALSLEV, H. und LUTEYN, J. L. (Hrsg.)(1992): *Páramo – An Andean Ecosystem under Human Influence*, London, 282 S.
- BARKMANN, J. (2001): Angewandte Ökosystemforschung zwischen Biodiversitäts-, Landschafts- und Ressourcenschutz, in: *Peterm. Geogr. Mitt.* **145** (1), S. 16 – 23.
- BARONA B., G. und GNECCO V., C. (Hrsg.)(2001a): *Territorios posibles – Historia, Geografía y Cultura del Cauca I*, Santiago de Cali, 452 S.
- BARONA B., G. und GNECCO V., C. (Hrsg.)(2001b): *Territorios posibles – Historia, Geografía y Cultura del Cauca II*, Santiago de Cali, 382 S.
- BARONA B., G., DOMINGUEZ O., C., GÓMEZ L., A. J. und FIGUEROA C., A. (2002): *Geografía Física y Política de la Confederación Granadina: Estado del Cauca*, Santiago de Cali 458 S.
- BARRETT, T. M. (2001): *Models of Vegetative Change for Landscape Planning: A Comparison of FETM, LANDSUM, SIMPLLE, and VDDT*, aus: USDA, Ogden, 14 S.
- BARTHOLOMÄUS, A. et al. (1995): *El Manto de la Tierra: Flora de los Andes*, Bogotá, 332 S.
- BAUMANN, F. (1988): *Geographische Verbreitung und Ökologie südamerikanischer Hochgebirgspflanzen*, aus: *Physische Geographie* **28**, Zürich, 206 S.
- BEDENO, I. (2004): *Tenencia de la Tierra en la Meseta de Popayán*, unveröff. Manuskript U.A.E.S.P.N.N. Popayán, 9 S.
- BENDIX, J. (2004): *Extremereignisse und Klimavariabilität in den Anden von Ecuador und Peru*, in: *Geogr. Rdsch.* **56** (1), S. 10 – 16.
- BENDIX, J. und LAUER, W. (1992): *Die Niederschlagsjahreszeiten in Ecuador und ihre klimadynamische Interpretation*, in: *Erdkunde* **46**, S. 118 - 134.
- BERNAL-GARCÍA, G. H. (1986): *Estudio del Regimen de brillo solar en Colombia*, aus: *Atmósfera* **8**, Santafé de Bogotá, S. 53 - 65.
- BLASCHKE, T. (2000): *Die Vernetzung von Landschaftselementen: Die Rolle von GIS in der Landschaftsplanung*, in: *GIS* **6**, S. 17 – 26.
- BLASCHKE, T. (2001): *Multiskalare Bildanalyse zur Umsetzung des Patch-Matrix-Konzepts in der Landschaftsplanung. „Realistische“ Landschaftsobjekte aus Fernerkundungsdaten*, in : *Naturschutz und Landschaftsplanung* **33**, Stuttgart, S. 84 - 89.
- BLUM, W. E. H. (1992): *Bodenkunde in Stichworten*, Berlin, 175 S.
- BLUMENSTEIN, O., SCHACHTZABEL, H., BARSCH, H., BORK, H.-R. und KÜPPERS, U. (2000): *Grundlagen der Geoökologie*, Berlin, 260 S.
- BONNIEUX, F. und LE GOFFE, P. (1997) : *Valuing the Benefits of Landscape Restoration : a Case Study of the Cotentin in the Lower-Normandy, France*, in : *Journal of Environmental Management* **50**, S. 321 - 333.

- BRAITMEIER, M. (2001): Programmbeschreibung KIWI, unveröff. Manuskript Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 13 S.
- BRAITMEIER, M. (2003): Die Energiebilanz an der Oberfläche des Nevado Santa Isabel, Kolumbien, Düsseldorf, 116 S.
- BRAITMEIER, M. (2006): Programmbeschreibung IMATie, unveröff. Manuskript Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 34 S.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie, Wien, 865 S.
- BROWN, D. G., PIJANOWSKI, B. C. und DUH, J. D. (2000): Modelling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA, in: Journal of Environmental Management **59**, S. 247 - 263.
- BUTT, N. und PRICE, M. F. (Hrsg.) (2000): Mountain People, Forests, and Trees: Strategies for Balancing Local Management and Outside Interests, New York, 56 S.
- CAM (2001): Plan de Gestión ambiental Regional 2001 – 2010, Neiva, 100 S .
- CARDONA, M. C. (2001): Proyecto Información y análisis para el manejo forestal sostenible: integrando esfuerzos nacionales e internacionales en 13 países tropicales en America latina – Recursos forestales y cambio en el uso de la tierra, Santiago de Chile, 80 S.
- CASTRILLÓN, A. (1994): Gestión y ejecución de una propuesta participativa para la planificación y el ordenamiento territorial en Restrepo-Valle, aus: Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios II, Cali, S. 135 - 146.
- CEPEDA V., H., MONSALVE B., M. L. und PULGARÍN A., B. (1991): Origen y Mechanismo Eruptivo del Flujo Piroclástico de Agua Blanca, Volcán Puracé, unveröff. Manuskript INGEOMINAS Popayán, 23 S.
- CHARA, J. D. (1994): “La Agroaguacultura”: Una alternativa para descontaminar y producir, aus: Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios, CIPAV; Cali, S. 165 - 178.
- CLEEF, M. A. (1981): The vegetation of the paramos of the Colombian Cordillera Oriental, Utrecht, 321 S.
- CLELAND, D. T., AVERS, P. E., McNAB, W. E., JENSEN, M. E., BAILEY, R. G., KING, T. und RUSSELL, W. E. (1997): National Hierarchical Framework of Ecological Units, aus: Ecosystem Management Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources, Yale, S. 181 - 200.
- CRACRAFT, J. und GRIFO, F. T. (Hrsg.) (1999): The Living Planet In Crisis – Biodiversity Science and Policy, New York, 228 S.
- C.R.C. (2002) : Plan de gestión ambiental regional des Departamento del Cauca, Popayán, 217 S.
- CUATRECASAS, J. (1987): Lectura: Aspectos de la vegetación natural de Colombia, aus: RODRÍGUEZ G., P. I.: Fundamentos de Silvicultura, Santafé de Bogotá, S. 94 – 110 (Nachdruck des Originaltexts von 1954).
- CVC et al. (1998): Cifras de Tierra y Vida, Cali, 125 S.



- DANE (1998): Proyecciones municipales de población, Santafé de Bogotá D.C.
- DANE (2002): Encuesta Nacional Agropecuaria 2001, Santafé de Bogotá D.C., 207 S.
- DANE (2003): Índice de Estadísticas [verschiedene Dokumente zu Statistischen Informationen] aus: <http://www.dane.gov.co/estadisticas/estadisticas.html>.
- DAVALOS, L. M. (2001): The San Lucas mountain range in Colombia: how much conservation is owed to the violence?, in: *Biodiversity and Conservation* **10**, S. 69 - 78.
- DAVIES, P. J., FITZPATRICK, R. W., BRUCE, D. A., SPOUNCER, L. R. und MERRY, R. H. (2002): Land Degradation Assessment in the Mount Lofty Ranges: Upsaling from Points to Regions via a Toposequence, in: *ACIAR* **84**, S. 291 – 303.
- DECKERS, J. A. et al. (Hrsg.) (1998): *World Reference Base for Soil Resources – Introduction*, Weeze, 165 S.
- DELPIROU, A. (2003): Territorialité et conflit armé en Colombie, aus : *La Géographie – Acta Geographica* **1511**, S. 28 – 47.
- DESPAIN, D. G., WEAVER, T. und ASPINALL, R. J. (2001): A Rule-based model for Mapping Potential Exotic Plant Distribution, in: *Western North American Naturalist* **61 (4)**, S. 428 - 433.
- DIAGO, J. C. (1998): Long-Period Seismicity and Acid Gas Emissions in 1995 at Puracé Volcano – Colombia, aus: *Japan International Cooperation Agency (JICA)*, Tokio, 18 S.
- DIAZ B, E. B. und PAZ B., L. P. (2002): Evaluación del Régimen de Humedad del Suelo bajo diferentes Usos en los Páramos Las Animas (Municipio de Silvia) y Piedra de León (Municipio de Sotará). Departamento del Cauca, Popayán, 142 S.
- DILGER, G. (2000): Mosaik der Gewalt – Aktuelle Anmerkungen zu den Konflikten in Kolumbien, in: *Lateinamerikanachrichten* **307**, S. 28f.
- DÖRRIE, C. (2001): Boden und Vegetation im Bereich von Huachacalla (Altiplano - Bolivien), Düsseldorf, 334 S.
- DREWS, A. D. (1994): Valor de la regeneración (sucesión) natural en el desarrollo de sistemas silvopastoriles y en el reordenamiento del uso del territorio, aus: *Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios II*, Cali, S. 42 - 56.
- DRONIA, H. (1983): Bodentemperaturmessungen in tropischen Gebirgen, in: *Erdkunde* **37**, S. 292 - 295.
- DUQUE, A. und RANGEL CH. J. O. (1989): Prehispanic Chieftains in the Valle de la Plata, Volume 1: Análisis Fitosociológico de la Vegetación paramuna del Parque Natural Puracé, in: *University of Pittsburgh Memoirs in Latinamerican Archaeology* **2**, S. 69 - 93.
- ECKERT, G. (1948): Totenkult und Lebensglaube im Caucatal, aus: *Kulturgeschichtliche Forschungen* **1**, Braunschweig 61 S.
- EHLERS, E. (1985): Die agraren Siedlungsgrenzen der Erde, in: *Geogr. Rdsch.* **37**, S. 330 - 338.
- EIDT, R. C. (1968): The Climatology of South America, aus: *Biogeography and Ecology in South America* **1**, S. 54 – 81.

- ELBERS, J. (2002): Agrarkolonisation im Alto Beni – Landschafts- und politisch-ökologische Entwicklungsforschung in einem Kolonisationsgebiet der Tropen Boliviens, Düsseldorf, 247 S.
- ELLENBERG, H. (1975): Vegetationsstufen in perhumiden bis perariden Bereichen der tropischen Anden, in: *Phytocoenologia* **2**, S. 368 - 387.
- ELLENBERG, H. (1977): Man's influence on Tropical Mountain Ecosystems in South America, Lancaster, S. 401 - 416.
- EL TIEMPO (2002a): *Paezes*, una etnia con esperanza, in: EL TIEMPO, 12.10.2002, Santafé de Bogotá, 3 S.
- EL TIEMPO (2002b): Se reactivaron expectativas de paz con 'paras' y ELN y de intercambio humanitario con las Farc, in EL TIEMPO, 01.12.2002, Santafé de Bogotá, 4 S.
- ENDLICHER, W. (1986): Geoökologische Feldforschung in Übersee: Vorerkundung, komplexe Standortanalysen und Quantifizierungen in verschiedenen Dimensionen exempliert am Problem der Landschaftsdegradation im Küstenbergland von Concepción/Chile, aus: *Geomethodica* **11**, Basel, S. 79 – 107.
- ERDMANN, K.-H. und BORK, H.-R. (2002): Naturschutz: Neue Ansätze, Konzepte und Strategien, aus: BfN - Skripten **67**, Bonn, 225 S.
- ERDMANN, N. (1999): Landnutzung und Möglichkeiten deren nachhaltiger Entwicklung im Municipio Caicedonia / Valle / Kolumbien. Unveröff. Staatsexamensarbeit an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, 137 S.
- ERIKSEN, W. (1984): Eco-Climatological Aspects of the Bolivian Puna with Special Reference to Frost Frequency and Moisture Conditions, aus: *Erdwissenschaftliche Forschung* **XVIII**, Stuttgart, S. 197 – 209.
- ERZ, W. (1997): Naturdenkmalpflege: Vom "Priezelkram" zum Welterbe, in: *Natur und Landschaft* **72**, Stuttgart, S. 245 - 247.
- ESCOBAR M., J. F. und DUQUE M., J. A. (1999): Mapa de Coberturas con base en Imágenes de Satélite Landsat TM, Medellín, 39 S.
- ESLAVA R., J. A, LÓPEZ G., V. A. und OLAYA T., G. (1986): Los Climas de Colombia, aus: *Atmósfera* **7**, Santafé de Bogotá, S. 41 – 77.
- ESPINOSA B., A. (1989): Datos sobre la Actividad del Volcán Puracé en Épocas Históricas, unveröff. Manuskript INGEOMINAS Popayán, 22 S.
- ESPINOSA B., A. (2001): Erupciones históricas de los Volcanes Colombianos (1500 – 1995), Santafé de Bogotá D.C., 291 S.
- FALGE, E. et al. (2001a): Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange, in: *Agricultural and Forest Meteorology* **107**, S. 43 - 69.
- FALGE, E. et al. (2001b): Short communication Gap filling strategies for long term energy flux data sets, in: *Agricultural and Forest Meteorology* **107**, S. 71 - 77.
- FAO (1998a): *FAO Yearbook, Production 1997*, Rom.

- FAO (1998b): FAO Yearbook, Trade 1996, Rom.
- FAO (1998c): World reference base for soil resources, aus: <http://www.fao.org/docrep/W8596E/w8596e/00.htm>, Rom.
- FAO (1999): Committee on Agriculture; Fifteenth Session: Organic Agriculture, aus: <http://www.fao.org/unfao/bodies/COAG/COAG15/X0075E.htm>, Rom, 9 S.
- FAO (2000a): Simple Soil, Water and Plant Testing Techniques for Soil Resource Management, Rom, 166 S.
- FAO (2000b): Guidelines for Participatory Diagnosis of Constraints and Opportunities for Soil and Plant Nutrient Management, Rom, 107 S.
- FAO (2000c): Prevention of Land Degradation, Enhancement of Carbon Sequestration and Conservation of Biodiversity through Land Use Change and Sustainable Land management with a Focus an Latin America and the Caribbean, aus: World Soil Resources Reports **86**, Rom, 122 S.
- FAO (2000d): Sistemas de uso de la Tierra en los Trópicos Húmedos y la Emisión y Secuestro de CO<sub>2</sub>, aus: World Soil Resources Reports **88**, Rom, 120 S.
- FAO (2000e): Land resource potential and constraints at regional and country levels, aus: World Soil Resources Reports **90**, Rom, 122 S.
- FAO (2001): Conservation Agriculture – Case studies in Latin America and Africa, aus: FAO Soils Bulletin **78**, Rom, 83 S.
- FAO und UNESCO (1971): Soil map of the world 1:5.000.000 Volume IV South America, Paris, 193 S.
- FAUST, F. X. (1998): Totgeschwiegene indianische Welten – Eine Reise in die Philosophie der Nordanden, Gehren, 160 S.
- FINCK, H. (1981): Entwicklungsplanung in Kolumbien – Dargestellt am Beispiel des Agrarsektors, Darmstadt, 332 S.
- FINKE, L. (1984): Landschaftsökologie und räumliche Planung, in: Deutscher Geographentag: Tagungsbericht und wissenschaftl. Abhandlungen, Stuttgart, S. 123 - 132.
- FINKE, L. (1996): Landschaftsökologie, Braunschweig, 245 S.
- FITTKAU et al. (Hrsg.) (1968): Biogeography and Ecology in South America Volume **1**, The Hague, 447 S.
- FLÖRCHINGER, F. (1999): Effects of Soil Erosion on Crop Productivity in the Southwest Columbian Andes, Hohenheim, 84 S.
- FLÓREZ, A. (1983): Cadena Volcánica de los Coconucos Cordillera Central – Ensayo de Cartografía Geomorfológica con Base en Fotointerpretación, aus: Colombia Geográfica **10 (2)**, S. 33 - 56.
- FLÓREZ, A. (1986): Relación altitudinal de la temperatura del suelo y del aire en los Andes Centrales de Colombia, in: Colombia Geográfica **12 (2)**, S. 5 - 36.
- FLÓREZ, A. (1990): La Recesión de los Glaciares desde la pequeña edad glaciaria, in : Colombia Geográfica **14 (1)**, S. 33 - 67.

- FLÜGEL, W.-A. und STAUDENRAUSCH, H. (1999): Hydrological network modelling using GIS for supporting integrated water resources management, aus: [www.geogr.uni-jena.de/~c5sthe/publications/modsim99\\_paper.pdf](http://www.geogr.uni-jena.de/~c5sthe/publications/modsim99_paper.pdf), 6 S.
- FORERO-ALVAREZ, J. (2000): Economic incentives for micro-watershed management in Colombia, in: UNEP: Incentive measures for Conservation of Biodiversity and Sustainability: A case study of Colombia, S. 37 - 64.
- FRANKE, W. (1997): Nutzpflanzenkunde, New York, 509 S.
- FREY, W. und LÖSCH, R. (1998): Lehrbuch der Geobotanik: Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit, Stuttgart, 436 S.
- FÜSSEL, H.-M. und MINNEN, J. G. VAN (2001): Climate impact response functions for terrestrial ecosystems, in: Integrated Assessment **2**, S. 183 – 197.
- FUNDACIÓN ECOSISTEMAS ANDINOS – ECOAN (Hrsg.)(1998): El Páramo – Ecosistema de alta Montaña, Santafé de Bogotá, 168 S.
- GARCÍA G., R., SALAMANCA V., S. und FLÓREZ, A. (1985): Fundamentos para la Definición de Pisos Bioclimáticos, aus: IGAC Análisis Geográficos **11**, Santafé de Bogotá, 104 S.
- GARCÍA G., R. (1986): Ensayo interpretativo sobre las relaciones lluvia-altitud en Colombia, aus: *Atmósfera* **8**, Santafé de Bogotá, S. 93 - 102.
- GARCÍA G., R. (1992): Anomalías climáticas asociadas al fenómeno de El Niño, in: Memorias del 3<sup>er</sup> Coloquio Regional de Geografía, 16 S.
- GARCÍA G., R. (1998a): Caracterización de las fases Pre-El-Niño en el suroccidente de Colombia, in: Bulletin de l'Institut Français d'Etude Andine **27 (3)**, S. 733 - 742.
- GARCÍA G. R. (1998b): Consideraciones sobre la Pluviometría de Norte del Departamento del Cauca, aus: *Unicauca Ciencia* **3**, S. 61 - 71.
- GARCÍA G., R. (2001): Caracterización Fisiográfica del Alto Caquetá, aus: VII Coloquio de Geografía, S. 190 - 201.
- GASSER, W und ZÖBISCH, M. A. (1988): Erdbeben und Maßnahmen der Hangsicherung -ein Überblick-, aus: *Der Tropenlandwirt, Beiheft* **37**, Kassel, 165 S.
- GEF (2000): Concept Paper: Biodiversity Conservation in the Paramo and Montane Forest Ecosystems of the Colombian Massif, aus: [www.gefweb.org/COUNCIL/GEF\\_C15/GEF\\_C15\\_Inf.13/colombia.pdf](http://www.gefweb.org/COUNCIL/GEF_C15/GEF_C15_Inf.13/colombia.pdf), 6 S.
- GENTRY, A. H. (1982): Neotropical floristic diversity: phytogeographical connections between Central and South America: Pleistocene climatic fluctuations or an accident of the Andean Orogeny?, in: *Ann. Mo. Bot. Gdn.* **69**, S. 557 - 593.
- GENTRY, A. H. (1984): Patterns of neotropical plant-diversity, in: *Evol. Biol.* **15**, S. 1 - 84.
- GENTRY, A. H. (1993): A Field Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru) with supplementary notes on herbaceous taxa, Washington D. C., 895 S.
- GEROLD, G. (2002): Geoökologische Grundlagen nachhaltiger Landnutzungssysteme in den Tropen, in: *Geogr. Rdsch.* **54 (4)**, S. 4 - 10.

- GERRARD, A. J. (1981): Soils and landforms – An Integration of Geomorphology and Pedology, London, 219 S.
- GERTH, H. (1951): Die Fortschritte der Geologischen Forschung im Kordillereengebiet Südamerikas während und nach dem Zweiten Weltkrieg, in: Geol. Rdsch. **39**, S. 255 - 273.
- GHIMIRE, K. B. und PIMBERT, M. P. (1997): Social Change and Conservation: An Overview of Issues and Concepts, in: Earthscan, London, S. 1 – 45.
- GISI, U. et al. (1997): Bodenökologie, Stuttgart, 350 S.
- GONZÁLEZ, F. E. (2002) : Colombia entre la guerra y la paz. Aproximación a una lectura geopolítica de la violencia Colombiana, in: Rev. Venez. de Econ. y Ciencias Sociales **8 (2)**, S. 13 - 49.
- GRAF, K. (1978): Zur Mechanik von Frostmusterprozessen in Bolivien und Ecuador, in: Zeitschr. f. Geomorphologie N. F. **20**, S. 417 – 447.
- GRAF, K. (1981): Zum Höhenverlauf der Subnivalstufe in den tropischen Anden, insbesondere in Bolivien und Ecuador, aus: Zeitschr. f. Geomorphologie/Suppl. **37**, Berlin, S. 1 – 24.
- HAASE, G. (1964): Landschaftsökologische Detailuntersuchung und naturräumliche Gliederung, in: Peterm. Geogr. Mitt. **108**, S. 8 - 30.
- HAASE, G. (1976): Die Arealstruktur chorischer Naturräume, in: Peterm. Geogr. Mitt. **120**, S. 130 - 135.
- HAASE, G. (1979): Entwicklungstendenzen in der geotopologischen und geochorologischen Naturraumerkundung, in: Peterm. Geogr. Mitt. **123**, S. 7 – 18.
- HAEFNER, H. (1987): Der Einsatz der Fernerkundung bei landschaftsökologischen Untersuchungen – Methodische Aspekte und praktische Beispiele, aus: Geomethodica **12**, Basel, S. 25 – 56.
- HAMMEN, T. VAN DER und DOS SANTOS, A. G. (Hrsg.)(1995): La Cordillera Central Colombiana Transecto Parque Los Nevados (Tercera Parte) aus : Estudios de Ecosistemas Tropandinos **4**, Berlin, 613 S.
- HECK, V. (2000): Vergleichende Untersuchung von typischen Geoökotopen im Municipio (Gemeinde) Caicedonia / Valle / Kolumbien auf Basis von GÖK und POT, Masterarbeit Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 160 S.
- HECK, V. (2005): Galápagos – Konflikte in einem einzigartigen Naturraum, in: Praxis Geographie **35 (9)**, S. 16 – 21.
- HEINE, K. (1975): Das Mexiko-Projekt der deutschen Forschungsgemeinschaft **VII**: Studien zur jungquartären Glazialmorphologie Mexikanischer Vulkane, Wiesbaden, 178 S.
- HEINE, K. und NILLER, H.-P. (2004): Die Anden Südamerikas, in: Geogr. Rdsch. **56 (3)**, S. 4 – 12.
- HELMSING, A. H. J. (1986): Firms, Farms, and the State in Colombia, Boston, 295 S.

- HERWEG, K. (1993): Potenciales y Limitaciones para un uso sostenible del uso de la tierra en el Alto Andino de Etiopía, en: *Geographica* **18**, Basel, S. 21 – 58.
- HETTNER, A. (1969): *Reisen in den Columbianischen Anden*. Unveränderter Nachdruck des 1888 erschienenen Werks, Stuttgart, 398 S.
- HOCHHUT, E.-S. (2005): Satellitenbild und multivariate Analyseverfahren bei Vegetationsuntersuchungen: Zur Erfassung unterschiedlicher Vegetationsausprägungen auf Teneriffa, in: *Geoökologie* **XXVI**, S. 163 – 177.
- HOFSTEDE, R. G. M. (1997) : La Importancia Hídrica del Páramo y Aspectos de su Manejo, aus: <http://www.codesan.org/infoandina/Foros/cdpp/cdpp31.htm>, 5 S.
- HOFSTEDE, R. G. M. (2002): Los páramos Andinos; su diversidad, sus habitantes, sus problemas y sus perspectivas, Quito, 25 S.
- HOLDRIDGE, L. R. (1987): *Ecología basada en zonas de vida*, San José, 216 S.
- HUBER, M. (1994): The digital Geo-Ecological Map – Concepts, GIS-Methods and Case Studies, aus: *Basler Beiträge zur Physiogeographie* **20**, Basel, 144 S.
- HUMBOLDT, A. VON (1986): *Reise auf dem Magdalena, durch die Anden und Mexico*, Berlin, 402 S.
- IDEAM (Hrsg.)(1999): *El Macizo Colombiano y su área de influencia*, Santafé de Bogotá, 189 S.
- IDEAM (Hrsg.)(2001a): *Colombia – Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, Santafé de Bogotá, 267 S.
- IDEAM (Hrsg.)(2001b): *Unidades Geomorfológicas del Territorio Colombiano*, Santafé de Bogotá, 59 S.
- IDEAM (Hrsg.)(2002): *Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en Condición Hot Spot & Global Climatic Tensor*, Santafé de Bogotá, 387 S.
- IDEAM (2003a): ACUERDO No. 0033 del 16 de septiembre de 1975, aus: <http://www.ideam.gov.co/legal/acuerdos/1970/ac033-1975.htm>, 4 S.
- IDEAM (2003b): RESOLUCION EJECUTIVA No. 160 del 6 de junio de 1977, aus: <http://www.ideam.gov.co/legal/resol/1970/r0160-1977.htm>, 5 S.
- IFPRI (Hrsg.)(2000): *Promoting Sustainable Development in less-favoured Areas: Technologies for the Tropical Andes* **4 (4/9)**, 2 S.
- IGAC (Hrsg.)(1980): *Estudio semidetallado de Suelos del Valle del Río Cauca*, Santafé de Bogotá, 582 S.
- IGAC (Hrsg.)(1982): *Estudio General de Suelos de la Región Nororiental del Departamento del Cauca*, Santafé de Bogotá, 465 S.
- IGAC (Hrsg.)(1984): *Estudio Regional Integrado del Altiplano Cundiboyacense – Metodologías*, Santafé de Bogotá, 441 S.
- IGAC (Hrsg.)(1995): *Suelos de Colombia – origen, evolución, clasificación, distribución y uso*, Santafé de Bogotá, 631 S.

- IGAC (Hrsg.)(1997): Guía Metodológica para la Formulación del Plan de Ordenamiento Territorial Municipal, Santafé de Bogotá, 186 S.
- IGAC (Hrsg.)(1999): Ley 388 del 18 de julio de 1997: "Por la cual se modifica la ley 9a. de 1989, y la ley 3a. de 1991 y se dictan tras disposiciones, Santafé de Bogotá, 67 S.
- INGEOMINAS (Hrsg.)(2000): Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia, Santafé de Bogotá, 119 S.
- INSTITUTO HUMBOLDT (Hrsg.)(2000): La investigación como estrategia de la Capacitación y gestión ambiental a Escala local y regional, in: BIOSINTESIS **17**, S. 1 - 4.
- IRVING, E. M. (1972): La evolución estructural de los Andes más seroentiales de Colombia, in : Bol. Geol. **19 (2)**, 89 S.
- IVES, J. D. und MESSERLI, B. (2001): Perspektiven für die zukünftige Gebirgsforschung und Gebirgsentwicklung, in: Geogr. Rdsch. **53 (12)**, S. 4 - 7.
- IUCN (1994): Guidelines for Protected Area Management Categories, Gland, 83 S.
- JARVIS, A. (2000): Measuring and Modelling the Impact of Land-Use Change in Tropical Hillside: The Role of Cloud Interception to Epiphytes, in: Advances in Environmental Monitoring and Modelling **1 (1)**, S. 118 – 148.
- JEDICKE, E. (1995): Ressourcenschutz und Prozeßschutz, Diskussion notwendiger Ansätze zu einem ganzheitlichen Naturschutz, in: Naturschutz und Landschaftsplanung **27**, S. 127 - 133.
- JEDICKE, E. (1998): Raum-Zeit-Dynamik in Ökosystemen und Landschaften. Kenntnisstand der Landschaftsökologie und Formulierung einer Prozessschutz-Definition, in: Naturschutz und Landschaftsplanung **30**, S. 229 - 236.
- JENNY, H. (1948a): Great Soil Groups in the Equatorial Regions of Colombia, South America, in: Soil Science **66**, S. 5 - 28.
- JENNY, H. (1948b): Nitrogen and Organic Matter Contents of Equatorial Soils of Colombia, South America, in: Soil Science **66**, S. 173 - 186.
- JORDAN, E. (1987): Die Vulkangletscherkatastrophe am Nevado del Ruiz/Kolumbien - geowissenschaftliche Zusammenhänge, Ablauf und kulturlandschaftliche Auswirkungen. In: Geoökodynamik **VIII (2/3)**, S. 223-244.
- JORDAN, E. (1996): Umweltrisiken in den tropischen Anden, aus: Heidelberger Geographische Gesellschaft **10**, Heidelberg, S. 68 - 96.
- JORDAN, E. und KRESSE, W. (1985): Die Computer-gestützte quantitative Luftbildauswertung mit dem Zeiss-Stereocord und seinen Peripheriegeräten zur Rationalisierung der Feldforschung in den Geowissenschaften, in: Erdkunde **35**, S. 222 - 231.
- KALMANOVITZ, S. (1982): El Desarrollo de la Agricultura en Colombia, Bogotá, 368 S.
- KAMINSKI, T, KNORR, W., RAYNER, P. J. und HEIMANN, M. (2002): Assimilating atmospheric data into terrestrial biosphere model: A case study of the seasonal cycle, in: Global Biogeochemical Cycles **16 (4)**, S. 14-1 – 14-16.

- KAUFMANN, V. und SULZER, W. (Hrsg.) (2002): Proceedings of the 6th International Symposium of High Mountain Remote Sensing Cartography, aus: Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung **37**, Graz, 195 S.
- KERR, A. C. (1996): The geochemistry and tectonic setting of late Cretaceous Caribbean and Colombian volcanism, in: Journal of South American Earth Sciences **9 (1/2)**, S. 111 - 120.
- KLENKE, M. (1999): GIS-gestützte Landnutzungsklassifikationen auf Grundlage passiver und aktiver Fernerkundungssensoren zur distributiven Flußeinzugsgebietsmodellierung, aus: Jenaer Geographische Schriften **8**, Jena, 160 S.
- KOLLER, B. (1982): Guia de Excursión al Volcán Puracé, unveröff. Manuskript INGEOMINAS Popayán, 14 S.
- KONING, G. H. J. DE, VELDKAMP, A. und FRESCO, L. O. (1999): Exploring changes in Ecuadorian land use for food production and their effects on natural resources, in: Journal of Environmental Management **57**, S. 221 – 237.
- KORTUM, G. (1999): Alexander von Humboldt und seine Ankunft in Südamerika vor 200 Jahren, in: Geogr. Rdsch. **51**, S. 428 - 431.
- KUSCHE, D. (1992): Massenmedien in Kolumbien, aus: Wilke, J.: Massenmedien in Lateinamerika, Frankfurt, S. 189 – 266.
- KRETZSCHMAR, R. (1991): Kulturtechnisches-bodenkundliches Praktikum, ausgewählte Labormethoden, Kiel, 501 S.
- LAUER, W. (1976): Zur hygrischen Höhenstufung tropischer Gebirge Neotropische Ökosysteme, aus: Biogeographica **7**, Basel, S. 169 – 182.
- LAUER, W. (1995): Klimatologie, Braunschweig, 269 S.
- LAUER, W. und ERLNBACH, W. (1987): Die tropischen Anden, geoökologische Raumgliederung und ihre Bedeutung für den Menschen, in: Geogr. Rdsch. **39**, S. 86 – 95.
- LAUER, W. und FRANKENBERG, P. (1985): Versuch einer geoökologischen Klassifikation der Klimate, in: Geogr. Rdsch. **37**, S. 359 - 365.
- LAURANCE, W. F. und WILLIAMSON, G. B. (2001): Positive Feedbacks among Forest Fragmentation, Drought, and Climatic Change in the Amazon, in: Conservation Biology **15 (6)**, S. 1529 - 1535.
- LEGENDRE, P. und FORTIN, M.-J. (1989): Spatial pattern and ecological analysis, in: Vegetation **80**, S. 107 - 138.
- LESER, H. (1977): Feld- und Labormethoden der Geomorphologie, Berlin, 446 S.
- LESER, H. (1983): Geoökologie, in: Geogr. Rdsch. **35**, S. 212 - 221.
- LESER, H. (1996): Landschaftsökologie und Geoökologie – Ansätze, Probleme und Perspektiven, aus: Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie **7**, Karlsruhe, S. 1 - 12.
- LESER, H. (1997): Landschaftsökologie, Stuttgart, 644 S.



- LESER, H. (2002): Geographie und Transdisziplinarität – Fachwissenschaftliche Ansätze und ihr Standort heute, aus: Regio Basiliensis **43/1**, Basel, S. 3 – 16.
- LESER, H. und KLINK, H.-J. (Hrsg.)(1988): Handbuch zur Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25.000, aus: Forschungen zur Deutschen Landeskunde **228**, Trier, 349 S.
- LEYVA, P. (1997): Coberturas Vegetales, Uso y Ocupación del Espacio de Colombia, Santafé de Bogotá, S. 3-39.
- LILLESAND, T. M. und KIEFER, R. W. (1994): Remote sensing and image interpretation, New York, 750 S.
- LINDER, W. (1991): Klimatisch und eruptionsbedingte Eismassenverluste am Nevado del Ruiz, Kolumbien, während der letzten 50 Jahre. Eine Untersuchung auf Basis digitaler Höhenmodelle, aus: Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen an der Universität Hannover **173**, Hannover, 125 S.
- LINDER, W. (1999): Geo-Informationssysteme, Berlin, 170 S.
- LINDER, W. (2003): Digital Photogrammetry – Theory and Applications, Berlin, 189 S.
- LINDER, W. (2004a): Programmbeschreibung LISA – Modul Basis Version 4.0, Düsseldorf, 70 S.
- LINDER, W. (2004b): Programmbeschreibung LISA - Modul Foto Version 4.0, Düsseldorf, 31 S.
- LINDER, W. (2005): Digitale Photogrammetrie am PC – Aktuelle Entwicklungen und Anwendungen in den Geowissenschaften, Düsseldorf, 108 S.
- LÖFFLER, J. und WUNDRAM, D. (2003): Geoökologische Untersuchungen zur Prozessdynamik mittelnorwegischer Hochgebirgsökosysteme, aus: Oldenburger geoökologische Studien **2**, Oldenburg, 158 S.
- LÖTSCHERT, W. und BEESE, G. (1989): Pflanzen der Tropen, München, 263 S.
- LÓPEZ S., M. F. (2004): Agricultural and Settlement Frontiers in the Tropical Andes: The Páramo Belt of Northern Ecuador, aus: Regensburger Geographische Schriften **37**, Regensburg, 180 S.
- LOREK, J. (2000): Sozioökonomische und infrastrukturelle Aspekte der Raumplanung in Kolumbien – Dargestellt am Beispiel des Municipio Caicedonia/Valle del Cauca, Magisterarbeit Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 185 S.
- LUIJTEN, J. C., JONES, J. W. und KNAPP, E. B. (2000): Dynamic Modelling of Strategic Water Availability in the Cabuyal River, Colombia: the Impact of Land Cover change on Hydrological Balance, in: Advances in Environmental Monitoring and Modelling **1 (1)**, S. 36 – 60.
- LUTEYN, J. L., CLEEF, A. M. und RANGEL CH, J. O. (1992): Plant diversity in Páramo: towards a checklist of páramo plants and generic flora, aus: BASLEV, H. und LUTEYN, J. L. (Hrsg.): Páramo – An Andean Ecosystem under human influence, London, S. 71 - 84.

- MANGER, A. (1982): Wirtschaft und Gesellschaft in Kolumbien im 20. Jahrhundert: Regionale Aspekte des Entwicklungsprozesses 1904-1939, Hamburg, 181 S.
- MARSH, D. M. und PEARMAN, P. B. (1997): Effects of Habitat Fragmentation on the Abundance of Two Species of Leptodactylid Frogs in an Andean Montane Forest, in: Conservation Biology **11 (6)**, S. 1323 - 1328.
- MARKS, R. et al. (Hrsg.)(1992): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL), aus: Forschungen zur Deutschen Landeskunde **229**, Trier, 221 S.
- MARTÍNEZ, M. (2001): Hikers Found Slain Near National Park – War-torn South American country struggles to make sense of the Latest Violence, in: Associated Press 15.02.2001, 1 S.
- MAYER, T. (1983): Instabile Exportmärkte und wirtschaftliche Entwicklung: der Fall Kolumbien, aus: Kieler Studien **178**, Tübingen, 181 S.
- MCCOURT, W. (1984): The Geology of the Central Cordillera in the Departments of Valle del Cauca, Quindío and NW Tolima (Sheets 243, 261, 262, 280 and 300), INGEOMINAS, Santiago de Cali.
- MERTINS, G. (1978): Geographische Aspekte der jüngeren wirtschaftlichen Entwicklung im nordandinen Raum. Das Beispiel Kolumbien, in: Die Erde **109**, S. 377 - 396.
- MERTINS, G. (1987): Jüngere industrielle Entwicklung in den Andenländern, dargestellt am Beispiel von Peru und Kolumbien, in: Geogr. Rdsch. **39**, S. 74 - 81.
- MERTINS, G. (2004): Kolumbien im Einfluss von Guerillas, Drogenmafia und Paramilitares, in Geogr. Rdsch. **56 (3)**, S. 43 – 47.
- MEURER, M. (1996): Geoökologie und Umweltforschung – Fiktion oder Vision?, aus: Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie **7**, Karlsruhe, S. 13 - 24.
- MILLER, J.N., BROOKS, R.P. und CROONQUIST, M. J. (1997): Effects of landscape patterns on biotic communities, in: Landscape Ecology **12**, S. 137 - 153.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (1995): Informe nacional para la conferencia tecnica internacional de la FAO sobre los recursos fitogenéticos, Santafé de Bogotá, 97 S.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (1997): Una opción para el sector rural, Santafé de Bogotá, 131 S.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO (1997a): Presentación General Ley de Desarrollo Territorial, Santafé de Bogotá, 56 S.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO (1997b): Ley de Desarrollo Territorial Ley 388 de 1997: Aproximación Conceptual **1**, Santafé de Bogotá, 99 S.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO (1997c): Ley de Desarrollo Territorial Ley 388 de 1997: La Política Urbana del Salto Social, Santafé de Bogotá, 141 S.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO (1997d): Ley de Desarrollo Territorial Ley 388 de 1997: Esquemas de Ordenamiento Territorial **3**, Santafé de Bogotá, 105 S.

- MISANA, S. B. (2001): Empowering Local Communities to Manage Resources, aus: World Mountain Symposium 2001, 10 S.
- MONSALVE B., M. L. (1997): Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas, unveröff. Manuskript INGEOMINAS Popayán, 16 S.
- MONSALVE B., M. L. (1993): Mapa preliminar Cadena Volcánica de los Coconucos, unveröff. Manuskript INGEOMINAS Popayán, 28 S.
- MONSALVE B., M. L. und PULGARÍN A., B. (1993): Mapa preliminar de Amenaza Volcánica Potencial del Volcán Puracé, aus: Revista Ingeominas **2**, Santafé de Bogotá, S. 3 - 27.
- MONSALVE B., M. L. und PULGARÍN A., B. (1999): Cadena Volcánica de los Coconucos (Colombia) centros eruptivos y productos recientes, aus: Boletín Geológico **37 (1-3)**, Santafé de Bogotá, S. 17 - 51.
- MONTEALEGRE, J. E. (1986): Distribución espacial de la Precipitación en Colombia, aus: Atmósfera **8**, Santafé de Bogotá, S. 37 - 49.
- MORGAN, R. P. C. (1986): Soil erosion and conservation, Harlow, 298 S.
- MOSIMANN, T. (1983): Geoökologische Studien in der Subarktis und den Zentralalpen, in: Geogr. Rdsch. **35**, S. 222 - 228.
- MOSIMANN, T. (1984a): Landschaftsökologische Komplexanalyse, Stuttgart, 115 S.
- MOSIMANN, T. (1984b): Die komplexe Standortanalyse in der Geoökologie, in: Deutscher Geographentag: Tagungsbericht und wissenschaftl. Abhandlungen, Stuttgart, S. 114 - 123.
- MUELLER-DOMBOIS, M. und ELLENBERG, H. (1974): Aims and Methods of Vegetation Ecology, New York, 547 S.
- MULLIGAN, M. (2000): Downscaled Climate Change Scenaria for Colombia and their Hydrological Consequences, in: Advances in Environmental Monitoring and Modelling **1 (1)**, S. 3 – 35.
- MUNICIPIO DE PURACÉ – COCONUCO : (2002): Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Puracé – Coconuco (Cauca), Popayán, 789 S.
- NEEF, E. (1963): Topologische und chorologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung, in: Peterm. Geogr. Mitt. **107**, S. 249 - 259.
- NEEF, E. (1964): Zur großmaßstäbigen landschaftsökologischen Forschung, in: Peterm. Geogr. Mitt. **108**, S. 1 - 7.
- NEEF, E. (1968): Der Physiotope als Zentralbegriff der Komplexen Physischen Geographie, in Peterm. Geogr. Mitt. **112**, S. 15 – 23.
- NEEF, E. (1969): Der Stoffwechsel zwischen Gesellschaft und Natur als geographisches Problem, in: Geogr. Rdsch. **21**, S. 453 - 459.
- OBEYSEKERA, J. und RUTCHEY, K. (1997): Selection of scale for Everglades landscape models, in: Landscape Ecology **12**, S. 7 - 18.
- ORDOÑEZ, R. V. (1997): La Agricultura colombiana en 1996, in: Agronomía Colombiana **XIV (2)**, S.158 - 181.

- ORGANISATION AMERIKANISCHER STAATEN (Hrsg.) (1987): Estudio de Casos de Manejo Ambiental: Desarrollo Integrado de un Área en los Trópicos Húmedos – Selva Central del Perú, Washington D.C., 301 S.
- OTTONELLO, G. (1997): Principles of Geochemistry, New York, 894 S.
- PABÓN, J. D. (1992): Características Climáticas relevantes en el Nor-Occidente Sudamericano durante de la Ocurencia de Fenomenos El Niño – Oscilación del Sur (ENOS), Sonderdruck, 16 S.
- PAGEL, H. (1981): Grundlagen des Nährstoffhaushaltes tropischer Böden, Berlin, 192 S.
- PARIS, G., MACHETTE, M. N., DART, R. L. und HALLER, K. M. (2000): Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions, Denver, 66 S.
- PATZELT, E. (1996): Flora del Ecuador, Quito, 333 S.
- PERAFÁN, C. C. (1999): Impacto de cultivos ilícitos en pueblos indígenas : El caso de Colombia, Washington D.C., 103 S.
- PETERSON, D. L. und PARKER, V. T. (Hrsg.) (1998): Ecological Scale: Theory and Applications, aus: <http://earthscape.org/r3/mckinney/mckinney.html>, New York, 363 S.
- PFEIFFER, B. und WEIMANN, G. (1991): Geometrische Grundlagen der Luftbildinterpretation, Karlsruhe, 132 S.
- PODWOJEWSKI, P. und POULENARD, J. (2002): La degradación de los Suelos en los Páramos, aus : <http://www.Paramo.org/gtp/degradsuelos.pdf>, S. 14 – 19.
- POORE, D. (1992): Lineamientos para áreas protegidas de montaña, aus : UICN - Comisión de Parques Nacionales y Áreas Protegidas, Gland, S. 12-62.
- POTSCHIN, M. und BASTIAN, O. (2004): Landscapes and landscape research in Germany, aus: *Belgeo* **2-3**, S. 265 – 275.
- PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA (2002): Plan Nacional de Desarrollo Alternativo – PLANTE, Santafé de Bogotá, 20 S.
- PULGARÍN A., B., JORDAN, E. und LINDER, W. (1996): Nevado del Huila (Colombia): Cambio Glaciar entre 1961 y 1995, aus: *Geología y Medio Ambiente para el Desarrollo 1996*, Santafe de Bogotá S. 441-451.
- PULGARÍN A., B., MONSALVE B., M. L., ARCILA R., M. M. und CEPEDA V., H. (1993): Actividad Histórica y Actual del Volcán Puracé, Colombia, Popayán, 18 S.
- PULGARÍN A., B. und MONSALVE B., M. L. (1995): Estructuras Volcánicas en el Valle de Paletará, unveröff. Manuskript INGEOMINAS Popayán, 15 S.
- PULGARÍN A., B., MONSALVE B., M. L., TORRES H., M. P. und CEPEDA V., H. (1996): La Cadena Volcánica de los Coconucos: Producto de vulcanismo resurgente?, unveröff. Manuskript INGEOMINAS Popayán, 12 S.
- RADEMACHER, C. (2000): Die Kultur der Gewalt, in: *Geo* **6**, Hamburg, S. 36f.
- RAKONCZAY, Z. (2002): Biome-specific Forest Definitions – Technical Paper, New York, 33 S.

- RAMIREZ E. (2003): Shuttle Radar Topography Mission, aus: <http://www.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>, 5 S. Download am 01.03.2004 .
- RANGEL CH., J. O. und FRANCO R., P. (1985): Observaciones fitoecológicas en varias regiones de vida en la Cordillera Central de Colombia, in : *Caldasia* **XIV (67)**, S. 211 - 249.
- RANGEL CH., J. O. und LOZANO C., G. (1986): Un perfil de vegetación entre La Plata (Huila) y el Volcán del Puracé, in: *Caldasia* **XIV (68 – 70)**, S. 503-547.
- RANGEL CH., J. O. und GARZÓN C, A. (1995): Macizo Central Colombiano, aus: *Colombia: Diversidad biótica I*, Santafé de Bogotá S. 171 - 183.
- RANGEL CH., J. O. (Hrsg.) (2000): *Colombia: Diversidad biótica III - La región de vida paramuna*, Santafé de Bogotá, 902 S.
- RATHORE, S. K. S., SINGH, S. P., SINGH, J. S. und Tiwari, A. K. (1997): Changes in Forest Cover in a Central Himalayan Catchment: Inadequacy of Assessment Based on Forest Area Alone, in: *Journal of Environmental Management* **49**, S. 265 - 276.
- REHM, S. und ESPIG, G. (1991): *The Cultivated Plants of the Tropics and Subtropics – Cultivation, Economic Value, Utilization*, Göttingen; 552 S.
- REINHARDT, N. (1988): *Our Daily Bread: The peasant Question and Family Farming in the Colombian Andes*, Berkeley, 308 S.
- REINING, L. (1992): Erosion in Andean hillside farming, aus: *Hohenheim Tropical Agriculture Series*, Weikersheim, 219 S.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA (1977): Decreto 622 de 1977 del 16 de Marzo 1977, Santafé de Bogotá, 14 S.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA (2004): Ley 160 de 1994, Diario oficial No. 41.479, aus: *Leyes desde 1992 - Vigencia Expresa y Sentencias de Constitucionalidad*, Santafé de Bogotá, 30 S.
- RICHTER, G. (Hrsg.) (1998): *Bodenerosion: Analyse und Bilanz eines Umweltproblems*, Frankfurt, 264 S.
- RICHTER, M. (1981): Klimagegensätze in Südperu und ihre Auswirkungen auf die Vegetation, in: *Erdkunde* **35**, S. 12 – 30.
- RICHTER, M. (1991): Methoden der Klimaindikation durch pflanzenmorphologische Merkmale, in: *Die Erde* **122**, S. 267 – 289.
- RICHTER, M. (2003): Using Epiphytes and Soil Temperatures for eco-climatic Interpretations in Southern Ecuador, in: *Erdkunde* **57**, S. 161 – 181.
- RINCÓN R., M. (2000): The Effects of Surface Hydrological Connectivity on Hydrological response To Land Use Change, in: *Advances in Environmental Monitoring and Modelling* **1 (1)**, S. 80 – 96.
- RÖPER, M. (2001): Institutionalisierungspfade von Naturschutzgebieten – Drei Fallbeispiele und ein Modell, in: *Geographica Helvetica*, **56-1**, S. 48 - 56.

- ROTHERY, D. A. (2002): Real-Time Volcano Monitoring from Space – Principles, Tools and Issues, in: *Advances in Environmental Monitoring and Modelling*, **1 (3)**, S. 1 - 4.
- ROWELL, D. L. (1997): *Bodenkunde: Untersuchungsmethoden und ihre Anwendung*, Berlin, 614 S.
- RUBIANO, J. (2000): Land Use Change in Tropical Hillsides: the Influence of Pattern on Process, in: *Advances in Environmental Monitoring and Modelling* **1 (1)**, S. 61 – 79.
- RUIZ, S. (1998): Memoria explicativa de la Plancha 343-Silvia, unveröff. Manuskript INGEOMINAS, Popayán.
- RUPPENTHAL, M. (1995): Soil conservation in Andean cropping systems, aus: *Hohenheim Tropical Agricultural Series*, Weikersheim, 110 S.
- RUTHSATZ, B. (1977): Pflanzengesellschaften und ihre Lebensbedingungen in den Andinen Halbwüsten Nordwest-Argentiniens, aus: *Dissertationes Botanicae* **39**, Vaduz, 168 S.
- RUTHSATZ, B. (1983): Der Einfluß des Menschen auf die Vegetation semiarider bis arider tropischer Hochgebirge am Beispiel der Hochanden, in: *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **96**, S. 535 – 576.
- SALOMONS, J. B. (1989): Paleoecology of Volcanic Soils in Columbian Central Cordillera, in: *IGAC et al.: Studies on Tropical Andean Ecosystems* **3**, Berlin, S. 15 – 47.
- SAMIRI, C. (2003): Das Weidepotential im Gutu Distrikt (Zimbabwe) – Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung unter Verwendung von Landsat TM-5, aus: *Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie* **19**, Karlsruhe, 126 S.
- SANTAMARTA, J. (1999): Colombia: entre la guerra y la paz, in: *World Watch*, S. 4 - 6.
- SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P. (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*, Heidelberg, 593 S.
- SCHERZINGER, W. (1990): Das Dynamikkonzept im flächenhaften Naturschutz, Zieldiskussion am Beispiel der Nationalpark-Idee, in: *Natur und Landschaft* **65**, S. 292 - 298.
- SCHIMEL, D. S. (et al.) (2001): Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems, in: *Nature* **414**, S. 169 - 173.
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. und STAHR, K. (1995): *Bodenkundliches Praktikum*, Berlin, 295 S.
- SCHMIDT, R. D. (1952): Die Niederschlagsverteilung im andinen Kolumbien, aus: *Bonner Geographischen Abhandlungen* **9**, Bonn, S. 99 – 119.
- SCHMITT, C. (1983): *Petrologische Untersuchungen junger Vulkanite in Südkolumbien*, Tübingen, 207 S.
- SCHNEIDER-SLIWA, R., SCHAUB, D. und GEROLD, G. et al. (Hrsg.) (1999): *Angewandte Landschaftsökologie – Grundlagen und Methoden*, Berlin, 560 S.

- SCHOENEBERGER, P. J., WYSOCKI, D. A., BENHAM, E. C. und BRODERSON, W. D. (1998): Field book for describing and sampling soils. Natural Resources Conservation Service, USDA, Lincoln, 182 S.
- SCHOLZ, U. (1998): Die feuchten Tropen, Braunschweig, 173 S.
- SCHROEDER, D. (1992): Bodenkunde in Stichworten, Berlin, 175 S.
- SCHRÖDER, W. et al. (1994): Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geo-Ökologie, Wiesbaden, 346 S.
- SCHÜTT, B. (2003): Strategieüberlegungen des AK Geomorphologie – Zusammenfassung, Berlin, 3 S.
- SCHULTZ, J. (2000): Handbuch der Ökozonen der Erde, Stuttgart, 577 S.
- SCHULTZ, J. (2002): Die Ökozonen der Erde, Stuttgart, 320 S.
- SCHULZE, E.-D. (2000): Der Einfluss des Menschen auf die biogeochemischen Kreisläufe der Erde, aus: [http://www.mpg.de/doku/jahrbuch/2000/jahrbuch2000\\_039\\_058.pdf](http://www.mpg.de/doku/jahrbuch/2000/jahrbuch2000_039_058.pdf), Jena, S. 39 - 58.
- SCHULZE, E.-D., WIRTH, C. und HEIMANN, M. (1995): Managing Forests After Kyoto, in: Science **289** (5489), S. 2058f.
- SEIBERT, P. (1996): Farbatlas Südamerika: Landschaften und Vegetation, Stuttgart, 288 S.
- SEVILLA, R., HALDENWANG, C. VON und PIZARRO, E. (Hrsg.) (1999): Kolumbien – Land der Einsamkeit?, aus: Edition Länderseminare, Bad Honnef, 317 S.
- SHOJI, S. et al (1993): Volcanic Ash Soils, in: Development in Soil Science **21**, Amsterdam, 288 S.
- SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA (1977): Soil Erosion: Prediction and Control, Ankeny, 393 S.
- SOIL SURVEY STAFF (1996): Keys to Soil Taxonomy, Washington D. C., 644 S.
- SOIL SURVEY STAFF (1998): Keys to Soil Taxonomy, aus: <http://www.statlab.iastate.edu/soils/keytax/KeystoSoilTaxonomy.pdf>, Washington D. C., 326 S.
- SOIL SURVEY STAFF (1999): Soil Taxonomy, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, aus: <http://www.statlab.iastate.edu/soils/soiltax/tax.pdf>, Washington D.C., 869 S.
- SOLARTE, A. (1994): Experiencias de Investigación participativa en Sistemas de Producción Animal en dos Zonas del Valle del Cauca, aus: Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios, CIPAV, Cali, S. 49 - 72.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1992): Länderbericht Südamerikanische Staaten, Wiesbaden, 159 S.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1993): Länderbericht Kolumbien, Wiesbaden.
- STEINBORN, W. (1999): Satellitenfernerkundung in der Land- und Forstwirtschaft – eine Übersicht über den Stand und Perspektiven, in: GIS **6**, S. 4 – 12.

- STEINHARDT, U., BLUMENSTEIN, O. und BARSCH, H. (2005): Lehrbuch der Landschaftsökologie, Heidelberg, 294 S.
- STOHLGREN, T. J., CHONG, G. W., KALKHAN, M. A., SCHELL, L. D. (1997): Rapid assessment of Plant Diversity patterns: A Methodology for Landscapes, in: Environmental Monitoring and Assessment **48**, S. 25 - 43.
- STOHLGREN, T. J., COUGHENOUR, M. B., CHONG, G. W., BINKLEY, D., KALKHAN, M. A., SCHELL, L. D., BUCKLEY, D. J. und BERRY, J. K. (1997): Landscape analysis of plant diversity, in: Landscape Ecology **12**, S. 155 – 170.
- STÜHRNBERG, M. (2000): Im Freistaat von Farlandia, in: Geo **6**, Hamburg, S. 20 - 50.
- STURM, H. (1978): Zur Ökologie der andinen Páramoregion, aus: Biogeographica **XIV**, Basel, 116 S.
- STURM, H. (1983): Zur Bodenfauna der andinen Páramoregion, aus: Amazoniana **VIII**, S. 129 – 147.
- TANNER, H. (1978): Südamerika Band 1: Andenstaaten, Braunschweig, S. 103-138.
- TERRE DES HOMMES (Hrsg.) (2002): Krieg in Kolumbien in : die zeitung **4**, 8 S.
- TOIVONEN, T. und LUOTO, M. (2003): Landsat TM images in mapping of semi-natural grasslands and analysing of habitat pattern in an agricultural landscape in south-west Finland, aus: Fennia **181 (1)**, Turku, S. 49 – 67.
- TOLE, L. (1998): Sources of Deforestation in Tropical Developing Countries, in: Environmental Management **22 (1)**, S. 19 – 33.
- TORRES H., M. P., MONSALVE B., M. L., PULGARÍN A., B. und CEPEDA V., H. (1999): Caldera de Paletará: Aproximación a la fuente de las Ignimbritas del Cauca y Huila (Colombia), aus: Boletín Geológico **37 (1-3)**, Santafé de Bogotá, S. 1 - 15.
- TROJER, H. (1958): Meteorología y Climatología de la vertiente de Pacifico Colombiano, in: Revistas de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales **10 (40)**, S. 16 - 79.
- TROJER, H. (1959): Fundamentos para una zonificación del Trópico y Especialmente de Colombia, aus: Revista Cenicafé **10 (8)**, Santafé de Bogotá, S. 289 - 363.
- TROLL, C. (1939): Luftbildplan und ökologische Bodenforschung, in: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Sonderdruck, S. 241 - 298.
- TROLL, C. (1952): Die Lokalwinde der Tropengebirge und ihr Einfluß auf Niederschlag und Vegetation, aus: Studien zur Vegetations- und Landschaftskunde der Tropen **III**, Berlin, S. 124 - 179.
- TROLL, C. (1968): The Cordilleras of the tropical Americas. Aspects of climate, phytogeographical, and agrarian ecology, aus: Colloquium Geographicum **9**, Bonn, S. 15 - 56.
- TROLL, C. (1975): Vergleichende Geographie der Hochgebirge der Erde in landschafts-ökologischer Sicht – Eine Entwicklung von dreieinhalb Jahrzehnten Forschungs- und Organisationsarbeit, in: Geogr. Rdsch. **27**, S. 185 - 197.



- TURNER, A. K. und SCHUSTER, R. L. (1996): Landslides: Investigation and Mitigation, Washington D. C., 674 S.
- U.A.E.S.P.N.N. (Hrsg.) (1999a): Plan de manejo institucional versión preliminar - componente descriptivo, unveröff. Manuskript, Popayán, 71 S.
- U.A.E.S.P.N.N. (Hrsg.) (1999b): Política de consolidación del sistema nacional de áreas naturales protegidas, con base en la participación social en la conservación, Santafé de Bogotá, 17 S.
- U.A.E.S.P.N.N. (Hrsg.) (2001a): Política de participación social en la conservación, Bogotá D.C., 85 S.
- U.A.E.S.P.N.N. (Hrsg.) (2001b): Parques con la gente, Bogotá D.C., 147 S.
- U.A.E.S.P.N.N. (Hrsg.) (2002a): Parques con la gente II, Bogotá D.C., 342 S.
- U.A.E.S.P.N.N. (Hrsg.) (2002b): Bases para una estrategia financiera del Sistema de Parques Nacionales de Colombia, Santiago de Cali, 70 S.
- U.A.E.S.P.N.N. (Hrsg.) (2002c): Panorama actual de los Parques Nacionales Naturales. Observatorio del Programa Presidencial de Derechos Humanos y Derecho Internacional Humanitario, in: Serie Geográfica **14**, S. 313 - 348.
- U.A.E.S.P.N.N. (Hrsg.) (2002d): Plan de Manejo PNN Puracé, Popayán, 7 S.
- ULANOVICZ, R. E. (1997): Ecology, the Ascendent Perspective, New York, 87 S.
- URRUTIA, M. (1985): Winners and Losers of Colombia's Economic Growth of the 1970s, New York, 142 S.
- VARESCHI, V. (1980): Vegetationsökologie der Tropen, Stuttgart, 293 S.
- VANDERMEER, J. (1997): Syndromes of Production: an Emergent Property of Simple Agroecosystem Dynamics, in: Journal of Environmental Management **51**, S. 59 - 72.
- VARELA, L. F. (2002): El Páramo: Un Ecosistema Antropogénico, unveröff. Arbeit FUP, Popayán, 47 S.
- VARGAS S., J. E. (1994): Caracterización de Recursos Forrajeros Disponibles en tres Agroecosistemas del Valle del Cauca, aus: Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios, CIPAV, Cali, S. 135 - 149.
- VICEPRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA (Hrsg.) (2002): Colombia, Conflicto armado, Regiones, Derechos Humanos y DIH 1998-2002, Santafé de Bogotá, 67 S.
- VILLOTA, H. (1991): Geomorfología Aplicada a Levantamientos edafológicos y Zonificación Física de las Tierras – Geomorfología de Zonas montañosas, colinadas y onduladas, Santafé de Bogotá, 212 S.
- WALKER, B., CARPENTER, S., ANDERIES, J., ABEL, N., CUMMING, G., JANSSEN, M., Lebel, L., NORBERG, J., PETERSON, G. D. und PRITCHARD, R.: (2002): Resolience Management in Social-ecological Systems: a Working Hypothesis for a Participary Approach, in: Conservation Ecology **6 (1)**, S. 14 – 28.
- WEISCHET, W. (1965): Der tropisch-konvektive und außertropisch-advective Typ der vertikalen Niederschlagsverteilung, in: Erdkunde **9**, S. 6 - 14.

- WEISCHET, W. (1969): Klimatologische Regeln zur Vertikalverteilung der Niederschläge in Tropengebieten, in: Die Erde **2-4**, S. 287 – 306.
- WEISCHET, W. (1980): Die ökologische Benachteiligung der Tropen, Stuttgart 125 S.
- WEISCHET, W. (1991): Einführung in die allgemeine Klimatologie, Stuttgart 275 S.
- WEISCHET, W. (1996): Regionale Klimatologie 1: Die Neue Welt, Stuttgart, 468 S.
- WEISCHET, W. und Caviedes, C. (1993): The Persisting Ecological Constraints of Tropical Agriculture, Harlow, 319 S.
- WESTERMEIER, K. (1990): Macht und Elite im ländlichen Südamerika, aus: Europäische Hochschulschriften Reihe **XXXI 153**, Frankfurt, 249 S.
- WHELAN, J. K. und FARRINGTON, J. W. (1992): Organic Matter: Productivity, Accumulation, and Preservation in Recent and Ancient Sediments, New York, 233 S.
- WIENEKE, F. (1987): Der Einfluss der räumlichen Dimension der Daten auf die Einsatzmöglichkeit photographischer Fernerkundung für landschaftsökologische Untersuchungen, aus: Geomethodica **12**, Basel, S. 57 – 90.
- WINIGER, M. (1979): Bodentemperaturen und Niederschlag als Indikatoren einer klimatisch-ökologischen Gliederung tropischer Gebirgsräume, aus: Geomethodica **4**, Basel, S. 121 – 150.
- WINIGER, M. (1981): Zur thermisch-hygrischen Gliederung des Mount Kenya, in: Erdkunde **35**, S. 248 – 263.
- WINIGER, M. (1986): Die Bestimmung des natürlichen Potentials und dessen Inwertsetzung im Gebiet des Mount Kenya, aus: Geomethodica **11**, Basel, S. 177 – 216.
- WYNGAARDEN, W. VAN und FANDIÑO L. M. (2002): Parque Nacional Los Nevados – Un Caso de Selección y Zonificación de Áreas de Conservación Biológica, aus: Serie Investigación **4**, Santafé de Bogotá, 60 S.
- ZEIL, W. (1979): The Andes, Berlin, 259 S.
- ZEIL, W. (1986): Südamerika, Stuttgart, 160 S.
- ZEPP H. und MÜLLER, M. J. (Hrsg.) (1999): Landschaftsökologische Erfassungsstandards. Ein Methodenbuch, aus: Forschungen zur deutschen Landeskunde **244**, Flensburg, 535 S.
- ZISS, R. (1997): Gewalt in Kolumbien: Eine Gesellschaft im Notstand, aus: ALTMANN, W. et al. (Hrsg.): Kolumbien heute, Frankfurt, S. 213 – 253.
- ZONNEVELD, I. S. (1989): The land unit – a fundamental concept in landscape ecology and its implications, in: Landscape Ecology **3**, S. 67 – 86.

## Anhang

### Klimadiagramm der Station Neiva

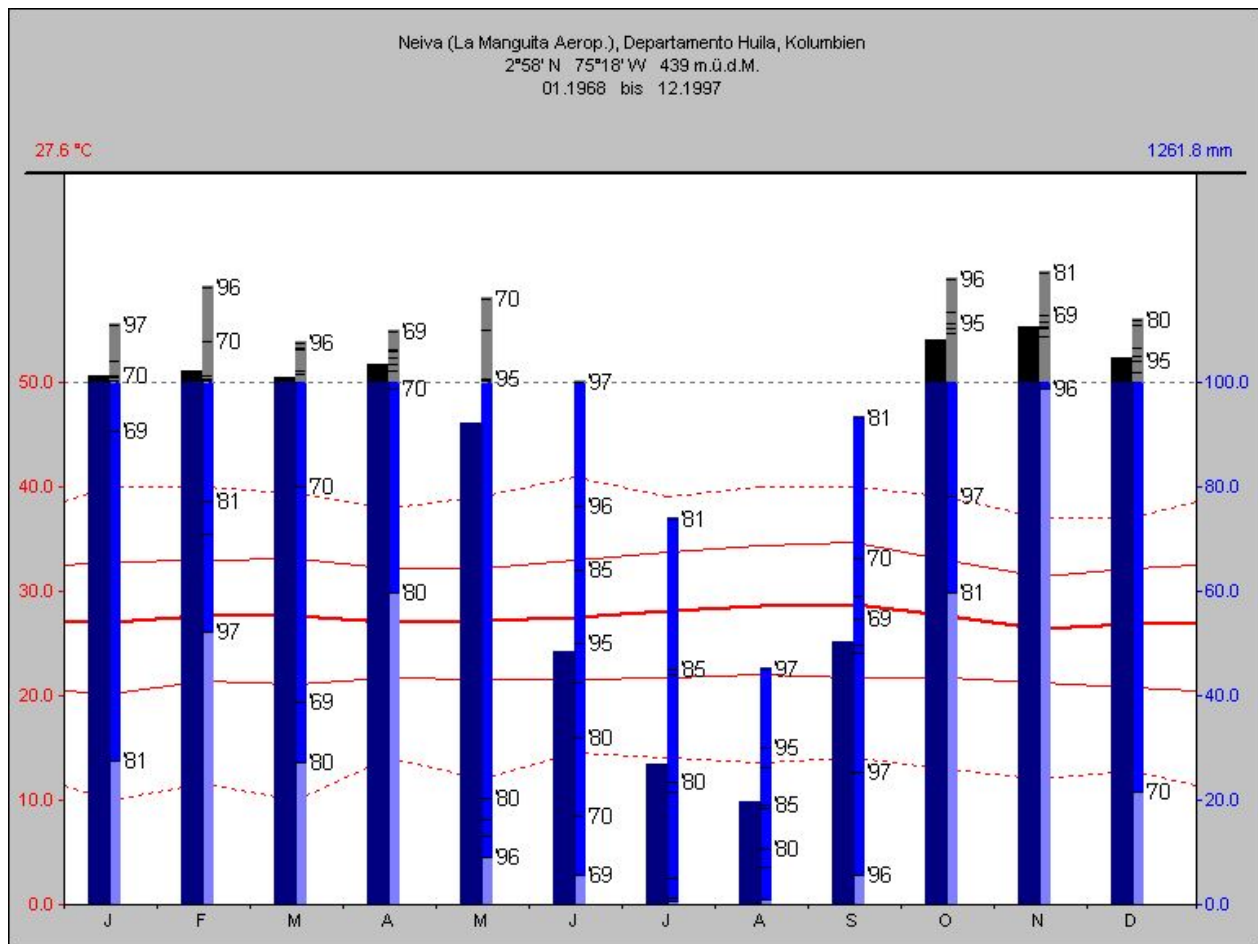


Abbildung A 1: GID-Diagramm der Station Neiva Flughafen.  
Eigene Darstellung mit KIWI.

Die Station Neiva Flughafen liegt im Departamento Huila nordöstlich des Untersuchungsgebiets im Magdalena-Tal bei 2°58' Nord und 75°18' West auf einer Meereshöhe von 439 m.ü.d.M. Aufgrund der großen Entfernung vom PNN Puracé und der niedrigen Lage über dem Meeresspiegel soll die Station nur ergänzend betrachtet werden. Es sind wie die Station Popayán Absolute Extrem-, Mittlere Maximal-, Mittlere Minimal und Durchschnittstemperaturen und die Niederschlagswerte angegeben.

Es fallen 1261 mm Niederschlag im Jahr, die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 27,6 °C. Die Station hat einen monomodalen südtropischen Charakter. Aufgrund der starken niederschlagsdepression handelt es sich um ein Savannenklima mit einer viermonatigen Trockenzeit zwischen Juni und September. Die Hauptniederschlagsmonate liegen retardiert nach dem zweiten Sonnenhöchststand im Oktober und November.

Die Temperaturkurven steigen zur Trockenzeit hin an. Es werden sowohl die höchsten Maximaltemperaturen registriert, wie sich auch die daraus errechnete Durchschnittstemperatur erhöht. Der wärmste Monat ist der September, der kühlfste der zugleich reichste November.

# Bodenuntersuchungen

<b>Formblatt Boden/Hoja de trabajo: Suelos</b>	Photo: 247 10 und 11	Datum /Fecha: 18/11.02																																																																																																						
Standort Nr. (röm.) / Sitio Nr. : I	Standortname/ Nombre del sitio: <b>Puente Limite Puracé, San Rafael</b>	Inklination [°]:Inclinación (°): 21°																																																																																																						
Proben Nr. (arab.) muestra: 1	Probenbezeich./ Descripción de la muestra: <b>I_1</b>	Exposition/Dirección de la pendiente: S 177°																																																																																																						
	Position GPS/ Posición GPS: <b>2°22'068N 76°21'780W</b>	Höhe [m] / Altura: 3380 mNN																																																																																																						
Lageskizze (Aufsicht und Profil) bzw. Bemerkungen zum Aufnahmestandort auf der Rückseite/esbozo del sitio y observaciones al dorso																																																																																																								
	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>H.-Mächtigkeit/ Profundidad del Horizonte [cm]</th> <th>H.-Typ* Tipo del Horiz.</th> <th>Korngrößen* tamaño del grano</th> <th>Bodenfarbe/-helligkeit* Color del Suelo/ Tonalidad</th> <th>Kalk* Carbonato</th> <th>Feuchte* Humedad</th> <th>pH-W.*</th> <th>Leit-Fähigk. Conductividad</th> <th>Gefüge* Estruc-tura</th> <th>Bemerkung Observación Oder Probennr.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td> <td>A h</td> <td>IT</td> <td>Grau-schwarz</td> <td></td> <td>frisch</td> <td></td> <td></td> <td>SP</td> <td>I 1 10; I 1 40</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>B/Gr/o</td> <td>sU</td> <td>Grau-orange-rot</td> <td></td> <td>nass</td> <td></td> <td></td> <td>P</td> <td>I 1 70</td> </tr> <tr> <td>30 +x</td> <td>C</td> <td>sU</td> <td>grau</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	H.-Mächtigkeit/ Profundidad del Horizonte [cm]	H.-Typ* Tipo del Horiz.	Korngrößen* tamaño del grano	Bodenfarbe/-helligkeit* Color del Suelo/ Tonalidad	Kalk* Carbonato	Feuchte* Humedad	pH-W.*	Leit-Fähigk. Conductividad	Gefüge* Estruc-tura	Bemerkung Observación Oder Probennr.	50	A h	IT	Grau-schwarz		frisch			SP	I 1 10; I 1 40	20	B/Gr/o	sU	Grau-orange-rot		nass			P	I 1 70	30 +x	C	sU	grau		-			-	-	-	-	-	-		-			-	-	-	-	-	-		-			-	-	-	-	-	-		-			-	-	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Temp.</th> <th>Uhrzeit der Aufnahme/ Hora del levantamiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5 cm</td> <td>12:00 h</td> </tr> <tr> <td>50 cm</td> <td>Grad der Bewölkung (%)* Porcentaje de nubosidad</td> </tr> <tr> <td>100 cm</td> <td>75%, zeitw. Regen</td> </tr> </tbody> </table>	Temp.	Uhrzeit der Aufnahme/ Hora del levantamiento	5 cm	12:00 h	50 cm	Grad der Bewölkung (%)* Porcentaje de nubosidad	100 cm	75%, zeitw. Regen	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Schichtung*/Capas</th> <th>B</th> <th>S</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vegetationshöhe [m] Altura de la vegetación (cm)</td> <td>-</td> <td>40</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Declangrad [°]F Grado de inclinación(°)</td> <td>-</td> <td>30</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>Bodenfarbe (zur Seite) Color del suelo (verso)</td> <td colspan="3">Grau-schwarz</td> </tr> <tr> <td>Durchwurzelungstiefe [cm] Profundidad de las raíces (cm)</td> <td colspan="3">40 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtung*/Capas	B	S	K	Vegetationshöhe [m] Altura de la vegetación (cm)	-	40	5	Declangrad [°]F Grado de inclinación(°)	-	30	70	Bodenfarbe (zur Seite) Color del suelo (verso)	Grau-schwarz			Durchwurzelungstiefe [cm] Profundidad de las raíces (cm)	40 cm			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Lufttemperatur Temper. del aire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Lufttemperatur Temper. del aire	-
H.-Mächtigkeit/ Profundidad del Horizonte [cm]	H.-Typ* Tipo del Horiz.	Korngrößen* tamaño del grano	Bodenfarbe/-helligkeit* Color del Suelo/ Tonalidad	Kalk* Carbonato	Feuchte* Humedad	pH-W.*	Leit-Fähigk. Conductividad	Gefüge* Estruc-tura	Bemerkung Observación Oder Probennr.																																																																																															
50	A h	IT	Grau-schwarz		frisch			SP	I 1 10; I 1 40																																																																																															
20	B/Gr/o	sU	Grau-orange-rot		nass			P	I 1 70																																																																																															
30 +x	C	sU	grau		-			-	-																																																																																															
-	-	-	-		-			-	-																																																																																															
-	-	-	-		-			-	-																																																																																															
-	-	-	-		-			-	-																																																																																															
Temp.	Uhrzeit der Aufnahme/ Hora del levantamiento																																																																																																							
5 cm	12:00 h																																																																																																							
50 cm	Grad der Bewölkung (%)* Porcentaje de nubosidad																																																																																																							
100 cm	75%, zeitw. Regen																																																																																																							
Schichtung*/Capas	B	S	K																																																																																																					
Vegetationshöhe [m] Altura de la vegetación (cm)	-	40	5																																																																																																					
Declangrad [°]F Grado de inclinación(°)	-	30	70																																																																																																					
Bodenfarbe (zur Seite) Color del suelo (verso)	Grau-schwarz																																																																																																							
Durchwurzelungstiefe [cm] Profundidad de las raíces (cm)	40 cm																																																																																																							
Lufttemperatur Temper. del aire																																																																																																								
-																																																																																																								
Leitrand/ Margen	* s. Erläuterung/ véase explicación																																																																																																							

Abbildung A 2: Bodenaufnahmeformular I 1

<b>Formblatt Boden/Hoja de trabajo: Suelos</b>	Photo: 247 26 und 27	Datum /Fecha: 19/11.02																																																																																																						
Standort Nr. (röm.) / Sitio Nr. : I	Standortname/ Nombre del sitio: <b>Puente Limite Puracé, Bosque 2 und 1</b>	Inklination [°]:Inclinación (°): 14°																																																																																																						
Proben Nr. (arab.) muestra: 2	Probenbezeich./ Descripción de la muestra: <b>I_1</b>	Exposition/Dirección de la pendiente: W 232°																																																																																																						
	Position GPS/ Posición GPS: <b>2°22'188N 76°21'760W</b>	Höhe [m] / Altura: 3355 mNN																																																																																																						
Lageskizze (Aufsicht und Profil) bzw. Bemerkungen zum Aufnahmestandort auf der Rückseite/esbozo del sitio y observaciones al dorso																																																																																																								
	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>H.-Mächtigkeit/ Profundidad del Horizonte [cm]</th> <th>H.-Typ* Tipo del Horiz.</th> <th>Korngrößen* tamaño del grano</th> <th>Bodenfarbe/-helligkeit* Color del Suelo/ Tonalidad</th> <th>Kalk* Carbonato</th> <th>Feuchte* Humedad</th> <th>pH-W.*</th> <th>Leit-Fähigk. Conductividad</th> <th>Gefüge* Estruc-tura</th> <th>Bemerkung Observación Oder Probennr.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>A h</td> <td>uT</td> <td>Grau-schwarz</td> <td></td> <td>nass</td> <td></td> <td></td> <td>SP</td> <td>I 2 Ah 10; I 2 Ah 50</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>AB</td> <td>tU</td> <td>Braun-grau-ocker</td> <td></td> <td>frisch</td> <td></td> <td></td> <td>SP</td> <td>I 2 AB</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>B v</td> <td>uS</td> <td>Braun-gelb</td> <td></td> <td>frisch</td> <td></td> <td></td> <td>SP</td> <td>I 2 B v</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>C</td> <td>IS</td> <td>weiß-grau</td> <td></td> <td>feucht</td> <td></td> <td></td> <td>SP</td> <td>I 2 C</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	H.-Mächtigkeit/ Profundidad del Horizonte [cm]	H.-Typ* Tipo del Horiz.	Korngrößen* tamaño del grano	Bodenfarbe/-helligkeit* Color del Suelo/ Tonalidad	Kalk* Carbonato	Feuchte* Humedad	pH-W.*	Leit-Fähigk. Conductividad	Gefüge* Estruc-tura	Bemerkung Observación Oder Probennr.	60	A h	uT	Grau-schwarz		nass			SP	I 2 Ah 10; I 2 Ah 50	5	AB	tU	Braun-grau-ocker		frisch			SP	I 2 AB	10	B v	uS	Braun-gelb		frisch			SP	I 2 B v	25	C	IS	weiß-grau		feucht			SP	I 2 C	-	-	-	-		-			-	-	-	-	-	-		-			-	-	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Temp.</th> <th>Uhrzeit der Aufnahme/ Hora del levantamiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5 cm</td> <td>10:00 h</td> </tr> <tr> <td>50 cm</td> <td>Grad der Bewölkung (%)* Porcentaje de nubosidad</td> </tr> <tr> <td>100 cm</td> <td>90%</td> </tr> </tbody> </table>	Temp.	Uhrzeit der Aufnahme/ Hora del levantamiento	5 cm	10:00 h	50 cm	Grad der Bewölkung (%)* Porcentaje de nubosidad	100 cm	90%	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Schichtung*/Capas</th> <th>B</th> <th>S</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vegetationshöhe [m] Altura de la vegetación (cm)</td> <td>8</td> <td>2.5</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Declangrad [°]F Grado de inclinación(°)</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Bodenfarbe (zur Seite) Color del suelo (verso)</td> <td colspan="3">Grau-schwarz</td> </tr> <tr> <td>Durchwurzelungstiefe [cm] Profundidad de las raíces (cm)</td> <td colspan="3">70 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtung*/Capas	B	S	K	Vegetationshöhe [m] Altura de la vegetación (cm)	8	2.5	0.5	Declangrad [°]F Grado de inclinación(°)	10	20	60	Bodenfarbe (zur Seite) Color del suelo (verso)	Grau-schwarz			Durchwurzelungstiefe [cm] Profundidad de las raíces (cm)	70 cm			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Lufttemperatur Temper. del aire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14°C</td> </tr> </tbody> </table>	Lufttemperatur Temper. del aire	14°C
H.-Mächtigkeit/ Profundidad del Horizonte [cm]	H.-Typ* Tipo del Horiz.	Korngrößen* tamaño del grano	Bodenfarbe/-helligkeit* Color del Suelo/ Tonalidad	Kalk* Carbonato	Feuchte* Humedad	pH-W.*	Leit-Fähigk. Conductividad	Gefüge* Estruc-tura	Bemerkung Observación Oder Probennr.																																																																																															
60	A h	uT	Grau-schwarz		nass			SP	I 2 Ah 10; I 2 Ah 50																																																																																															
5	AB	tU	Braun-grau-ocker		frisch			SP	I 2 AB																																																																																															
10	B v	uS	Braun-gelb		frisch			SP	I 2 B v																																																																																															
25	C	IS	weiß-grau		feucht			SP	I 2 C																																																																																															
-	-	-	-		-			-	-																																																																																															
-	-	-	-		-			-	-																																																																																															
Temp.	Uhrzeit der Aufnahme/ Hora del levantamiento																																																																																																							
5 cm	10:00 h																																																																																																							
50 cm	Grad der Bewölkung (%)* Porcentaje de nubosidad																																																																																																							
100 cm	90%																																																																																																							
Schichtung*/Capas	B	S	K																																																																																																					
Vegetationshöhe [m] Altura de la vegetación (cm)	8	2.5	0.5																																																																																																					
Declangrad [°]F Grado de inclinación(°)	10	20	60																																																																																																					
Bodenfarbe (zur Seite) Color del suelo (verso)	Grau-schwarz																																																																																																							
Durchwurzelungstiefe [cm] Profundidad de las raíces (cm)	70 cm																																																																																																							
Lufttemperatur Temper. del aire																																																																																																								
14°C																																																																																																								
Leitrand/ Margen	* s. Erläuterung/ véase explicación																																																																																																							

Abbildung A 3: Bodenaufnahmeformular I 2

Tabelle A 1: Bodenchemische Untersuchungen Profil I 2

Ort	Puente Limite Pasto-Bosque2	
Höhe	3.355 m.ü.d.M.	
Probe	I 2	I 2
Horizont	B <sub>v</sub>	C
Tiefe unter GOF in cm	75	100
pH	4,840	4,410
Kohlenstoff (%)	3,210	0,380
Org. Mat.	5,530	0,650
Feuchte (%)	5,040	4,840
Stickstoff (%Ntotal)	0,320	0,064
Kalium (meq K/100g)	0,000	0,050
Calcium (meq Ca/100g)	0,170	0,370
Magnesium (meq Mg/1g)	0,020	0,180
Natrium ppm	0,000	1,990

Formblatt Boden/Hoja de trabajo: Suelos

Photo: 247 33 und 34

Datum /Fecha: 19/11.02

Standortname/ Nombre del sitio: **Bosque primario San Juan**      Inklination [°]:Inclinación (°): **16°**  
 Standort Nr. (röm.)/ Sitio Nr.: **II**      Probenbezeich./ Descripción de la muestra: **II\_2**      Exposition/Dirección de la pendiente: **S 175°**  
 Proben Nr. (arab.) muestra: **1**      Position GPS/ Posición GPS: **2°20'588N 76°19'049W**      Höhe [m] / Altura: **3200 mNN**

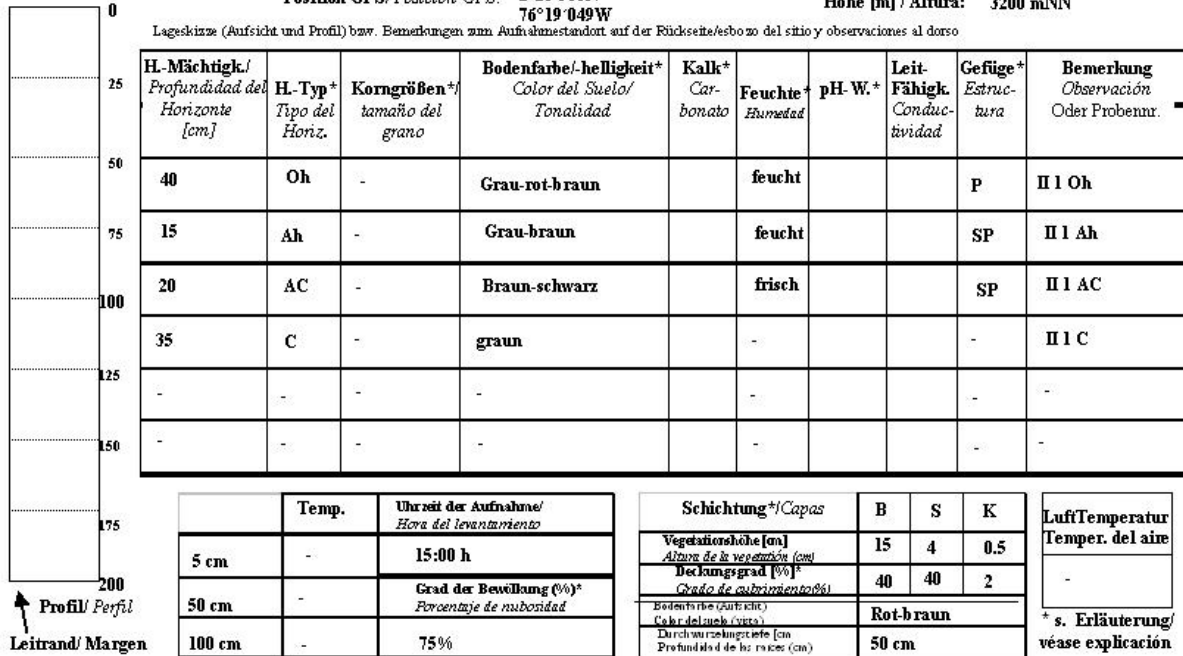


Abbildung A 4: Bodenaufnahmeformular II 2

Standort Nr. (röm.) / Sitio Nr. : III Standortname/ Nombre del sitio: Pilimbala Weide/Sekundärwald Inklination [°]:Inclinación (°): 10°  
 Probenbezeich./ Descripción de la muestra: III\_1 Höhe Cabañas  
 Proben Nr. (arab.) muestra: 1 Position GPS/ Posición GPS: 2°21'958N III\_1 Exposition/Dirección de la pendiente: NE 45°  
 76°24'437W Höhe [m] / Altura: 3400 mNN

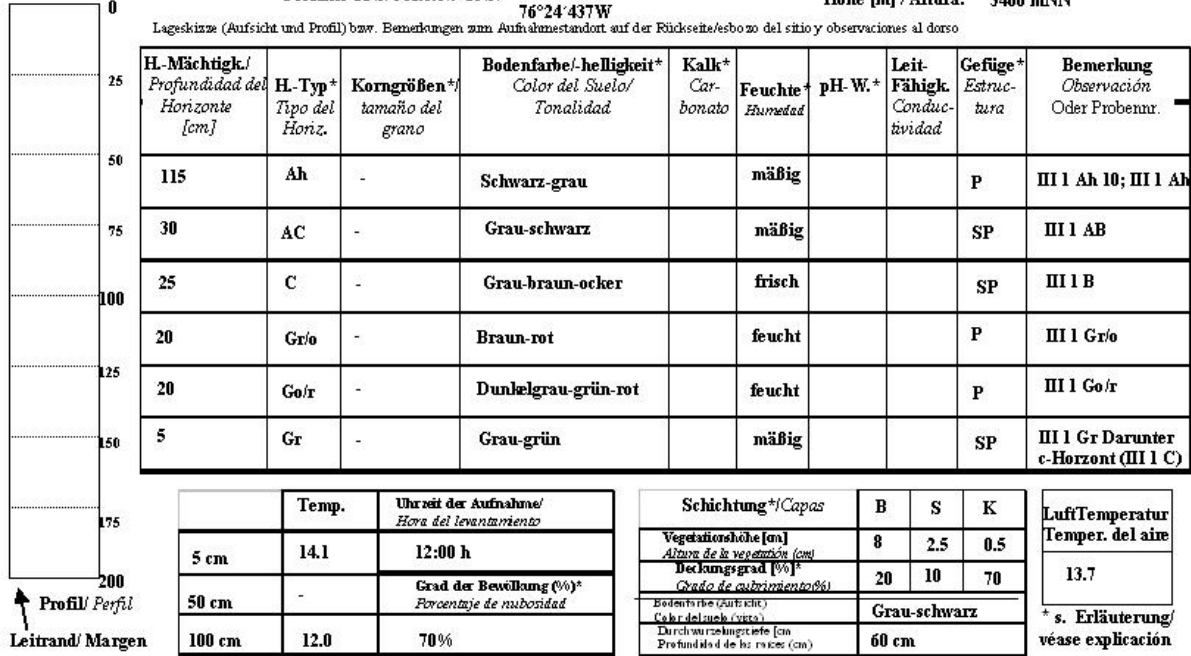


Abbildung A 5: Bodenaufnahmeformular III 1

Tabelle A 2: Bodenchemische Untersuchungen Profil III 1

Ort	Pilimbala Pasto-Bosque	
Höhe	3.400 m.ü.d.M.	
Probe	III 1	III 1
Horizont	A <sub>h</sub>	G <sub>o/r</sub>
Tiefe unter GOF in cm	115	190
pH	5,270	5,460
Kohlenstoff (%)	7,180	1,430
Org. Mat.	12,400	2,460
Feuchte (%)	5,820	5,820
Stickstoff (%Ntotal)	0,710	0,190
Kalium (meq K/100g)	0,004	0,000
Calcium (meq Ca/100g)	0,540	0,520
Magnesium (meq Mg/1g)	0,100	0,050
Natrium ppm	0,660	0,570

**Formblatt Boden/Hoja de trabajo: Suelos** Photo: 249 25 bis 27 Datum /Fecha: 08/01.03

Standortname/ Nombre del sitio: Laguna Mina Inklination [°]:Inclinación (°): 5°  
 Standort Nr. (röm.)/ Sitio Nr.: III Probenbezeich./ Descripción de la muestra: III\_2 Exposition/Dirección de la pendiente: ESE 120°  
 Proben Nr. (arab.) muestra: 2 Position GPS/ Posición GPS: 2°20'958N 76°24'430W Höhe [m]/ Altura: 3660 mNN

Lageskizze (Aufsicht und Profil) bzw. Bemerkungen zum Aufnahmestandort auf der Rückseite/esbozo del sitio y observaciones al dorso

H.-Mächtigkeit/ Profundidad del Horizonte [cm]	H.-Typ* Tipo del Horiz.	Korngrößen* tamaño del grano	Bodenfarbe/-helligkeit* Color del Suelo/ Tonalidad	Kalk* Car- bonato	Feuchte* Humedad	pH-W.*	Leit- Fähigk. Conduc- tividad	Gefüge* Estruc- tura	Bemerkung Observación
0									
25									
50	120	Ah 1	dS	Schwarz-grau	frisch			SP	2 Proben: 30 und 100
	80	C 1	sL	Rot-braun-grau				P	
75	60	Ah 2	dS	Schwarz-grau				SP	
	20	C 2	uS	Grau-rot-braun				SP	
100	30	Ah 3	uS	Schwarz-grau				SP	
	50	C 3 Go/r	uS	Grau-rot-braun-grün				SP	
125	30	Ah 4	uS	Schwarz-grau				SP	
	20	C Go	uS	Gelb-orange				SP	
150									
175									
200									

Temp.	Uhrzeit der Aufnahme/ Hora del levantamiento
5 cm	13:00 h
50 cm	Grad der Bewölkung (%) Porcentaje de nubosidad
100 cm	100%, Nieselregen

Schichtung*/Capas	B	S	K
Vegetationshöhe [m] Altura de la vegetación [cm]	-	-	50cm
Deckungsgrad [%]* Grado de cobertura [%]	-	-	70
Bodenfarbe (Zufuhr) Color del suelo (aporte)	Grau-schwarz		
Durchwurzelungstiefe [cm] Profundidad de las raíces [cm]	80 cm		

Leitrand/ Margen

Profil/ Perfil

Lufttemperatur  
Temper. del aire

\* s. Erläuterung/  
véase explicación

Abbildung A 6: Bodenaufnahmeformular III 2

**Formblatt Boden/Hoja de trabajo: Suelos** Photo: keine Datum /Fecha: 18/11.02

Standortname/ Nombre del sitio: Puracé, Station Ingeominas Inklination [°]:Inclinación (°): 30°  
 Standort Nr. (röm.)/ Sitio Nr.: III Probenbezeich./ Descripción de la muestra: III\_3 Exposition/Dirección de la pendiente: NNE 5°  
 Proben Nr. (arab.) muestra: 3 Position GPS/ Posición GPS: 2°19'673N 76°23'821W Höhe [m]/ Altura: 4210 mNN

Lageskizze (Aufsicht und Profil) bzw. Bemerkungen zum Aufnahmestandort auf der Rückseite/esbozo del sitio y observaciones al dorso

H.-Mächtigkeit/ Profundidad del Horizonte [cm]	H.-Typ* Tipo del Horiz.	Korngrößen* tamaño del grano	Bodenfarbe/-helligkeit* Color del Suelo/ Tonalidad	Kalk* Car- bonato	Feuchte* Humedad	pH-W.*	Leit- Fähigk. Conduc- tividad	Gefüge* Estruc- tura	Bemerkung Observación
0									
25									
50	5	Ah	IS	Braun-grau				EK	Initiale Bodenbildung auf Tephra- und Moränenmaterial
75	10	C	sS	Braun-ocker				EK	
100									Krautschicht gebildet von Mausen und Calamagrostis- Horsten
125									
150									
175									
200									

Temp.	Uhrzeit der Aufnahme/ Hora del levantamiento
5 cm	14:00 h
50 cm	Grad der Bewölkung (%) Porcentaje de nubosidad
100 cm	85%, zeitw. Regen

Schichtung*/Capas	B	S	K
Vegetationshöhe [m] Altura de la vegetación [cm]	-	-	3
Deckungsgrad [%]* Grado de cobertura [%]	-	-	5
Bodenfarbe (Zufuhr) Color del suelo (aporte)	braun		
Durchwurzelungstiefe [cm] Profundidad de las raíces [cm]	2 cm		

Leitrand/ Margen

Profil/ Perfil

Lufttemperatur  
Temper. del aire

\* s. Erläuterung/  
véase explicación

Abbildung A 7: Bodenaufnahmeformular III 3

Standort Nr. (röm.) / Sitio Nr.: IV  
 Proben Nr. (arab.) muestra: 1

Standortname/ Nombre del sitio: Str. Puracé - Pilimbala  
 Probenbezeich./ Descripción de la muestra: IV\_1  
 Position GPS/ Posición GPS: 2°23'113N  
 76°25'970W

Inklination [°]:Inclinación (°): 5°  
 Exposition/Dirección de la pendiente: SE 160°  
 Höhe [m] / Altura: 2870 mNN

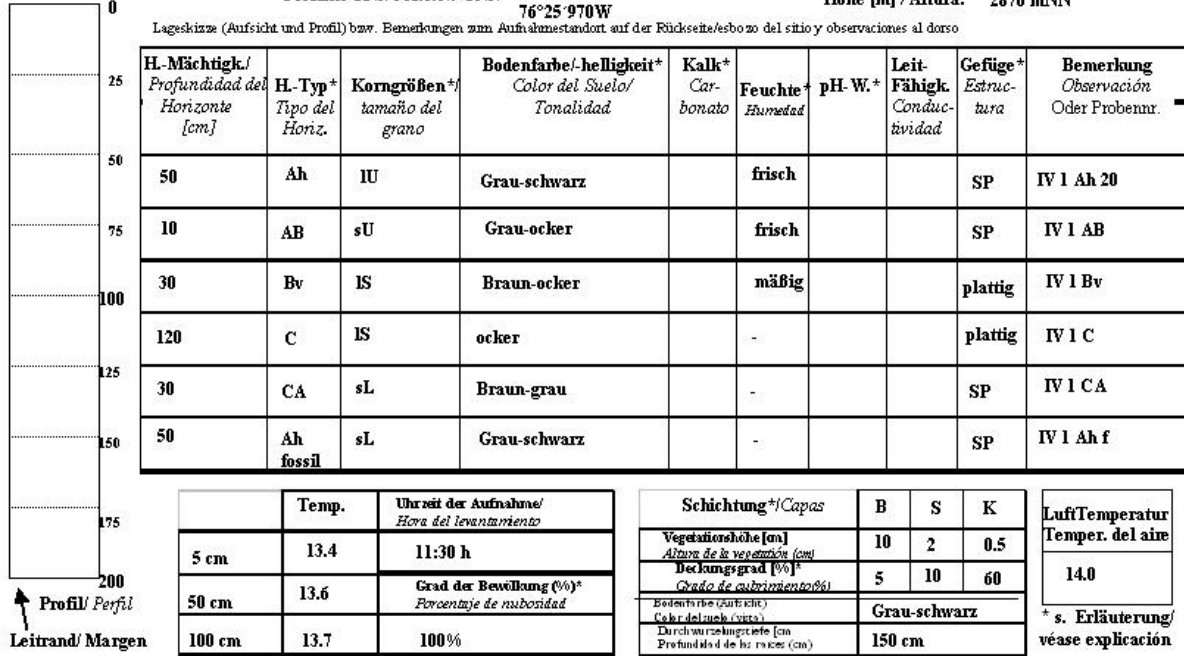


Abbildung A 8: Bodenaufnahmeformular IV 1

Standort Nr. (röm.) / Sitio Nr.: IV  
 Proben Nr. (arab.) muestra: 2

Standortname/ Nombre del sitio: Str. Popayan- Purace  
 Probenbezeich./ Descripción de la muestra: IV\_2  
 Position GPS/ Posición GPS: 2°23'113N  
 76°25'970W

Inklination [°]:Inclinación (°): 3°  
 Exposition/Dirección de la pendiente: WNW  
 290°  
 Höhe [m] / Altura: 2560 mNN

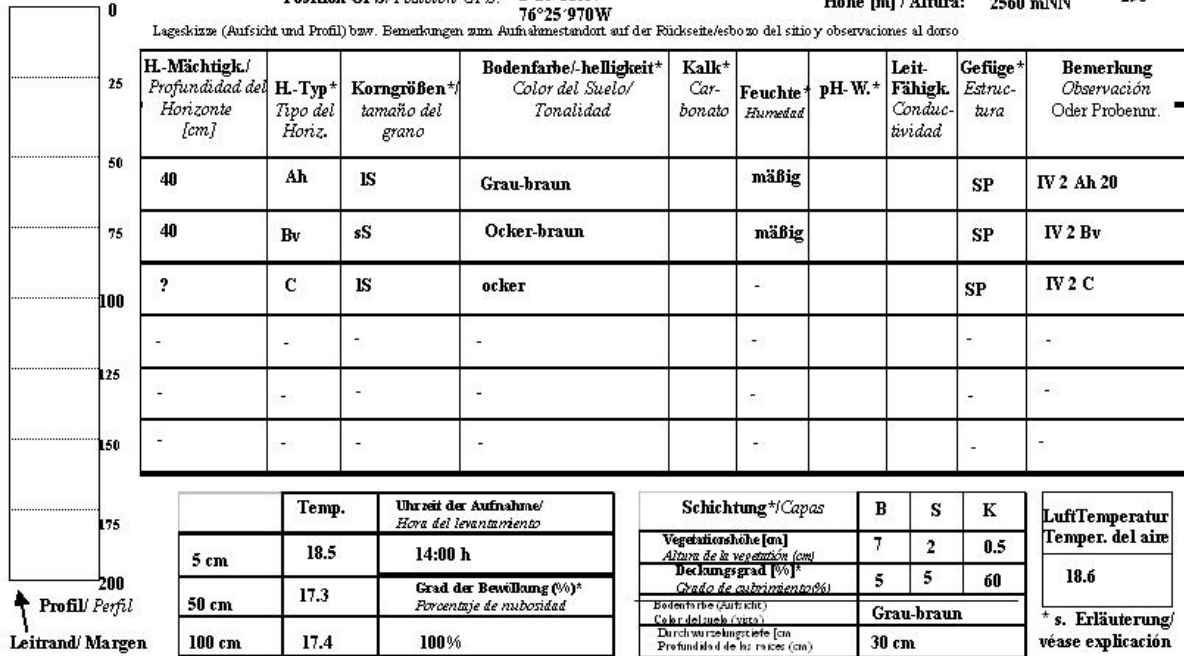


Abbildung A 9: Bodenaufnahmeformular IV 2



Standortname/ Nombre del sitio: Quebrada Campamento, Bachstandort Weide/Eucalyptus  
 Standort Nr. (röm.) / Sitio Nr.: IV Probenbezeich./ Descripción de la muestra: IV\_3  
 Proben Nr. (arab.) muestra: 3 Position GPS/ Posición GPS: 2°23'306N 76°26'007W  
 Inklination [°]:Inclinación (°): 6° Exposition/Dirección de la pendiente: S 184°  
 Höhe [m] / Altura: 2840 mNN

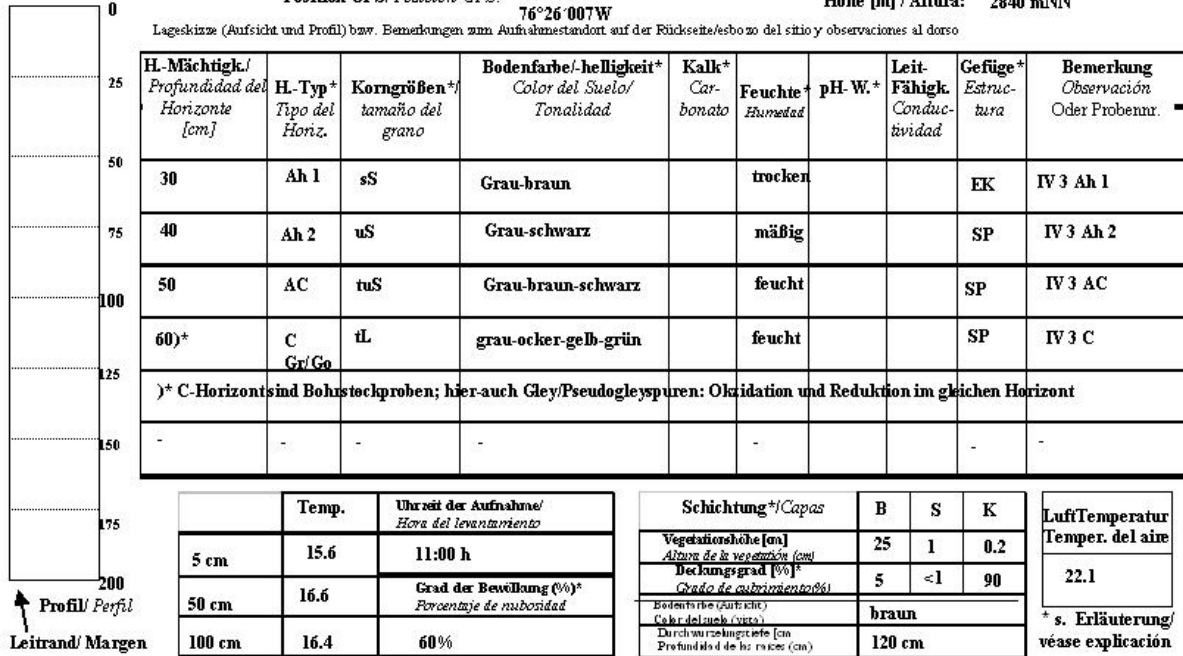


Abbildung A 10: Bodenaufnahmeformular IV 3

Tabelle A 3: Bodenchemische Untersuchungen Profil IV 3

Ort	Quebrada campamento – Pasto - Eucalyptushain		
Höhe	2.840 m.ü.d.M.		
Probe	IV 3		
Horizont	A <sub>h1</sub>	A <sub>h2</sub>	AC
Tiefe unter GOF in cm	30	70	120
pH	4,740	4,160	3,630
Kohlenstoff (%)	4,540	5,470	8,030
Org. Mat.	7,820	9,440	13,800
Feuchte (%)	4,170	3,720	5,810
Stickstoff (%Ntotal)	1,100	0,450	0,770
Kalium (meq K/100g)	0,390	0,360	0,230
Calcium (meq Ca/100g)	0,260	0,150	0,040
Magnesium (meq Mg/1g)	0,380	1,080	0,070
Natrium ppm	0,830	1,340	1,890

Standort Nr. (röm.) / Sitio Nr.: IV

Standortname/ Nombre del sitio: Francisco

Inklination [°]/Inclinación (°): 40°

Proben Nr. (arab.) muestra: 4

Probenbezeich./ Descripción de la muestra: IV\_4

Exposition/Dirección de la pendiente: N 17°

Position GPS/ Posición GPS: 2°23'647N  
76°29'722W

Höhe [m] / Altura: 2325 mNN

Lageskizze (Aufsicht und Profil) bzw. Bemerkungen zum Aufnahmestandort auf der Rückseite/esbozo del sitio y observaciones al dorso

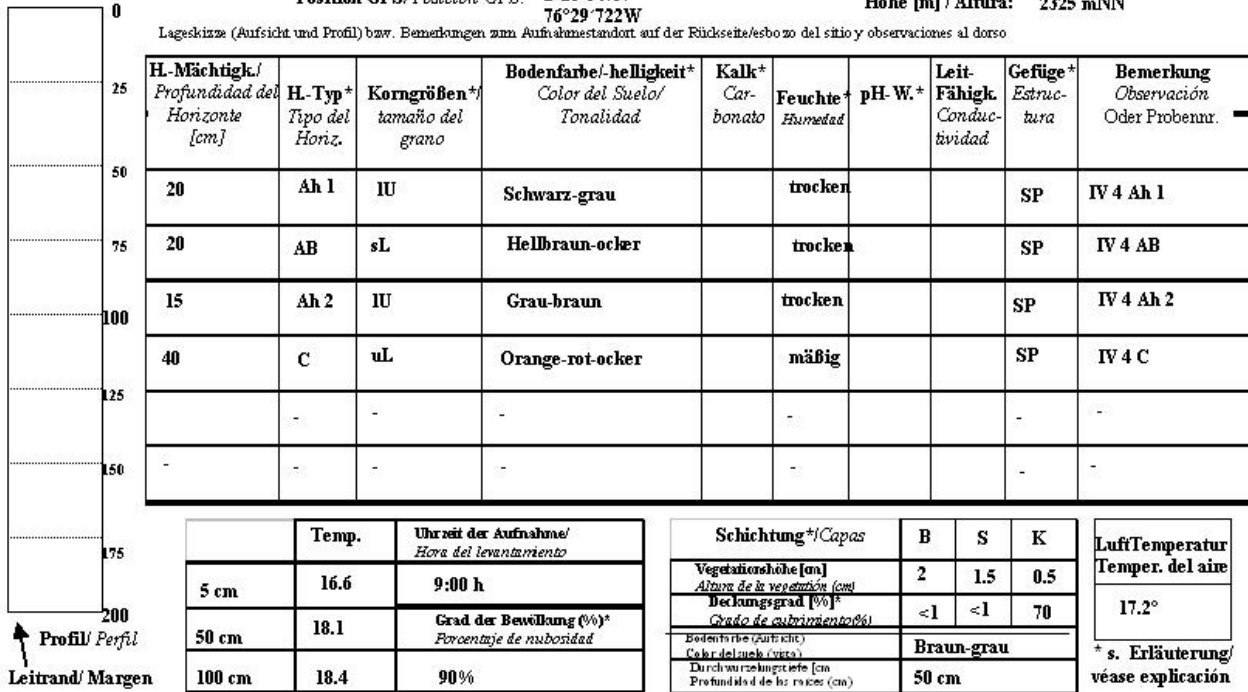


Abbildung A 11: Bodenaufnahmeformular IV 4

Tabelle A 4: Bodenchemische Untersuchungen Profil IV 4

Ort	Steinbruch		
Höhe	2.325 m.ü.d.M.		
Probe	IV 4	IV 4	IV 4
Horizont	AB	A <sub>h</sub> 2	C
Tiefe unter GOF in cm	20	35	75
pH	5,710	5,380	5,080
Kohlenstoff (%)	0,240	0,600	0,410
Org. Mat.	0,410	1,030	0,700
Feuchte (%)	5,480	7,760	5,370
Stickstoff (%Ntotal)	**	**	**
Kalium (meq K/100g)	0,170	0,120	0,030
Calcium (meq Ca/100g)	3,110	3,200	3,430
Magnesium (meq Mg/1g)	0,960	1,820	1,980
Natrium ppm	5,210	15,330	8,700

Standortname/ Nombre del sitio: **Profilwand an neuem Weg von Str. PPN-Cocon. abzweigend, KM 17** Inklination [°]:Inclinación (°): **5°**  
 Standort Nr. (röm.) / Sitio Nr.: **IV** Probenbezeich./ Descripción de la muestra: **IV\_6** Exposition/Dirección de la pendiente: **NNE 15°**  
 Proben Nr. (arab.) muestra: **6** Position GPS/ Posición GPS: **2°24'930N 76°31'340W** Höhe [m] / Altura: **2130 mNN**

Lageskizze (Aufsicht und Profil) bzw. Bemerkungen zum Aufnahmestandort auf der Rückseite/esbozo del sitio y observaciones al dorso

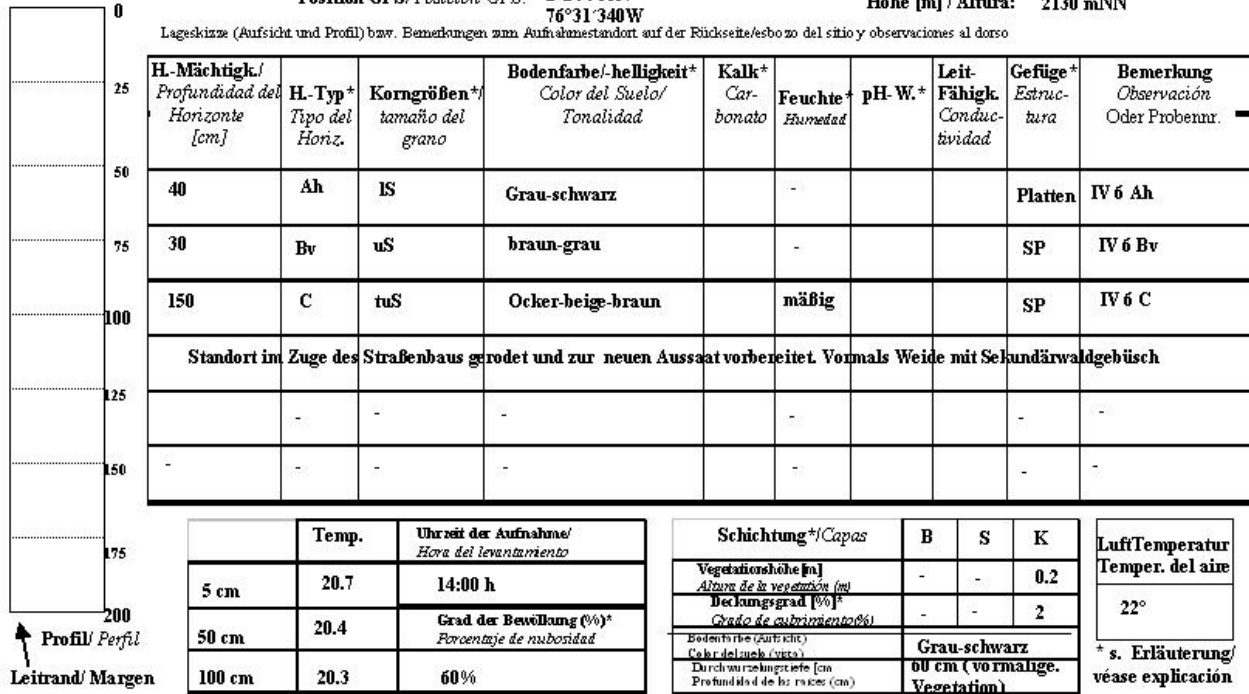


Abbildung A 12: Bodenaufnahmeformular IV 6

Tabelle A 5: Bodenchemische Untersuchungen Profil IV 6

Ort	Km17 Straße Popayán – Coconuco		
Höhe	2.130 m.ü.d.M.		
Probe	IV 6	IV 6	IV 6
Horizont	Ah	Bv-	C
Tiefe unter GOF in cm	40	70	220
pH	5,560	6,180	6,080
Kohlenstoff (%)	5,800	1,830	0,460
Org. Mat.	10,010	3,150	0,790
Feuchte (%)	6,940	7,410	4,900
Stickstoff (%Ntotal)	1,090	0,380	1,160
Kalium (meq K/100g)	0,040	0,230	0,790
Calcium (meq Ca/100g)	2,280	3,320	2,160
Magnesium (meq Mg/1g)	0,300	0,000	0,460
Natrium ppm	4,770	9,270	2,760

## Vegetationsuntersuchungen

Tabelle A 6: Im Untersuchungsgebiet vertretene Flora nach Vegetationsgesellschaften

Vegetationsgesellschaft	Wissenschaftlicher Name	Höhe in m.ü.d.M.
Chuscal - Gestrüpp	<i>Puya sp.</i>	3.400 - 3950
Chuscal - Gestrüpp	<i>Aciachne pulvinata</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Agrostis sp.</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Baccharis sp.</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Campylopus pittieri</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Carex bonplandii</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Disterigma sp1.</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Elaphoglossum sp.</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Elleanthus sp.</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Hesperomeles heterophylla</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Huperzia brevifolia</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Jamesonia sp.</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Loricaria thuyoides</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Lupinus expetendus</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Monnina revoluta</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Myrteola nummularia</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Niphogeton ternata</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Pentacalia</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Pernettya prostrata</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Rhynchospora</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Vaccinium floribundum</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Valeriana bracteata</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp	<i>Weinmannia</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Agrostis sp.</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Blechnum loxensis</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Cerastium danguyi</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Chusquea tessellata</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Cortaderia sp.</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Diplostephium cinerascens</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Huperzia hokenackeri (cf.)</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Jamesonia rubricualis</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Lycopodium clavatum</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Melpomene sp.</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Myrteola nummularia</i>	3.400 - 3.500

einflusst		
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Niphogeton ternata</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Paepalanthus</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Rynchospora</i>	3.400 - 3.500
Chuscal - Gestrüpp - anthropogen beeinflusst	<i>Ugni</i>	3.400 - 3.500
Gebüsch	<i>Ageratina tinifolia</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Arracacia sp.</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Baccharis macrantha</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Berberis stuebelii</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Bomarea sp.</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Calamagrostis macrophylla</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Conyza sp.</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Conyza uliginosa</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Diplostegium floribundum</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Drymaria cordata</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Epilobium denticulatum</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Gaiadendron punctatum</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Gaultheria erecta</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Gentianella rapunculoides</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Gentianella rapunculoides</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Geranium confertum</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Gynoxys sp.</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Halenia weddeliana</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Jamesonia rubricaulis</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Lasiocephalus otophorus</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Lupinus puracensis</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Miconia sp.</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Miconia salicifolia</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Monnina sp.</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Munnozia jussieui</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Niphogeton ternata</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Oreopanax seemannianus</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Pentacalia</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Pentacalia</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Pentacalia</i>	3.500 - 3.600
Gebüsch	<i>Pentacalia andicola</i>	3.600 - 4.000
Gebüsch	<i>Pentacalia arbutifolia</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Pentacalia popayanensis</i>	3.600 - 3.500
Gebüsch	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Ranunculus</i>	3.300 - 3.400
Gebüsch	<i>Ribes</i>	3.600 - 3.500
Gebüsch	<i>Rubus</i>	3.600 - 3.500
Gebüsch	<i>Rubus glabratus</i>	3.300 - 3.400

Gebüsch	<i>Thibaudia paruiifolia</i>	3.600 - 3.500
Gebüsch	<i>Valeriana municoides</i>	3.600 - 4.000
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Ageratina tinifolia</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Blechnum loxensis</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Bromus sp.</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Calamagrostis macrophylla</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Carex sp.</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Carex bonplandii</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Cortaderia sp.</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Diplostephium sp.</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Geranium sp.</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Hieracium sp.</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Holcus lanatus</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Hypericum laricifolium</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Hypericum aciculare</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Lupinus sp.</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Myrteola nummularia</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Ranunculus praemorsus</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Rubus glabratus</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Rumex acetosella</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Rynchospora</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Sphagnum sp.</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Stipa</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Stipa</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Valeriana bracteata</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Valeriana plantaginea</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Veronica serpyllifolia</i>	3.300 - 3.400
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Weinmannia</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Xyris subulata</i>	3.350 - 3.450
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Azorella aretioides</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Bartsia santolinifolia</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Calamagrostis sp.</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Calamagrostis effusa</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Espeletia hartwegiana</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Gentiana sedifolia</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Gynoxys sp.</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Halenia weddelliana</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Huperzia crassa</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst,	<i>Lachemilla nivalis</i>	3.600 - 3.850

rezent gebrannt		
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Loricaria colombiana</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Luzula racemosa</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Pernettya prostrata</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Senecio formosus</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Valeriana</i>	3.600 - 3.850
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Valeriana microphylla</i>	3.600 - 3.850
Hochandiner Wald	<i>Ageratina tinifolia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Baccharis sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Blechnum sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Blechnum cordatum</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Bomarea linifolia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Brachyonidium sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Brachyotum lindenii</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Carex jamesonii</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Chorisodontium mittenii</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Cybianthus marginatus</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Desfontainia parvifolia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Diplostephium glandulosum</i>	3.600 - 3.800
Hochandiner Wald	<i>Diplostephium sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Disterigma sp1.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Disterigma acuminatum</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Elleanthus sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Epidendrum sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Escallonia sp.</i>	3.400 - 3.800
Hochandiner Wald	<i>Gaiadendron punctatum</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Galium sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Galium hypocarpium</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Gaultheria erecta</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Gaultheria insipida</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Greigia sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Gynoxys sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Hedyosmum sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Hedyosmum cumbalense</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Hesperomeles ferruginea</i>	3.400 - 3.800
Hochandiner Wald	<i>Hesperomeles pernettyoides</i>	3.400 - 3.800
Hochandiner Wald	<i>Huperzia hippuridea</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Hymenophyllum sodiroi</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Ilex colombiana</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Lellingeria sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Macleania sp.</i>	3.400 - 3.800
Hochandiner Wald	<i>Macleania pubiflora</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Maytenus novogranatensis</i>	3.400 - 3.500



Hochandiner Wald	<i>Melpomene sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Miconia sp.</i>	3.400 - 3.800
Hochandiner Wald	<i>Miconia cuneifolia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Miconia curvitheca</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Miconia puracensis</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Monnina sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Oreopanax seemannianus</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Oxalis</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Pachyphyllum pastii</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Pachyphyllum</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Pentacalia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Pentacalia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Pentacalia trichopus</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Pentacalia weinmaniifolia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Peperomia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Pernettya postrata</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Pleurothalis</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Pleurothalis</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Polypodium</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Saracha quitensis?</i>	3.400 - 3.800
Hochandiner Wald	<i>Siphocampylus</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Symplocos quitensis</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Thelypteris</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Themistoclesia mucronata</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Themistoclesia dependens</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Thibaudia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald	<i>Tristerix longebracteatus</i>	3.400 - 3.800
Hochandiner Wald	<i>Weinmannia microphylla</i>	3.400 - 3.800
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Blechnum auratum</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Blechnum auratum</i>	3.350 - 3.450
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Calamagrostis macrophylla</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Diplostephium floribundum</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Diplostephium sp.</i>	3.350 - 3.450
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Diplostephium hartwegii</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Disterigma acuminatum</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Disterigma acuminatum</i>	3.350 - 3.450
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Elaphoglossum sp.</i>	3.350 - 3.450
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Elleanthus casatus</i>	3.350 - 3.450
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Hesperomeles sp.</i>	3.350 - 3.450

einflusst		
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Hypericum ruscoides</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Ilex myricoides</i>	3.350 - 3.450
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Jamesonia sp.</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Miconia chlorocarpa</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Myrsine dependens</i>	3.350 - 3.450
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Sphagnum</i>	3.350 - 3.450
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Themistoclesia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Thibaudia parvifolia</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Ugni myricoides</i>	3.400 - 3.500
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Weinmannia mariquitae</i>	3.350 - 3.450
Páramo	<i>Acaena elongata</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Achyrocline sp.</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Agrostis sp.</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Baccharis genistilloides</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Bartsia stricta</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Breutelia inclinata</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Carex</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Carex jamesonii</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Carex jamesonii</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Castilleja fissifolia</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Chusquea tessellata</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Conyza sp.</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Cortaderia nitida</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Diplostephium sp.</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Diplostephium floribundum</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Disterigma erupetrfolium</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Distichia muscoides</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Eryngium humile</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Espeletia hartwegiana</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Festuca sp.</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Gaultheria insipida</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Gentianella rapunculoides</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Geranium confertum</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Greigia sp.</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Gunnera magellanica</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Huperzia sp.</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Hypericum laricifolium</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Hypericum aciculare</i>	3.300 - 3.400

Páramo	<i>Hypericum laricifolium</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Hypochoeris sessiliflora</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Isoetes novogranatensis</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Juncus effusus</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Lachemilla fulvescens</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Lachemilla galioides</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Leptodontium sp.</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Loricaria thuyoides</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Monnina revoluta</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Monnina sp.</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Monnina revoluta Kunth</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Neurolepis sp.</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Neurolepis aristata</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Niphogeton ternata</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Niphogeton ternata</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Pentacalia</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Plantago hirtella</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Pleurozium schreberi</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Puya cuatrecasasii</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Ranunculus</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Ranunculus flagelliformis</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Senecio formosus</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Senecio formosus</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Sisyrinchium jamesonii</i>	3.300 - 3.400
Páramo	<i>Stipa</i>	3.700 - 3.850
Páramo	<i>Valeriana plantaginea</i>	3.300 - 3.400
Páramo - Farngesellschaft	<i>Agrostis sp.</i>	3.320 - 3.350
Páramo - Farngesellschaft	<i>Blechnum loxensis</i>	3.320 - 3.350
Páramo - Farngesellschaft	<i>Calamagrostis effusa</i>	3.320 - 3.350
Páramo - Farngesellschaft	<i>Diplostephium sp.</i>	3.320 - 3.350
Páramo - Farngesellschaft	<i>Disterigma sp1.</i>	3.320 - 3.350
Páramo - Farngesellschaft	<i>Disterigma empetrifolium</i>	3.320 - 3.350
Páramo - Farngesellschaft	<i>Espeletia hartwegiana</i>	3.320 - 3.350
Páramo - Farngesellschaft	<i>Hieracium sp.</i>	3.320 - 3.350
Páramo - Farngesellschaft	<i>Hypericum laricifolium</i>	3.320 - 3.350
Páramo - Sumpf	<i>Agrostis sp.</i>	3.600 - 3.800
Páramo - Sumpf	<i>Carex jamesonii</i>	3.600 - 3.800
Páramo - Sumpf	<i>Distichia muscoides</i>	3.600 - 3.800
Páramo - Sumpf	<i>Lasiocephalus sp.</i>	3.600 - 3.800
Páramo - Sumpf	<i>Pentacalia</i>	3.600 - 3.800
Páramo - Sumpf	<i>Senecio formosus</i>	3.600 - 3.800
Superpáramo	<i>Agrostis sp.</i>	4.100 - 4.200
Superpáramo	<i>Agrostis sp.</i>	3.900 - 4.150
Superpáramo	<i>Azorella aretioides</i>	4.100 - 4.200
Superpáramo	<i>Cerastium danguyii</i>	4.100 - 4.200
Superpáramo	<i>Halenia sp.</i>	4.100 - 4.200
Superpáramo	<i>Lachemilla galioides</i>	4.100 - 4.200

Superpáramo	<i>Lachemilla holosericea</i>	4.100 – 4.200
Superpáramo	<i>Lasiocephalus sp.</i>	4.100 – 4.200
Superpáramo	<i>Loricaria colombiana</i>	4.100 – 4.200
Superpáramo	<i>Lupinus microphyllus</i>	3.900 – 4.150
Superpáramo	<i>Lupinus sp.</i>	3.900 – 4.150
Superpáramo	<i>Luzula gigantes</i>	4.100 - 4.200
Superpáramo	<i>Recomitrium crispipilum</i>	3.900 – 4.150
Superpáramo	<i>Senecio</i>	3.900 – 4.150
Superpáramo	<i>Valeriana microphyla</i>	4.100 – 4.200
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Axinaea macrophylla</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Azorella multifida</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Baccharis buddlejoides</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Brachyonidium sp.</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Centropogon sp.</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Danthonia secundiflora</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Disterigma sp1.</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Fuchsia corollata</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Geissanthus andinus</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Geranium sp.</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Hesperomeles ferruginea</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Holcus lanatus</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Hypericum laricifolium</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Hypochoeris radicata</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Ilex sp.</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Miconia sp.</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Miconia setinodis</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Munnozia senecionidis</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Pentacalia trichopus</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Pernettya prostrata</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Plantago australis</i>	3.300 – 3.400

schaft		
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Polypodium monosorum</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Racinaea tetrantha</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Stachys lamioides</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Stipoideae</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Tibouchina grossa</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Tibouchina mollis</i>	3.300 – 3.400
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Weinmannia mariquitae</i>	3.300 – 3.400

Quelle: Eigene Untersuchungen

Tabelle A 7: Alphabetische Liste der Flora mit Familien und Assoziationen oder Vegetationsgesellschaften im Untersuchungsgebiet

Wissenschaftlicher Name	Familie	Assoziation oder Vegetationsgesellschaft
<i>Acaena elongata</i>	Rosaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Achyrocline sp.</i>	Asteraceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Aciachne pulvinata</i>	Poaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Ageratina tinifolia</i>	Asteraceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Ageratina tinifolia</i>	Asteraceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Ageratina tinifolia</i>	Asteraceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Agrostis sp.</i>	Poaceae	<i>Blechno Loxensis - Espeletietum hartwegianae</i>
<i>Agrostis sp.</i>	Poaceae	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Agrostis sp.</i>	Poaceae	<i>Lachemillo pectinatae - Loricarietum colombianae</i>
<i>Agrostis sp.</i>	Poaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Agrostis sp.</i>	Poaceae	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Agrostis sp.</i>	Poaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Agrostis sp.</i>	Poaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Arracacia sp.</i>	Apiaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Axinaea macrophylla</i>	Melastomataceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Azorella aretioides</i>	Apiaceae	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Azorella aretioides</i>	Apiaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Azorella multifida</i>	Apiaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Baccharis sp.</i>	Asteraceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Baccharis sp.</i>	Asteraceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Baccharis buddlejoides</i>	Asteraceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Baccharis genistilloides</i>	Asteraceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Baccharis macrantha</i>	Asteraceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Bartsia santolinifolia</i>	Scrophularia-	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>

	ceae	
<i>Bartsia stricta</i>	Scrophulariaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Berberis stuebelii</i>	Berberidaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Blechnum sp.</i>	Blechnaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Blechnum auratum</i>	Blechnaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Blechnum cordatum</i>	Blechnaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Blechnum loxensis</i>	Blechnaceae	<i>Blechno Loxensis - Espeletietum hartwegianae</i>
<i>Blechnum loxensis</i>	Blechnaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Blechnum loxensis</i>	Blechnaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Blechnum auratum</i>	Blechnaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Bomarea sp.</i>	Alstroemeriaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Bomarea linifolia</i>	Alstroemeriaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Brachyonidium sp.</i>	Melastomataceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Brachyonidium sp.</i>	Melastomataceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Brachyotum lindenii</i>	Melastomataceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Breutelia inclinata</i>	Bartramiaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Bromus sp.</i>	Poaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Calamagrostis macrophylla</i>	Poaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Calamagrostis macrophylla</i>	Poaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Calamagrostis macrophylla</i>	Poaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Calamagrostis sp.</i>	Poaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Calamagrostis effusa</i>	Poaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Calamagrostis effusa</i>	Poaceae	<i>Blechno Loxensis - Espeletietum hartwegianae</i>
<i>Campylopus pittieri</i>	Dicranaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Carex</i>	Cyperaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Carex bonplandii</i>	Cyperaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Carex sp.</i>	Cyperaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Carex bonplandii</i>	Cyperaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Carex jamesonii</i>	Cyperaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Carex jamesonii</i>	Cyperaceae	<i>Lachemillo pectinatae - Loricarietum colombianae</i>
<i>Carex jamesonii</i>	Cyperaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Carex jamesonii</i>	Cyperaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Castilleja fissifolia</i>	Scrophulariaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Centropogon sp.</i>	Campanulaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>

<i>Cerastium danguyi</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Cerastium danguyii</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	<i>Lupino alopecuroidis</i> - <i>Valerianetum microphyllae</i>
<i>Chorisodontium mittenii</i>	<i>Dicranaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Chusquea tessellata</i>	<i>Poaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Chusquea tessellata</i>	<i>Poaceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Conyza</i> sp.	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Conyza</i> sp.	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Conyza</i> sp.	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Conyza</i> sp.	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Conyza uliginosa</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Cortaderia</i> sp.	<i>Poaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Cortaderia</i> sp.	<i>Poaceae</i>	<i>Calamagrostio effusa</i> - <i>Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Cortaderia nitida</i>	<i>Poaceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Cybianthus marginatus</i>	<i>Myrsinaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Danthonia secundiflora</i>	<i>Poaceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Desfontainia parvifolia</i>	<i>Loganiaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Diplostephium</i> sp.	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Espeletietum hartwegianae</i>
<i>Diplostephium floribundum</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Diplostephium cinerascens</i>	<i>Asteraceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Diplostephium bicolor</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio effusa</i> - <i>Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Diplostephium</i> sp.	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Diplostephium floribundum</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Diplostephium floribundum</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Diplostephium</i> sp.	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Diplostephium glandulosum</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Diplostephium hartwegii</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Diplostephium</i> sp.	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Disterigma</i> sp1.	<i>Ericaceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Espeletietum hartwegianae</i>
<i>Disterigma</i> sp1.	<i>Ericaceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Disterigma</i> sp1.	<i>Ericaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Disterigma</i> sp1.	<i>Ericaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Disterigma acuminatum</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Disterigma acuminatum</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Disterigma acuminatum</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Disterigma empetrifoli-</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Espeletietum hartwegianae</i>

<i>um</i>		
<i>Disterigma erupetrifolium</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Distichia muscoides</i>	<i>Juncaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Distichia humilis</i>	<i>Juncaceae</i>	<i>Lachemillo pectinatae - Loricarium colombianae</i>
<i>Drymaria cordata</i>	<i>Cariophyllaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Elaphoglossum sp.</i>	<i>Lomariopsidaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Elaphoglossum sp.</i>	<i>Lomariopsidaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Elleanthus sp.</i>	<i>Orchidaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Elleanthus sp.</i>	<i>Orchidaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Elleanthus sp.</i>	<i>Orchidaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Elleanthus casatus</i>	<i>Orchidaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Epidendrum sp.</i>	<i>Orchidaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Epilobium denticulatum</i>	<i>Orchidaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Eryngium humile</i>	<i>Apiaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Escallonia sp.</i>	<i>Grossulariaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Espeletia hartwegiana</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Espeletia hartwegiana</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Espeletietum hartwegianae</i>
<i>Espeletia hartwegiana centroandina</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Festuca sp.</i>	<i>Poaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Fuchsia corollata</i>	<i>Onagraceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Gaiadendron punctatum</i>	<i>Loranthaceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Gaiadendron punctatum</i>	<i>Loranthaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Galium sp.</i>	<i>Rubiaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Galium hypocarpium</i>	<i>Rubiaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Gaultheria erecta</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Gaultheria erecta</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Gaultheria insipida</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Gaultheria insipida</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Geissanthus andinus</i>	<i>Myrsinaceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Gentiana sedifolia</i>	<i>Gentianaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Gentianella rapunculoides</i>	<i>Gentianaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Gentianella rapunculoides</i>	<i>Gentianaceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Gentianella rapunculoides</i>	<i>Gentianaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Geranium sp.</i>	<i>Geraniaceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephium floribundi</i>
<i>Geranium sp.</i>	<i>Geraniaceae</i>	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Geranium confertum</i>	<i>Geraniaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Geranium confertum</i>	<i>Geraniaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Greigia sp.</i>	<i>Bromeliaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Greigia sp.</i>	<i>Bromeliaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeletion Hartwegianae</i>



<i>Gunnera magellanica</i>	<i>Haloragaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Gynoxys sp.</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Gynoxys tolimensis</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Gynoxys lehmanii</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Halenia weddelliana</i>	<i>Gentianaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Halenia sp.</i>	<i>Gentianaceae</i>	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Halenia weddeliana</i>	<i>Gentianaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Hedyosmum sp.</i>	<i>Chloranthaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Hedyosmum cumbalense</i>	<i>Chloranthaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Hesperomeles sp.</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Hesperomeles ferruginea</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Hesperomeles ferruginea</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Hesperomeles heterophylla</i>	<i>Rosaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Hesperomeles pernettyoides</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Hieracium sp.</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Espeletietum hartwegianae</i>
<i>Hieracium sp.</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Holcus lanatus</i>	<i>Poaceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Holcus lanatus</i>	<i>Poaceae</i>	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Huperzia sp.</i>	<i>Lycopodiaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Huperzia brevifolia</i>	<i>Lycopodiaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Huperzia hokenackeri (cf.)</i>	<i>Lycopodiaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Huperzia crassa</i>	<i>Lycopodiaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Huperzia hippuridea</i>	<i>Lycopodiaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Hymenophyllum sodiroi</i>	<i>Hymenophyllaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Hypericum laricifolium</i>	<i>Clusiaceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Espeletietum hartwegianae</i>
<i>Hypericum laricifolium</i>	<i>Clusiaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Hypericum aciculare</i>	<i>Clusiaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Hypericum laricifolium</i>	<i>Clusiaceae</i>	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Hypericum aciculare</i>	<i>Clusiaceae</i>	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Hypericum laricifolium</i>	<i>Clusiaceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Hypericum laricifolium</i>	<i>Clusiaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Hypericum ruscooides</i>	<i>Clusiaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Hypochoeris radicata</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Hypochoeris sessiliflora</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Ilex sp.</i>	<i>Aquifoliaceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Ilex colombiana</i>	<i>Aquifoliaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Ilex myricoides</i>	<i>Aquifoliaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>

<i>Isoetes novogranatensis</i>	<i>Isoetaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Jamesonia rubricaulis</i>	<i>Pteridaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Jamesonia sp.</i>	<i>Pteridaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Jamesonia sp.</i>	<i>Pteridaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Jamesonia rubricualis</i>	<i>Pteridaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Juncus effusus</i>	<i>Juncaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Lachemilla fulvescens</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Lachemilla galioides</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Lachemilla galioides</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Lachemilla holosericea</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Lachemilla nivalis</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Lasiocephalus puracensis</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Lasiocephalus sp.</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Lachemillo pectinatae - Loricarietum colombianae</i>
<i>Lasiocephalus otophorus</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Lellingeria sp.</i>	<i>Grammitidaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Leptodontium sp.</i>	<i>Pottiaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Leptodontium sp.</i>	<i>Pottiaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Loricaria colombiana</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Loricaria colombiana</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Loricaria thuyoides</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Loricaria thuyoides</i>	<i>Asteraceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Lupinus sp.</i>	<i>Fabaceae</i>	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Lupinus expetendus</i>	<i>Fabaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Lupinus microphyllus</i>	<i>Fabaceae</i>	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Lupinus puracensis</i>	<i>Fabaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Lupinus alopecuroidis</i>	<i>Fabaceae</i>	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Luzula gigantes</i>	<i>Juncaceae</i>	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Luzula racemosa</i>	<i>Juncaceae</i>	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Lycopodium clavatum</i>	<i>Lycopodiaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Macleania sp.</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Macleania pubiflora</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Maytenus novogranatensis</i>	<i>Celastraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Maytenus novogranatensis</i>	<i>Celastraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Melpomene sp.</i>	<i>Grammitidaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Melpomene sp.</i>	<i>Grammitidaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Miconia sp.</i>	<i>Melastomataceae</i>	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Miconia sp.</i>	<i>Melastomataceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>

	ceae	
<i>Miconia sp.</i>	Melastomataceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostegietum floribundi</i>
<i>Miconia cuneifolia</i>	Melastomataceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Miconia curvitheca</i>	Melastomataceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Miconia chlorocarpa</i>	Melastomataceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Miconia curvitheca</i>	Melastomataceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Miconia puracensis</i>	Melastomataceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Miconia salicifolia</i>	Melastomataceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Miconia setinodis</i>	Melastomataceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostegietum floribundi</i>
<i>Monnina sp.</i>	Polygalaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostegietum floribundi</i>
<i>Monnina revoluta</i>	Polygalaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Monnina sp.</i>	Polygalaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Monnina revoluta</i>	Polygalaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Monnina revoluta</i>	Polygalaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Monnina sp.</i>	Polygalaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Monnina revoluta Kunth</i>	Polygalaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Munnozia jussieui</i>	Asteraceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostegietum floribundi</i>
<i>Munnozia senecionidis</i>	Asteraceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostegietum floribundi</i>
<i>Myrsine dependens</i>	Myrsinaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Myrteola nummularia</i>	Myrtaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Myrteola nummularia</i>	Myrtaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Myrteola nummularia</i>	Myrtaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Neurolepis sp.</i>	Poaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Neurolepis aristata</i>	Poaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Niphogeton ternata</i>	Apiaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Niphogeton ternata</i>	Apiaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Niphogeton ternata</i>	Apiaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Oreopanax seemannianus</i>	Araliaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostegietum floribundi</i>
<i>Oreopanax seemannianus</i>	Araliaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Oxalis</i>	Oxalidaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pachyphyllum</i>	Orchidaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Paepalanthus</i>	Eriocaulaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Pentacalia</i>	Asteraceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>

<i>Pentacalia</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Lachemillo pectinatae</i> - <i>Loricarium colombianae</i>
<i>Pentacalia</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Pentacalia</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pentacalia</i>	<i>Asteraceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Pentacalia</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pentacalia vernicosa</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pentacalia</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Pentacalia andicola</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Pentacalia arbutifolia</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pentacalia popayanensis</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Pentacalia trichopus</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Pentacalia trichopus</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pentacalia vaccinioides</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Pentacalia vaccinioides</i>	<i>Asteraceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Pentacalia vaccinioides</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio effusa</i> - <i>Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Pentacalia vaccinioides</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Pentacalia vaccinioides</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pentacalia weinmannifolia</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Peperomia jamesonia</i>	<i>Piperaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pernettya prostrata</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pernettya prostrata</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Pernettya prostrata</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Pernettya prostrata</i>	<i>Ericaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Plantago australis</i>	<i>Plantaginaceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Plantago hirtella</i>	<i>Plantaginaceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Pleurothallis</i>	<i>Orchidaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pleurothallis</i>	<i>Orchidaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Pleurozium schreberi</i>	<i>Hylocomiaceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Polypodium</i>	<i>Polypodiaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Polypodium monosorum</i>	<i>Polypodiaceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Puya cuatrecasasii</i>	<i>Bromeliaceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Puya</i> sp.	<i>Bromeliaceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Racinaea tetrantha</i>	<i>Bromeliaceae</i>	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Ranunculus</i>	<i>Ranunculaceae</i>	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Ranunculus</i>	<i>Ranunculaceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Ranunculus flagelliformis</i>	<i>Ranunculaceae</i>	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Ranunculus praemorsus</i>	<i>Ranunculaceae</i>	<i>Calamagrostio effusa</i> - <i>Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Recomitrium crispipilum</i>	<i>Grimmiaceae</i>	<i>Lupino alopecuroidis</i> - <i>Valerianetum microphyllae</i>
<i>Rhynchospora</i>	<i>Cyperaceae</i>	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>

<i>Ribes</i>	Saxifragaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Rubus</i>	Rosaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Rubus glabratus</i>	Rosaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Rubus glabratus</i>	Rosaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Rubus lechleri</i>	Rosaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Rumex acetosella</i>	Polygonaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Rynchospora</i>	Cyperaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Rynchospora</i>	Cyperaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Saracha quitensis?</i>	Solanaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Senecio canescens</i>	Asteraceae	<i>Lupino alopecuroidis - Valerianetum microphyllae</i>
<i>Senecio formosus</i>	Asteraceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Senecio formosus</i>	Asteraceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Senecio formosus</i>	Asteraceae	<i>Lachemillo pectinatae - Loricarietum colombianae</i>
<i>Senecio formosus</i>	Asteraceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Siphocampylus</i>	Campanulaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Sisyrinchium jamesonii</i>	Iridaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Sphagnum</i>	Sphagnaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Sphagnum sp.</i>	Sphagnaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Stachys lamioides</i>	Lamiaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Stipa</i>	Poaceae	<i>Calamagrostio - Espeleton Hartwegianae</i>
<i>Stipa</i>	Poaceae	<i>Calamagrostio effusa - Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Stipoideae</i>	Poaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Symplocos quitensis</i>	Symplocaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Thelypteris</i>	Thelypteraceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Themistoclesia mucronata</i>	Ericaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Themistoclesia dependens</i>	Ericaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Thibaudia parvifolia</i>	Ericaceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Thibaudia parvifolia</i>	Ericaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Tibouchina grossa</i>	Melastomataceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Tibouchina mollis</i>	Melastomataceae	<i>Blechno Loxensis - Diplostephietum floribundi</i>
<i>Tristerix longebracteatus</i>	Loranthaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Ugni</i>	Myrtaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Ugni myricoides</i>	Myrtaceae	<i>Weinmannio brachystachyae - Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Vaccinium floribundum</i>	Ericaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Valeriana bracteata</i>	Valerianaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>

<i>Valeriana bracteata</i>	Valerianaceae	<i>Calamagrostio effusa</i> - <i>Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Valeriana microphyla</i>	Valerianaceae	<i>Lupino alopecuroidis</i> - <i>Valerianetum microphyllae</i>
<i>Valeriana microphylla</i>	Valerianaceae	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Valeriana municoides</i>	Valerianaceae	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Valeriana plantaginea</i>	Valerianaceae	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeletion Hartwegianae</i>
<i>Valeriana plantaginea</i>	Valerianaceae	<i>Calamagrostio effusa</i> - <i>Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Veronica serpyllifolia</i>	Scrophulariaceae	<i>Calamagrostio effusa</i> - <i>Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Weinmannia</i>	Cunoniaceae	<i>Calamagrostio effusa</i> - <i>Calamagrostietum macrophyllae</i>
<i>Weinmannia mariquitae</i>	Cunoniaceae	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Weinmannia</i>	Cunoniaceae	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
<i>Weinmannia mariquitae</i>	Cunoniaceae	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Weinmannia microphylla</i>	Cunoniaceae	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
<i>Werneria humilis</i>	Asteraceae	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
<i>Xyris subulata</i>	Xyridaceae	<i>Calamagrostio effusa</i> - <i>Calamagrostietum macrophyllae</i>

Quelle: Eigene Untersuchungen

Tabelle A 8: Vegetationsgesellschaften mit den entsprechenden Assoziationen

Vegetationsgesellschaft oder Vegetationshöhenstufe	Assoziation
Chuscal – Gestrüpp	Vegetationsgesellschaft dominiert von <i>Chusquea tessellata</i>
Gebüsch	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
Gebüsch	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
Grasland - anthropogen beeinflusst	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>
Grasland - anthropogen beeinflusst, rezent gebrannt	<i>Calamagrostio effusa</i> - <i>Calamagrostietum macrophyllae</i>
Hochandiner Wald	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
Hochandiner Wald - anthropogen beeinflusst	<i>Weinmannio brachystachyae</i> - <i>Miconietum cuneifoliae</i>
Páramo	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeletion Hartwegianae</i>
Páramo – Farnengesellschaft	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Espeletietum hartwegianae</i>
Páramo – Sumpf	<i>Calamagrostio</i> - <i>Espeletion Hartwegianae</i>
Superpáramo	<i>Lachemillo pectinatae</i> - <i>Loricarietum colombianae</i>
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Lupino alopecuroidis</i> - <i>Valerianetum microphyllae</i>
Vegetación ripariana - Saumgesellschaft	<i>Blechno Loxensis</i> - <i>Diplostephietum floribundi</i>

Quelle: Eigene Untersuchungen