



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Nährstofftransport und Nährstoffretention im
Gewässersystem des Rio Esquinas, Costa Rica“

verfasst von

Mario Fordinal

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 444

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Ökologie

Betreut von:

emer. o. Univ.-Prof. Dr. Friedrich Schiemer

Danksagung

Ich bedanke mich bei emer. o. Univ.-Prof. Dr. Friedrich Schiemer, für die Betreuung und die große Unterstützung, welche die vorliegende Arbeit ermöglichte.

Danke an Herrn Kraill, der mir die chemische Analytik näher brachte und Proben chemisch analysierte.

Ein großes Dankeschön gilt auch dem Team der Tropenstation La Gamba, Dr. Werner Huber, Dr. Anton Weissenhofer und Dr. Wolfgang Wanek, die mir während meines Aufenthaltes in der Tropenstation zur Seite standen.

Danke an meine Eltern, meine Geschwister und meine Lebensgefährtin Alexandra, die mich während all der Jahre unterstützten.

Abstract

Das untersuchte Gewässersystem des Rio Esquinas liegt in der Umgebung der Tropenstation La Gamba, im Piedras Blancas Nationalpark im südwestlichem Costa Rica (HUBER & WEISSENHOFER 2010). Im Vorfeld dieser Arbeit wurden im Zuge diverser Diplomarbeiten hydrologische Daten erhoben und Gewässerproben chemisch analysiert.

Eine Datenanalyse mit der Ward Methode (WARD 1963) ergibt eine eindeutige Gliederung in drei Cluster, die einer klaren geographischen Gliederung (MALZER & FIEBIG 2008) entsprechen und die unterschiedliche Geologie der Teileinzugsgebiete widerspiegeln:

Cluster A: Gewässer die dem Rincon Blockentspringen, der hauptsächlich aus marinem Basalt besteht (MALZER & FIEBIG 2008). Es sind Gewässer mit "weichem Wasser" und einer niedrigen elektrischen Leitfähigkeit zwischen 120 und 200 μS und weisen die geringste Ionen-Konzentration auf. Der Quebrada Sardinal und der Rio Bonito können als Beispiel genannt werden

Cluster B: Sind Gewässer des Golfito Terrais mit mittlerer Härte und mittlerer elektrischer Leitfähigkeit. Quebrada Negra, Quebrada Bolsa und Quebrada Gamba entwässern das Golfito Terrain, das aus pelagischen Tiefsee-Karbonaten und vulkanoklastischem Gestein besteht (MALZER & FIEBIG 2008).

Cluster C: Die Oberläufe der Fila Costeña, die hauptsächlich aus litoral marinem Kalziumcarbonat besteht (SCHIEMER & TSCHELAUT 2010), sind merklich reicher an Elektrolyten, mit einer Leitfähigkeit zwischen 300 und 400 μS . Als Beispiele könne Rio Esquinas, Rio Oro und Quebrada Blanca angeführt werden.

Alle Flüsse der Region weisen eine Calcium-Hydrogencarbonat Dominanz auf, während Natrium-Chlorid, eine geringe Rolle spielt.

Das oben angeführte geografische Muster kommt auch klar in der Makroionen-Zusammensetzung, z.B. in dem Verhältnis der Erdalkali-Ionen $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ zum Ausdruck. In den elektrolytärmeren Gewässern des Zentralbereiches des Nationalparks ist das $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ Verhältnis vergleichsweise ausgeglichen. Im Vergleich dazu sind in den elektrolytreichen Gewässern, die der Fila Costeña entspringen, die Calciumwerte deutlich höher. Ein ähnliches Muster gilt für die Anionenrelationen von Sulfat/Hydrogencarbonat. In den elektrolytreicheren

Gewässern sind die Sulfatproportionen unter den Anionen deutlich höher (siehe SCHIEMER *et al.* 2010)

Bächen, die aus der Fila Costeña entspringen und die durch höhere Ionenkonzentrationen gekennzeichnet sind, liegen die Konzentrationen während der Regenzeit etwas tiefer. Der Vergleich an Hand des Gibbs-Schemas (GIBBS 1970) zeigt, dass alle Gewässer des Esquinas-Einzugsgebietes, trotz der hohen Jahresniederschlagssumme (5930 mm), durch eine „bedrock dominance“ gekennzeichnet sind (GIBBS 1970).

Die Gewässer der drei unterschiedenen Cluster weisen neben der geochemischen Differenzierung deutliche Unterschiede in den Konzentrationen von Pflanzennährstoffen, Phosphor, Stickstoff und Silizium (für Diatomeen) auf.

Cluster A zeigt niedrige Orthophosphat-Konzentrationen ($8-16 \mu\text{g L}^{-1} \text{P-PO}_4$), mittlere Nitrat-Levels ($67-83 \mu\text{g L}^{-1} \text{N-NO}_3$) und Siliziumwerte um 20mg L^{-1} .

Cluster B weist höhere Orthophosphat-Konzentrationen ($44-66 \mu\text{g L}^{-1} \text{P-PO}_4$), variable Nitrat-Konzentrationen ($20-122 \mu\text{g L}^{-1} \text{N-NO}_3$) und Silizium-Konzentrationen über 20mg L^{-1} auf.

Cluster C hat sehr niedrige Orthophosphat-Konzentrationen ($3-7 \mu\text{g L}^{-1} \text{P-PO}_4$), hohe Nitrat-Konzentrationen ($143-166 \mu\text{g L}^{-1} \text{N-NO}_3$) und geringe Silizium-Konzentrationen unter 10mg L^{-1} .

Aus dem Vergleich der Phosphor und Nitratkonzentrationen mit dem Redfield-Verhältnis (REDFIELD 1958, REDFIELD *et al.* 1963, DOKULIL 2001), ergibt sich für die Cluster A und B - Gewässer eine Stickstofflimitation. Umgekehrt ist die Situation im Cluster C, wo für die Gewässer eindeutig eine Phosphorbeschränkung erkennbar ist.

Im Gegensatz zu den geochemischen Parametern weisen die nährstoffchemischen Daten deutliche saisonale Veränderungen im Zusammenhang mit der unterschiedlichen Wasserführung auf. Vergleicht man die Nitratwerte der Regenzeit mit denen der Trockenzeit, zeigt sich, dass für die Gewässer der Fila Costeña, dass die Nitratwerte in der Regenzeit deutlich höher sind. Im Vergleich dazu liegen die Nitratwerte im Cluster B und C unterhalb jener der Trockenzeit.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung | 5 |
| 2. Untersuchungsstandorte und Methoden | 8 |
| Untersuchungsgebiet | 8 |
| Klima | 9 |
| Geologie | 11 |
| Methoden | 13 |
| Abflussgeschehen | 13 |
| Nährstoffanalysen..... | 15 |
| Untersuchungsstandorte | 18 |
| 3. Resultate | 31 |
| Abflussgeschehen | 31 |
| Allgemeine limnologische Kennwerte der Bäche des Rio Esquinas- Flußsystems | 36 |
| Saisonale Abflussgeschehen | 50 |
| Nährstoffchemische Parameter | 52 |
| Chemie im Längsverlauf und im Jahreszeitlichen Verlauf | 52 |
| Kurzfristiges Starkregenereignis..... | 63 |
| 4. Diskussion | 65 |
| 5. Literatur | 75 |

1. Einleitung

Die Tropenstation La Gamba, in Costa Rica, wurde 1993 von DR. WERNER HUBER und DR. ANTON WEISSENHOFER mit der Unterstützung des „Vereins Regenwald der Österreicher“ gegründet. Seit dieser Zeit wird im Nationalpark „Piedras Blancas“ tropenökologische Grundlagenforschung betrieben. Limnologischen Untersuchungen wurden im Rahmen mehrere Diplomarbeiten des Departments für Limnologie der Universität Wien in Angriff genommen. Sie beziehen sich auf „Leave litter decomposition and macroinvertebrates in a neotropical lowland stream, Q. Negra, Costa Rica“ (TSCHELAUT 2005), „Chemische und anatomische Untersuchungen zum Laubabbau in einem tropischen Bachökosystem, Quebrada Negra, Costa Rica an den Arten *Acalypha diversifolia*, *Cercropia obtusifolia*, *Gutteria chiriquiensis*, *Myriocarpa longipes* und *Tetrathylacium macrophyllum*“ (RIEMERTH 2005), „Chemische und anatomische Untersuchung zum Laubabbau in den tropischen Bachökosystem, Quebrada Negra, Costa Rica, an den Arten *Apeiba Tibourbou*, *Luehea seemannii*, *Sloanea medusula* und *Virola koschnyi*“ (GUSENLEITNER 2005) und „Habitat choice and trophic ecology of fishes in a neotropical low order river, Costa Rica“ (PICHLER 2006). Die Ergebnisse dieser Diplomarbeiten wurden in dem Buch: "Natural and cultural history of the Golfo Dulce region, Costa Rica „ (WEISSENHOFER et al., 2008), veröffentlicht. Eine erste zusammenfassende Darstellung des Gewässersystem des Rio Esquinas erfolgte in dem Buch: „Stream Ecosystems of Costa Rica“ (SCHIEMER, HUBER, WEISSENHOFER et al. 2010).

Tropische Flüsse zeichnen sich durch gleichmäßige und anhaltende Temperaturen von 25 bis 30 °C (in niedrigen Lagen), einem geringen Nährstoffgehalt und einer hohen Artenvielfalt aus (PAYNE 1986). Die meisten tropischen Flüsse weisen jährliche Zyklen auf, die wie so viele Parameter des Flusses mit den jährlichen Niederschlagsmustern zusammenhängen. Die Interaktion des Niederschlages, Gestein, Böden und Vegetation haben erheblichen Einfluss auf die chemische Zusammensetzung des Gewässers. Manche Ionen entstammen direkt aus dem Niederschlagswasser, der Hauptteil wird jedoch aus den Böden des Umlandes und dem Untergrundgestein eingetragen (PAYNE 1986).

„Fließgewässer der Tropen weisen im Gegensatz zu den Flüssen der gemäßigten Breiten, niedrigere Konzentrationen an chemischen Bestandteilen auf, da die Einzugsgebiete der tropischen Flüsse in den meisten Fällen durch eine Niederschlagsdominanz gekennzeichnet sind. Dennoch ist chemische Zusammensetzung der tropischen Fließgewässer durch die lokale Geologie der Einzugsgebiete charakterisiert. Der Export aus dem Umland und die Nährstoffdynamik geben Einsicht in die Erscheinung und Funktion des Einzugsgebietes (NEWBOLD et al. 1995)“. (siehe TSCHELAUT et al. 2008). Regenwälder sind im Allgemeinen gekennzeichnet durch weitgehend geschlossene Stoff- und Nährstoff-Kreisläufe (LODGE, MCDOWELL & MCSWINEY 1994, (LEWIS 2008, siehe: „TROPICAL STREAM ECOLOGY“ DUDGON 2008). Dies ist besonders relevant im Hinblick auf die wesentlichen Pflanzen-Nährstoffe Stickstoff und Phosphor (Pringle et al. 1986, NEWBOLD et al. 1996)

In diesem Zusammenhang ergibt sich die interessante Frage, inwieweit eine Untersuchung der Wasserchemie der Regenwaldbäche, in Abhängigkeit von der Wasserführung nach Regenereignissen, eine Aussage über die Retentionskapazität des Regenwaldes im Einzugsgebiet ermöglicht. (LEWIS 1986, DAVIDSON et al. 2004, TRISKA et al. 2006)

Die vorliegende Diplom-Arbeit soll die vorangegangenen Untersuchungen vor allem im Hinblick auf hydrochemische Aspekte ergänzen und einen weiteren Beitrag zur Beschreibung des Gewässersystems des Rio Esquinas im Piedras Blancas Nationalpark leisten.

Das Gebiet eignet sich sehr gut zur Untersuchung von tropischen Fließgewässern, da die einzelnen Teileinzugsgebiete im relativ naturbelassenen Gebiet des Piedras Blancas Nationalpark eine unterschiedliche Geologie aufweisen (siehe Untersuchungsstandorte).

Aufgabe der Diplomarbeit war es, einen ersten Überblick über die geochemischen und nährstoffchemischen Gegebenheiten der Bäche und Flüsse des Piedras Blancas Nationalpark zu schaffen.

Dabei standen die folgenden Aspekte im Vordergrund:

- 1) die geochemischen & nährstoffchemischen Bedingungen in den einzelnen Bächen im Zusammenhang mit der geografischen und orografischen Situation des jeweiligen Einzugsgebietes
- 2) die geochemischen und nährstoffchemischen Bedingungen im Zusammenhang mit den saisonalen Abflussgegebenheiten in den einzelnen Bächen, um den Zusammenhang von Hydrologie, Geochemie und Nährstoffchemie zu dokumentieren
- 3) die geochemischen und nährstoffchemischen Bedingungen und ihre kurzfristige Dynamik im Zusammenhang mit charakteristischen Starkregenereignissen

Die Beantwortung dieser Fragen sollte ermöglichen die folgenden Hypothesen zu überprüfen:

- a) Die geochemischen Bedingungen in den Regenwaldbächen sind trotz der hohen Niederschläge primär von der Geologie des jeweiligen Teileinzugsgebietes bestimmt.
- b) Die nährstoffchemischen Verhältnisse widerspiegeln ebenfalls die Geologie des Einzugsgebietes. Sie sind aber in einem starken Ausmaß von den edaphischen Prozessen im Einzugsgebiet abhängig. Deshalb sind die Pflanzennährstoffe in den jeweiligen Fließgewässern in unterschiedlichem Ausmaß verfügbar.
- c) Die Analyse der Nährstoffchemie der Bäche im saisonalen Verlauf stellt einen sehr guten Indikator für Nährstoffregenerations- und Nährstoffretentionsprozesse im Einzugsgebiet dar.

2. Untersuchungsstandorte und Methoden

Untersuchungsgebiet

„Costa Rica (Abb. 2.1) ist ein Teil der mittelamerikanischen Landenge und liegt zwischen $8^{\circ} 02' 06''$ - $11^{\circ} 13' 12''$ N und $82^{\circ} 33' 48''$ - $85^{\circ} 57' 57''$ W zwischen der Karibik und dem Pazifik“ (PICHLER 2006, Tschelaut 2005). Costa Rica grenzt im Norden an Nicaragua und im Süden Panama. Das Land hat eine Fläche von 51000 km² mit sehr unterschiedlicher Topografie. Die höchste Erhebung stellt der Cerro Chirripó mit 3820 m dar, die mittlere Höhe über Normalniveau beträgt 500 m“ (HUBER & WEISSENHOFER 2010). Das untersuchte Gewässersystem des Rio Esquinas liegt in der Umgebung der Tropenstation La Gamba, die sich im Bosque Esquinas befindet. Der Bosque Esquinas, „Regenwald der Österreicher“, ist ein Teil des Piedras Blancas Nationalpark in der Provinz Puntarenas im südwestlichem Costa Rica (HUBER & WEISSENHOFER 2010).

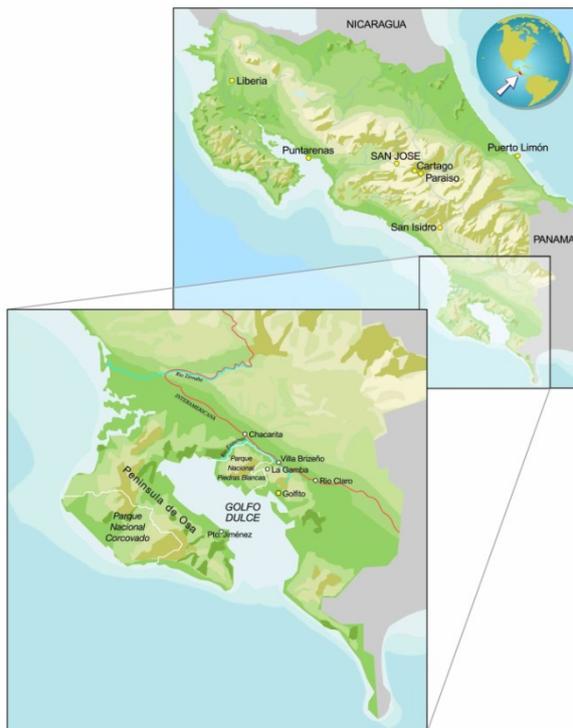


Abb. 2.1 Costa Rica und die Golfo Dulce Region mit dem Corcovado Nationalpark (Parque Nacional Corcovado) und Piedras Blancas Nationalpark (Parque Nacional Piedras Blancas) (WEBER et al. 2001)

Die Tropenstation gehört zur Ortschaft La Gamba, die ca. 4km von der „Interamericana“ (ein Schnellstrassensystem, dass Nord-, Mittel- und Südamerika miteinander verbindet) entfernt ist. Die nächstgelegene Stadt ist Golfito, eine Hafenstadt die am Golfo Dulce liegt (WEISSENHOFER et al. 2008). „Die Geographische Koordinaten der Tropenstation sind: E 257756, N 962502 (UTM Koordinatensystem); Seehöhe: 78 m“ (HUBER & WEISSENHOFER 2010).

Am Rande des Nationalparks Piedras Blancas, der den letzten primären Tieflandregenwald in Mittelamerika beherbergt, liegt die Tropenstation. Das Nationalparkareal wird im Süden durch den Golfo Dulce und im Nordwesten durch den Rio Esquinas begrenzt. Im Südosten grenzt das kleine Naturreservat von Golfo Dulce, Refugio Nacional de Vida Silvestre an den Piedras Blancas Nationalpark an (WEISSENHOFER et al. 2008).

Klima

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf WEISSENHOFER, HUBER & KLINGLER (2008) und HUBER & WEISSENHOFER (2010)

Costa Rica ist ein kleines Land mit großer klimatischer Variabilität.“ (HUBER & WEISSENHOFER 2010) Es liegt auf der mittelamerikanischen Landenge und zeichnet sich durch sein typisches tropisches Tageszeitenklima aus. Die tageszeitlichen Schwankungen sind größer als die jahreszeitlichen.

„Der durchschnittliche Niederschlag liegt, in beiden Regionen, zwischen 3000 mm (JANEZ 1983) und 6000 mm. Februar und März sind sowohl an der Karibikseite als auch an der Pazifikseite die trockensten und heißesten Monate.“ (HUBER & WEISSENHOFER 2010)

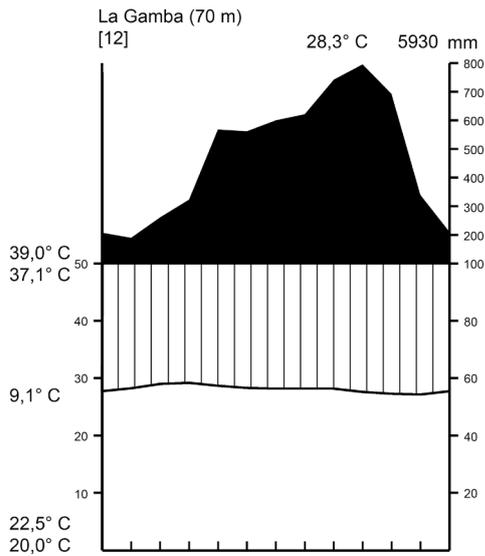


Abb. 2.2 Klimadiagramm von La Gamba (1998 - 2010); von der Homepage der Tropenstation La Gamba, HUBER & WEISSENHOFER (2010)

Hohe Niederschläge prägen die gesamte Golfo Dulce Region. Mit einem jährlichen Niederschlag von 5930 mm, gemessen an der Tropenstation La Gamba, ist der Esquinas Regenwald einer der niederschlagsreichsten Tieflandregenwälder in ganz Mittelamerika. Die Regenzeit ist zwischen Mai und November, mit den höchsten Niederschläge von August bis November, die Trockenzeit dauert von Dezember bis April (Abb.2.2). Typischerweise gehen die heftigen Niederschläge in der zweiten Tageshälfte nieder. Die hohen Niederschläge prägen die gesamte Landschaft in der Golfo Dulce Region. (HUBER & WEISSENHOFER 2010)

Das karibische und südpazifische Tiefland zeichnet sich durch sein humides Klima aus, wobei die jährliche Durchschnittstemperatur, auf Meeressniveau, bei 25 - 28°C liegt. In beiden Regionen treten Temperaturschwankungen von durchschnittlich 10°C auf. Die Jahresmittel-Temperatur liegt bei 28,3°C. Das absolute gemessene Maximum, bei der Tropenstation, liegt bei 39°C. Das absolute Minimum des kältesten Monats beträgt 20°C (HUBER & WEISSENHOFER 2010).

Geologie

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die Darstellung von MALZER & FIEBIG (2008):

Mittelamerika ist eine Region von hoher geologischer Komplexität. Die mittelamerikanische Landenge wird im Wesentlichen durch zwei Bergmassive gebildet. Das ältere (frühes Paleozoikum) erstreckt sich über Guatemala, Honduras, Nicaragua und Belize. Das jüngere Gebirge (spätes Miozän-Pliozän) verläuft vom südlichen Nicaragua über Costa Rica nach Panama (THOMSON 1990, DE LA ROSA 1995, UMAÑA 1999).

„Ungefähr 3 km westlich der Tropenstation „La Gamba“ verläuft ein geologischer Bruch in Nord-Süd Richtung, der das „Golfito Terrain“ vom „Rincon Block“ trennt. Der Ort La Gamba und die Tropenstation befinden sich auf dem Golfito Terrain, welches aus drei stratigraphischen Einheiten besteht“ (MALZER & FIEBIG 2008). „Die Basis bilden ozeanische Basalte und Dolerite, gefolgt von pelagischen Tiefsee-Karbonaten und feinen klastischen Sedimenten, überlagert von einem vulkanoklastischen Komplex. Die unterste Schicht erstreckt sich hauptsächlich entlang der „Golfo Dulce“-Küste. Die beiden höheren Schichten grenzen im Norden und im Westen an. Die Tropenstation ist auf der obersten, möglicherweise jüngsten Schichte gelegen, der sich aus hellgrünem, verwittertem weißlichem, kalkhaltigem Silt bis Tonstein zusammensetzt. Durch die dichte Vegetation und die tiefgründige Verwitterung, ist das Vorkommen von Festgestein nur auf Flüsse, Straßenrodungen und Erdrutsche beschränkt“ (MALZER & FIEBIG 2008). „Die oberen Regionen des Rio Bonito und Quebrada Sardinal befinden sich auf dem Rincon Block, welcher durch eine dicke, gleichmäßige Abfolge von ozeanischem Basalt mit seltenen Zwischenschichten aus Tiefsee-Kalkstein und Radiolarit gekennzeichnet ist. Für diesen Bereich wurde Kissen Basalt beschrieben, der typisch für unterseeische Lavaströme ist (BERRANGE & THORPE 1988). Aufgrund des höheren Widerstandsvermögens dieses Gesteins gegen Verwitterung und Erosion, ist dieses

Terrain robust und beinhaltet die höchsten Erhebungen nördlich des Golfo Dulce Beckens (über 550 m)“ (MALZER & FIEBIG 2008).

„Nach ANCHUKTAIS & HORN (2005) und BEHLING (2000), fanden mindestens drei Ausbrüche des Baru Vulkans im Nordwesten von Panama statt. FIEBIG et al. (2007) fanden in den oberflächennahen Böden der Umgebung von La Gamba unverwitterte, vulkanische Asche-Mineralien. Diese Mineralien stammen nicht aus dem lokalen Untergrund, sondern wurden vom Baru durch Windverfrachtung eingetragen. Es ist wahrscheinlich, dass die subrezenten Aktivitäten des Baru Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit und die Vegetation um La Gamba hatten“. (MALZER & FIEBIG 2008)

Das Zentrum des Piedras Blancas Nationalpark besteht hauptsächlich aus marinem Basalt und wird dem Rincon Block zugeordnet (MALZER & FIEBIG 2008). Ein von primäreren Regenwaldgebieten dominiertes Gebiet. Hier entspringen der Rio Bonito und der Quebrada Sardinal.

Der Untergrund des benachbarten Golfito Terrains besteht hauptsächlich aus pelagischem Tiefsee-Karbonaten und vulkanoklastischem Gestein (MALZER & FIEBIG 2008). Die Bäche Quebrada Negra, Quebrada Gamba und der Quebrada Bolsa entspringen in diesem Terrain.

Die Fila Costeña befindet sich nordwestlich der „Interamericana“ und besteht hauptsächlich aus litoral marinem Kalziumcarbonat (SCHIEMER & TSCHLAUT 2010). Dieses Gebiet entwässern der Rio Esquinas, Rio Oro und der Quebrada Blanca.

„Die Flüsse Mittelamerikas sind generell kurz, haben ein kleines Einzugsgebiet und geringen Gesamtabfluss“ (DE LA ROSA 1995). So auch das Gewässersystem des Rio Esquinas, dem größten Fluss im Piedras Blancas Nationalpark und dessen Zubringer.

Der Rio Esquinas und dessen Zubringer entwässern die Fila Costeña und den Piedras Blancas Nationalpark. Die Fließgewässer im Einzugsgebiet des Rio Esquinas haben Fluss-Ordnungszahlen von erster bis fünfter Ordnung (TSCHLAUT 2005). Ein Teil des Einzugsgebietes liegt im Piedras Blancas Nationalpark, der aus primären und sekundären Tieflandregenwald besteht. Dieser Teil ist nur mehr relativ wenig von anthropogenen Aktivitäten beeinträchtigt. Der nordwestliche Teil des Einzugsgebietes entwässert die Fila Costeña. Eine Gebirgskette mit bis 630 m Höhe.

Die Hauptuntersuchungsstandorte sind der Bach Quebrada Negra und der Fluss Rio Bonito. Der Q. Negra entspringt ebenso wie der R. Bonito im primären Regenwald und wird „nur“ durch die Bungalow- und Gartenanlage der Esquinas Lodge beeinträchtigt. Er stellt ein Beispiel für ein naturnahes Gewässers dar. Der Rio Bonito entwässert im Oberlauf primäres Regenwaldgebiet und wird im Mittel- bzw. Unterlauf in zunehmendem Maße anthropogen beeinträchtigt. Viehweiden, Ölpalmlantagen und kurzlebige Kornfelder säumen seine Ufer. Die Angaben zur Vegetation stammen aus der Vegetationskarte für den Piedras Blancas National Park („Vegetation map of the Piedras Blancas National Park and adjacent areas“ (WEISSENHOFER, HUBER et. al. 2008). Weiters wurden Proben von Quebrada Nicuesa, Quebrada Gamba, Quebrada Bolsa, Quebrada Chorro, Quebrada Blanca, Rio Oro und Rio Esquinas an leicht zugänglichen Stellen genommen, um einen Überblick über das Gewässersystem des Piedras Blancas Nationalpark zu bekommen.

Methoden

Abflussgeschehen

Flussquerschnitte

Von den Probenstellen des Rio Bonito (Abb. 2.4) und des Quebrada (Negra Abb. 2.3), wurden Querschnittsprofile erstellt. Dazu wurde eine Schnur quer zum Bach-beziehungsweise Flussverlauf gespannt, mit einer Wasserwaage in die Waagrechte gebracht und in definierten Abständen die Differenz zum Boden bestimmt. Im Zuge der Strömungsmessung wurde zwangsläufig die Wassertiefe zu den jeweiligen Punkten ermittelt.

An den Probestellen des R. Bonito und Q. Negra wurden fixe Punkte markiert, um exakte Anhaltspunkte für die laufenden Strömungsmessungen zu haben. Hier wurden in regelmäßigen Abständen, die Pegelstände, Abflussmengen, die Geochemie und die Nährstoffe bestimmt.



Abb. 2.3 Pegel des Quebrada Negra, hinter der Tropenstation La Gamba



Abb. 2.4 Pegel bei Rio Bonito „Mundo“

Zur Erfassung der Hydrologie wurde an je einer Stelle der beiden Fließgewässer ein Latten-Pegel angebracht und die Uferprofile erhoben. In regelmäßigen Abständen führten wir Abflussmessungen durch und notierten die dazugehörigen Pegelstände. Diese wurden soweit wie möglich täglich abgelesen. Die Aufzeichnungen über die Pegelstände und die Strömungsmessungen erfolgten im Zeitraum vom 23.02.2007 bis 18.05.2007. Die abiotischen Faktoren wie Temperatur in Grad Celsius [°C], pH-Wert, Leitfähigkeit in Mikrosiemens [μS], Sauerstoffsättigung in Prozent [%], Sauerstoffgehalt in Milligramm pro Liter [mg L^{-1}] und Beschattungsgrad (1 keine Beschattung bis 5 volle Beschattung) ermittelten wir direkt an den Probestellen. Zur Erstellung einer Ionenbilanz wurden von Rio Esquinas, Rio Bonito, Rio Oro, Quebrada Chorro und Quebrada Negra Wasserproben nach Österreich mitgenommen und im Labor der Abteilung für Limnologie (Universität Wien) analysiert. Vor Ort wurden die Phosphorfraktionen Gesamtphosphor (Total Phosphors = TP), Totaler gelöster Phosphor (Total Dissolved Phosphors = TDP), Gelöster reaktiver Phosphor (Soluble Reactive Phosphors = SRP), Nitrat (NO_3) und Silizium (Si) spektralfotometrisch ermittelt.

Die Strömungsgeschwindigkeitsmessung erfolgte mit einem Ottflügel-Strömungsmessgerät Rott Z30, in 40% der Wassertiefe über dem Fließgewässergrund. Mit Hilfe des erstellten Uferprofils wurde der Abfluss berechnet. Zur Erhebung von Temperatur und Sauerstoffgehalt kam das WTW Oxi 315i – Messgerät zum Einsatz. Die Leitfähigkeit ermittelten wir mit dem WTW Cond 330i – Messgerät und den pH-Wert mit dem Messgerät WTW PH 330i.

Nährstoffanalysen

Die Phosphorfraktionen, Nitrat und Silizium wurden mit dem Spektralphotometer Spektronik 1611 – 20 Genesys analysiert. Zu Beginn erfolgte die Analyse der Phosphorfraktionen mit der „Powder Pillows“ - Methode der Firma Hach Lange. Es stellte sich heraus, dass eine weitere Methode, die am Department für Limnologie von Herrn Krailл zusammengestellt wurde, stabilere Werte ergab. In weiterer Folge kam diese Methode zur Anwendung.

Phosphor

Für die Analyse der Phosphorfractionen wurde die im Folgenden beschriebene Methode verwendet.

Herstellung des Farbreagens:

Zur Herstellung des Farbreagens wurde in einen 75 mL Messkolben 23,84g Kaliumdisulfat ($K_2 S_2 O_7$) gegeben und auf ca. 70 mL mit Deionat aufgefüllt. Erst nach dem Auflösen des Salzes füllte man den Messkolben auf 75 mL mit Deionat auf. Danach setzte man 0,45 g Ammoniummolybdat Tetrahydrat zu. Nach dem Auflösen des Ammoniummolybdat Tetrahydrat gab ich 0,81g Ascorbinsäure in den Messkolben. Anschließend wurde der Lösung 0,01g Kaliumantimonyltartrat (Katalysator) beigegeben.

Herstellung der Aufschlusslösung:

Für die Aufschlusslösung wurden 2,5 g Kaliumperoxodisulfat ($K_2 S_2 O_8$) auf 50 g mit Deionat aufgefüllt.

Herstellung des 4,7 prozentigen Kaliumdisulfat-Säurezusatzes für den gelösten reaktiven Phosphor:

2,35g Kaliumdisulfat ($K_2 S_2 O_7$) wurden auf 50g mit Deionat aufgefüllt.

Totalphosphor (TP)

Zur Ermittlung des Totalphosphors (Pt) wurden zu 8 mL der unfiltrierten Proben 2mL Aufschlusslösung zugegeben. Diese Lösung kam für 45 Minuten, bei 125 °C, in den Heizblock. Nach dem Auskühlen erfolgte die Zugabe von 1mL des Farbreagens. Im Anschluss wurde die Extinktion der aufbereitete Probe in einer 5cm Küvette bei einer Wellenlänge von $\lambda = 890$ nm mit dem Spektralfotometer vermessen.

Totaler gelöster Phosphor (TDP)

Zur Analyse des Totalen gelösten Phosphors (TDP), wurden 10 mL der filtrierten Probe mit 2 mL Aufschlusslösung für 45 Minuten, bei 125 °C im Heizblock erhitzt. Nach dem Abkühlen kam zur Probe 1 mL des Farbreagens hinzu. Die Vermessung erfolgte ebenfalls in einer 5 cm Küvette bei einer Extinktion von $\lambda = 890$ nm.

Gelöster reaktiver Phosphor (SRP)

Zu 10 mL der filtrierten Probe wurde 1 mL 4,7 % iger Kaliumdisulfat-Särezusatz und 1 mL Farbreagenz zugesetzt. Anschließend wurde die Extinktion von $\lambda = 890$ nm, ebenfalls in einer 5 cm Küvette vermessen.

Silizium

Für die Silizium-Bestimmung verwendeten wir die Silicomolibdate Methode von der Firma Hach-Lange (Methode 8185), dieser Test wird mit „Powder Pillows“ durchgeführt.

In 50 mL Polypropylene-Eprouvetten wurden je 10 mL der Probe und das Molybdat Reagenz „Powder Pillow“ gefüllt. Die Tubes wurden so lange geschwenkt bis sich das Reagenz auflöste. Anschließend erfolgte die Zugabe eines Säure Reagenz „Powder Pillows“ (Eine Gelbfärbung zeigt an, ob Phosphor oder Silizium in der Probe vorhanden ist.), welches kurz geschwenkt wurde. Während einer 10 minütigen Reaktionszeit wurde die Gelbfärbung die durch Phosphor entstand eliminiert. Die Messung der Probe erfolgte anschließend in einem Spektralbereich von $\lambda = 452$ nm mit dem Spektralphotometer.

Nitrat

Zur Analyse der Nitratwerte wurde folgende modifizierte Version nach Hach Lange verwendet:

Zu 15mL Probe wurden mit dem „Powder Pillow“ Nitri Ver 6 versetzt. Nach 5 Minuten schwenken wurde das „Powder Pillow“ Nitrit V3 zugegeben. Die so entstandene Lösung wurde 30 sec geschüttelt. Danach folgte eine 15 minütige Reaktionsperiode. Anschließend wurden die Proben mit dem Spektralphotometer bei einer Wellenlänge von $\lambda = 507$ nm gemessen.

Untersuchungsstandorte

In Abbildung 2.5 sind die Stellen der Fließgewässer dargestellt, an welchen während des Zeitraums vom 20.02.2007 bis 15.05.2007 Proben gesammelt wurden. Die Stellen der Probennahme sind mit Sternchen dargestellt. In der Karte ist ebenfalls die „Interamericana“ eingezeichnet, ein Schnellstraßensystem, das durch Nord-, Mittel- und Südamerika führt, und diese miteinander verbindet.

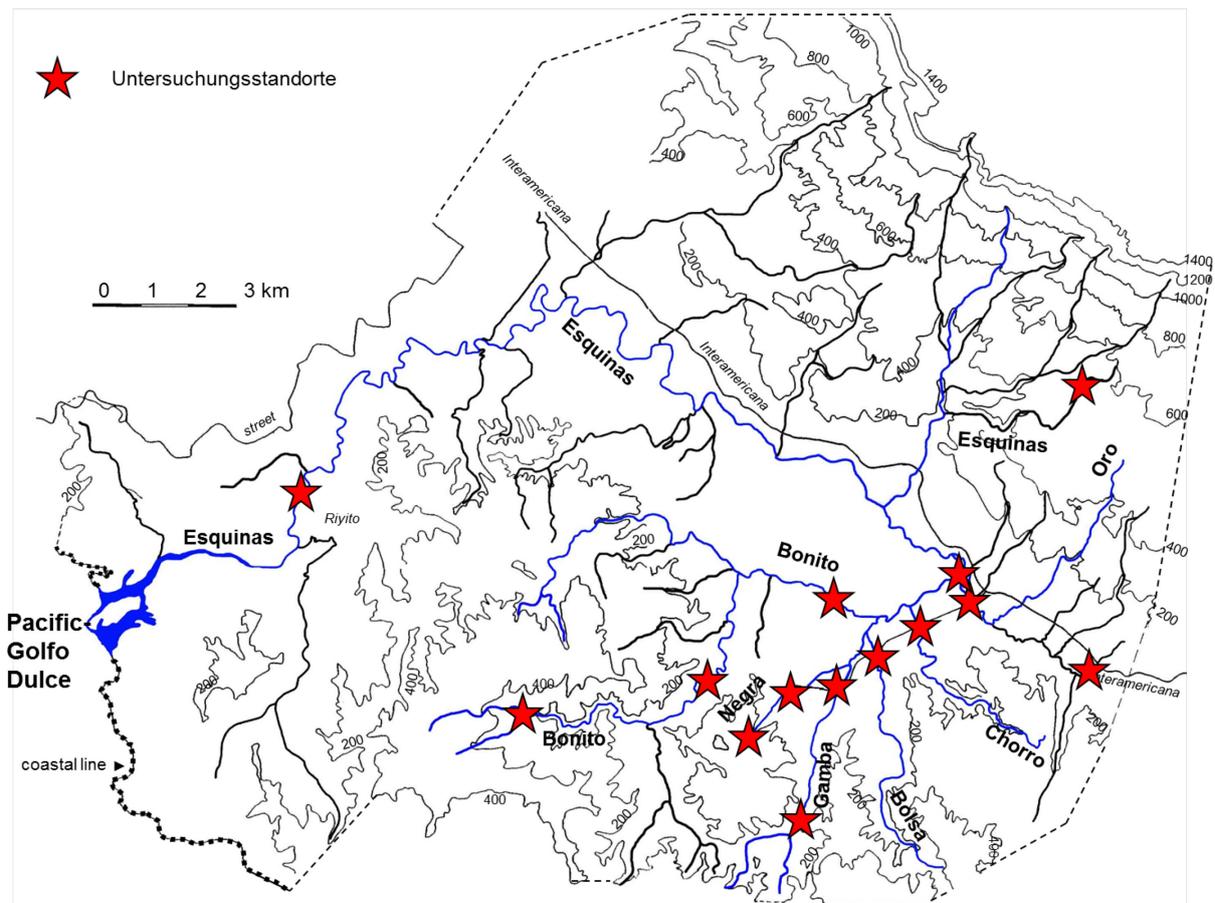


Abb. 2.5 Übersichtskarte des Einzugsgebiets des Rio Esquinas–Flusssystem mit Höhenlinien nach TSCHELAUT (2005). Die Untersuchungsstandorte dieser Arbeit sind als Sterne eingetragen.

In Folge werden die Fließgewässer, an denen eine Probennahme erfolgte, kurz charakterisiert. Soweit es möglich ist, wird auch die Vegetation des Umlandes beschrieben. Die Angaben zur Vegetation stammen aus der Übersichtskarte: „Vegetation map of the Piedras Blancas National Park and adjacent areas“ WEISSENHOFER & HUBER et al. (2008).

Rio Esquinas

Länge von 42 km und der Fluss-Ordnungszahl 5 (TSCHELAUT 2005). Er entspringt im Gebiet der Fila Costeña, wo er Gebirgsbachcharakter hat (Abb. 2.5). Typischerweise hat der R. Esquinas in diesem Bereich ein starkes Gefälle, aus dem eine hohe turbulente Der Rio Esquinas ist der größte Fluß im „Piedras Blancas Nationalpark“ mit einer Strömung resultiert. Dadurch besteht das obere Bachbett durchwegs aus großen Blöcken. Die Probenstelle an der Fila Costeña (siehe Abb. 2.6) liegt auf 553m Seehöhe.



Abb. 2.6 Oberlauf des Rio Esquinas an der Fila Costeña, Untersuchungsstandort siehe Abb. 2.5

Bei der Probenstelle an der „Interamericana“ hat der R. Esquinas eine Flussordnungszahl von 2, auf einer Seehöhe von 92 m. Der Flusscharakter hat sich hier bereits wesentlich verändert. Der Fluss quert die „Interamericana“ ca. 4 km nordwestlich von Villa Briceño, er fließt dann mehrere Kilometer parallel zur

„Interamericana“ um kurz vor der Ortschaft Piederas Blancas in südwestliche Richtung zum Golfo Dulce umzuschwenken. Auf seiner Fließstrecke neben der „Interamericana“ ist die direkt angrenzende Ufervegetation teilweise noch primären, beziehungsweise sekundären Ursprungs. (z.B. primärer Ufer-Tieflandregenwald und *Gynerium sagittatum* - Ufervegetation (Süßgras)). Im weiteren Flussverlauf beginnt der Fluss immer mehr zu mäandrieren. Ebenfalls nimmt die anthropogene Beeinträchtigung zu. Ölpalmen-Plantagen und Weideland prägen das Gewässerumland, bis der Rio Esquinas schließlich durch einen Mangroven-Sumpfwald fließt und in den Golfo Dulce mündet.



Abb. 2.7 Rio Esquinas direkt unter der „Interamericana“

Die Abbildung 2.7 zeigt die Probenstelle des Rio Esquinas, kurz bevor er die „Interamericana“ quert. Es wurde stromaufwärts fotografiert, direkt oberhalb der Brücke. Nach der Brücke fließt der Rio Esquinas parallel zur „Interamericana“ in nordwestlicher Richtung, bis er kurz vor Piedras Blancas in Richtung Südwesten abbiegt.



Abb. 2.8 Rio Esquinas Mündung mit Mangrovenwald

Der Mündungsbereich des R. Esquinas (Abb. 2.8) ist ein breites Delta mit Mangroven und Sumpfwäldern, der in den „Gulfo Dulce“ entwässert.

Rio Oro

Im Nordosten von Villa Briceño entspringt der Rio Oro. Wie der Rio Esquinas hat der Rio Oro seinen Ursprung an der Filla Costeña. Ab der „Interamericana“ durchfließt der R. Oro noch eine Strecke von primärem Ufer-Tieflandregenwald, danach Sekundärwald und schließlich landwirtschaftlich genutzte Flächen wie kurzlebige Ackerflächen, Holzplantagen, Viehweiden und aufgelassene Viehweiden. Vor der Mündung in den Rio Bonito finden sich zu seiner orographisch linken Seite junger sekundärer Tieflandregenwald, Ufer-Tieflandregenwald und sumpfiges Weideland (Abb. 2.9). Das orographisch rechte Ufer säumt ein junger sekundärer Regenwald.



Abb. 2.9 Rio Oro vor Mündungsbereich, orografisch links sumpfiges Weideland, rechts junger sekundärer Regenwald

Der Rio Oro mündet nach 6,2 km in den Rio Bonito (TSCHELAUT 2005). Bei der Probenstelle an der „Interamericana“ hat er die Ordnungszahl 2. Die Probenstelle liegt auf einer Seehöhe von 92 m. An den beiden anderen Probenentnahmestellen, bei der Brücke auf der Straße nach La Gamba (Abb. 2.10) und bei der Mündung in den Rio Bonito (80 m Seehöhe) weist er die Flussordnungszahl 2 auf (Abb. 2.11).



Abb. 2.10 Rio Oro in der Nähe der „Interamericana“ unterhalb der Straße nach La Gamba



Abb. 2.11 Rio Oro vor Mündung in Rio Bonito stromaufwärts fotografiert

Bach bei der Oromündung

Der unbenannte Bach mit der Flussordnungszahl 1, entspringt ebenfalls Filla Costeña. Den Bach zeichnet ein gerader Bachverlauf aus.

Nachdem er die „Interamericana“ quert, durchfließt er noch ein kurzes Stück jungen sekundären Tieflandregenwald (Abb. 2.12) und mündet in den Rio Oro, kurz bevor dieser in den Rio Bonito mündet. Die Mündung in den R. Oro liegt auf 81 m Seehöhe.



Abb. 2.12 Bach bei Oromündung

Quebrada Chorro

Der Quebrada Chorro entspringt im Gebiet der Fila Gamba, auf circa 220 m Seehöhe, in einem Gebiet mit altem sekundärem Regenwald. Der Q. Chorro durchfließt hauptsächlich primären Schlucht-Wald, sowie alten und jungen sekundären Regenwald. Kurz bevor der R. Chorro nach 5,3 km in den Rio Bonito mündet (TSCHELAUT 2005), wird sein Umland anthropogen beeinflusst, kurzlebige Kornfelder, aufgelassene Viehweiden und noch bewirtschaftete Viehweiden prägen seine Ufer. Die Stelle der Probeentnahme liegt neben der Straße nach La Gamba auf 85 m Seehöhe. Im letzten Abschnitt vor der Probenentnahmestelle (Abb. 2.13) durchfließt der Q. Chorro kurzlebige Kornfelder.



Abb. 2.13 Quebrada Chorro bei der Straße zur Tropenstation

Quebrada Bolsa

Der Quebrada Bolsa entspringt in einer Seehöhe von 320 m an der Fila Gamba im primärem Schlucht-Wald und mündet nach 6,5 km, bei La Gamba, in den Quebrada Gamba (TSCHELAUT 2005) mit der Flussordnungszahl 1. Er entspringt im primären Regenwald der jedoch bald in sekundären Regenwald übergeht, um dann durch Weideland zu fließen, das teilweise aufgelassen ist. Vor der Mündung in den Quebrada Gamba durchfließt er das Siedlungsgebiet des Dorfes La Gamba.



Abb. 2.14 Quebrada Bolsa, Übergang vom sekundären zum primären Regenwald

Abbildung 2.14 zeigt die Stelle des Quebrada Bolsa, an der er vom primären in den sekundären Regenwald übergeht. Im primären und sekundären Regenwald ist der Verlauf des Q. Bolsa relativ gerade. Ab seinem Verlauf durch das Weidelandgebiet ändert sich der Charakter des Baches. Er beginnt stark zu mäandrieren.

Quebrada Gamba

Der Quebrada Gamba hat eine Länge von 7,7 km und eine Flussordnungszahl von 2. Er entspringt in einer Seehöhe von 260 m (TSCHELAUT 2005) und durchfließt im ersten Abschnitt einen Schluchtwald. Dann folgt ein kurzer Abschnitt eines alten sekundären Regenwaldes, der kurz darauf wieder in primären Regenwald (Abb. 2.15 links) übergeht. Darauf folgt eine längere Strecke die anthropogen beeinflusst ist und neben der Straße von La Gamba nach Golfito verläuft. Orografisch links findet man überwiegend jungen sekundären Tieflandregenwald (Abb. 2.15 rechts), hingegen überwiegt an der orografisch rechten Seite Weideland. Im nächsten Abschnitt säumt ein Tiefland - Flusswald primären Ursprungs beide Ufer des Q. Gamba. Der Tiefland - Flusswald ist allerdings nur auf die unmittelbaren Ufer beschränkt. Seitlich der Ufervegetation finden sich wieder Ölpalmen - Plantagen, kurzlebige Kornfelder und sumpfiges Weideland. Der Q. Gamba mündet nördlich der Ortschaft La Gamba in den Rio Bonito.



Abb. 2.15 Quebrada Gamba oben (linkes Bild) und neben der Straße zur Tropenstation (rechtes Bild)

Quebrada Blanca

Der Quebrada Blanca entspringt in der Fila Costeña auf ca. 460 m Seehöhe und mündet kurz nach der „Interamericana“ in den Quebrada Achote. Ab der „Interamericana“ bis zur Mündung durchfließt der Q. Blanca kurzlebige Kornfelder.



Abb. 2.16 Quebrada Blanca bei verfallener Eisenbahnbrücke

Abbildung 2.16 zeigt den Quebrada Blanca südlich der „Interamericana“, in der Nähe einer verfallenen Eisenbahnbrücke. Die Blöcke und das Geröll weisen auf eine starke Erhöhung des Abflusses in der Regenzeit hin.

Quebrada Negra

Der Quebrada Negra ist ein Bach mit der Flussordnungszahl 1, er entspringt im primärem Regenwald in circa 300 m Seehöhe. Zu Beginn fließt er durch Schluchtregenwald, bis er von der Esquinas Lodge und der Tropstation und deren Gartenalagen beeinträchtigt wird. Nach ungefähr 2,7 km in den Quebrada Gamba. Durch seine Nähe zur Tropstation La Gamba, ist dieser Bach der wohl am besten untersuchte in dieser Region. Schon Tschelaut und Pichler arbeiteten 2004 an Untersuchungen zum Laubabbau und zur Habitats Wahl von Fischen am Q. Negra.

Rio Bonito

Einer der größten Flüsse im Piedras Blancas Nationalpark ist der Rio Bonito. Er entspringt nördlich des Nicuesa, einer Erhebung von 579 m, im primären Regenwald. Nach 20,1 km mündet er als Fluss mit der Ordnungszahl 4 in den Rio Esquinas. Der Rio Bonito entwässert den dichten Regenwald unterhalb des Nicuesa, wo er zu 100% von der Ufervegetation überdacht ist (TSCHELAUT 2005). In östliche Richtung fließt er durch ursprünglichen Schluchtwald, bis unterhalb der Rangerstation „Rio Bonito“ der schon anthropogen beeinflusste Quebrada Nicuesa einmündet. Danach fließt der R. Bonito in nördliche Richtung durch das „Vale Bonito“, wo er zunehmend durch Weiden und Palmölplantagen beeinträchtigt wird. In diesem Abschnitt ist das Flussbett des R. Bonito breiter und kaum noch beschattet. Nach dem Einmünden des Quebrada Sardinal ändert der R. Bonito seinen Lauf wieder in östliche Richtung. Auf seinem Weg nach La Gamba wird er zunehmend von Weideflächen und kurzlebigen Feldern beeinflusst. Kurz vor der Ortschaft La Gamba ist auch die Probenstelle Rio Bonito „Mundo“ gelegen (Abb. 2.17). An dieser Stelle befand sich auch ein Lattenpegel.

Nördlich von La Gamba schwenkt er in nordöstliche Richtung um. In Richtung Villa Briceño, beginnt der von Weideland umgebene Fluss, stärker zu mäandrieren. Kurz vor der „Interamericana“ schwenkt er in Richtung Nordwesten, bis er nach wenigen Kilometern in den Rio Esquinas mündet. Auf seinem letzten Abschnitt, umgibt ihn wieder vermehrt Tiefland Flusswald auf der südwestlichen Seite. Zu seiner orografisch rechten Seite (zur „Interamericana“ hin) wird die ursprüngliche Vegetation von einem Siedlungsgebiet, Ölpalmpflanzungen und Weideland gestört.



Abb. 2.17 Rio Bonito bei „Mundo“

Abbildung 2.17 zeigt die Probenentnahmestelle, Rio Bonito „Mundo“, stromaufwärts fotografiert. Das orografisch linke Ufer fällt ca. 2 m senkrecht ab. Etwas stromaufwärts vom Baum, befindet sich der Lattenpegel der an dieser Probenstelle angebracht wurde.

3. Resultate

Abflussgeschehen

In weiter Folge sind die Ergebnisse der Bachvermessungen und des Abflussgeschehens an den beiden Hauptuntersuchungsstandorten, Quebrada Negra und Rio Bonito „Mundo“ dargestellt.

Teileinzugsgebiete, der zwei Haupt-Untersuchungsstandorte Rio Bonito „Mundo“ und Quebrada Negra „Station“, sind in Abbildung 3.1 eingetragen. Die unterschiedliche Größe der Einzugsgebiete spiegeln sich in der Bachbettbreite (Abb. 3.2 und 3.3) und im Abflussgeschehen wieder.

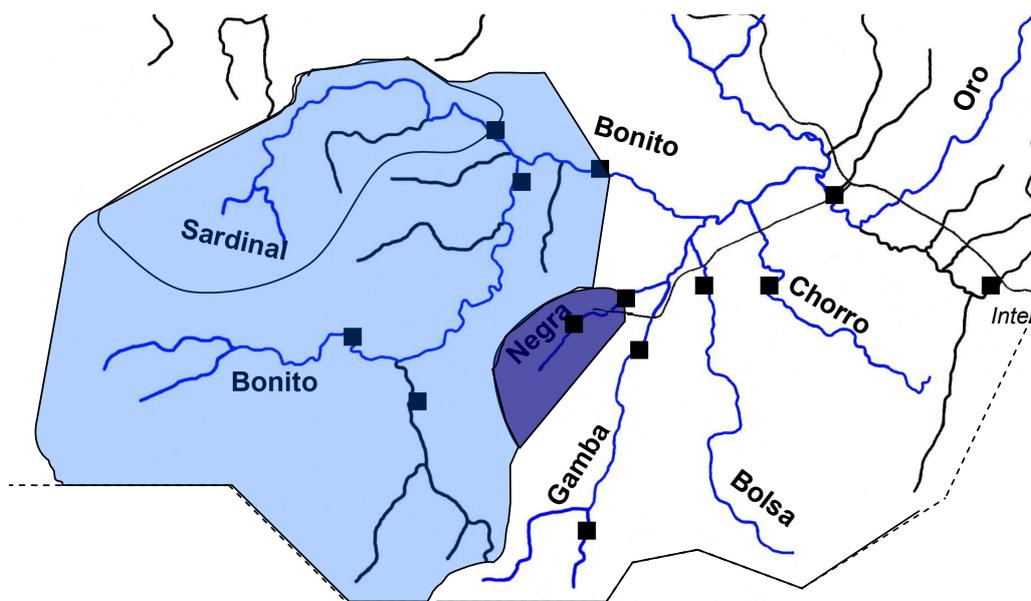


Abb. 3.1 Einzugsgebiete des Rio Bonito (hellblau) und des Quebrada Negra (dunkelblau), bis zu der Probeentnahmestelle

Der zentrale Untersuchungsstandort dieser Arbeit war der Quebrada Negra, direkt an der biologischen Station gelegen. Eine sehr detaillierte Darstellung der Flußmorphologie, Hydrologie und Ökologie des Standortes ist bereits in den Diplomarbeiten von TSCHELAUT (2005) und PICHLER (2005) erfolgt (siehe TSCHELAUT et al. 2008). In der Folge werden ergänzende Angaben zum Abflussverhalten gemacht.

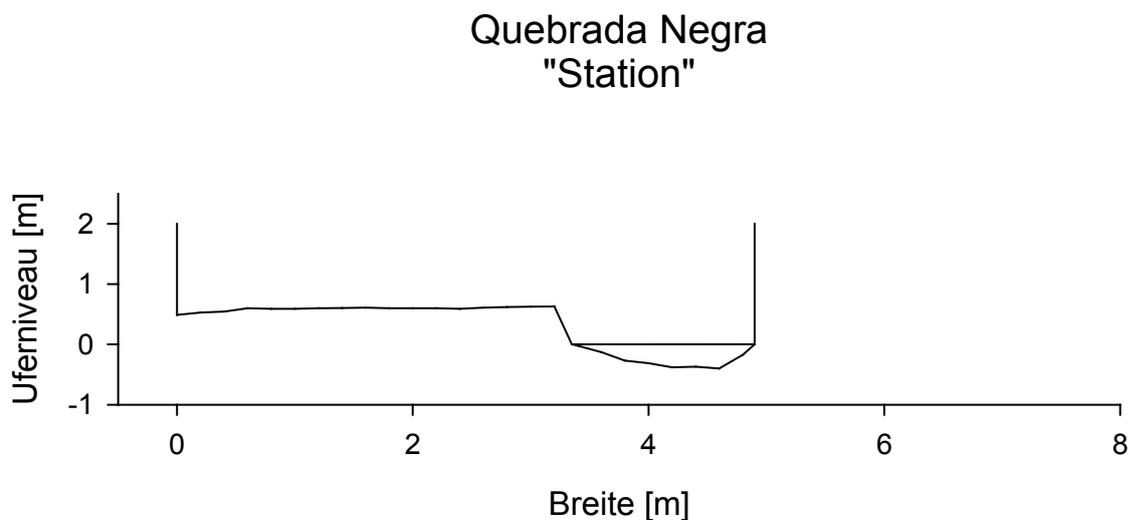


Abb. 3.2 Querschnitt des Quebrada Negras, bei der Tropenstation vom 19.02.2007

Abbildung 3.2 zeigt den Bachquerschnitt des Quebrada Negras bei Niederwasser. Die gesamte Breite des Bachbettes zeigt den Abflussquerschnitt bei Hochwasserführung. Der zweite wichtige Untersuchungsstandort dieser Untersuchung ist der Rio Bonito „Mundo“. Der Fluss hat hier die Flussordnungszahl 3 und weist im Vergleich zum Q. Negra eine deutlich höhere Wasserführung auf. Das Flussbett ist wesentlich offener und breiter. Abbildung 3.3 zeigt den Flussquerschnitt bei Niederwasser am 20.02.2007. Man beachte den deutlich größeren Flussquerschnitt im Vergleich zum Quebrada Negra.

Rio Bonito "Mundo"

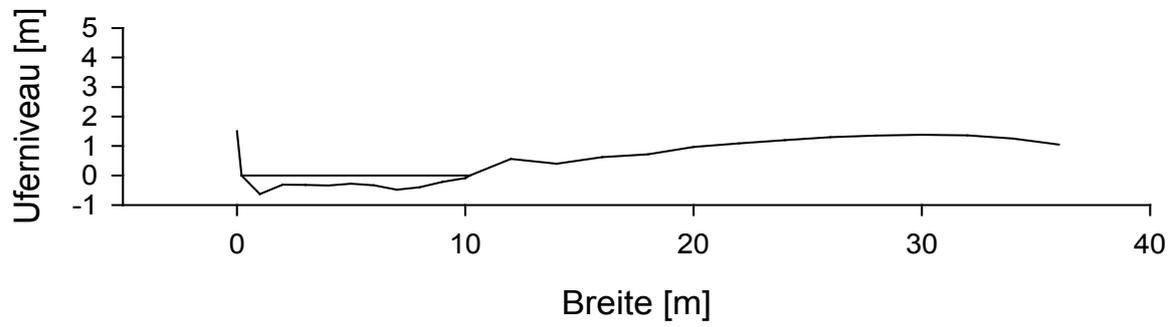


Abb. 3.3 Flussquerschnitt Rio Bonito „Mundo“ 20.02.2007



Abb. 3.4 maximaler Pegelstand während der Untersuchungsdauer (28.03.2007)

In Abbildung 3.4 ist deutlich eine Markierung, bei 105 cm zu erkennen, die bei einem Hochwasserereignis am 28.03.2007 entstanden ist.

An den eingehender untersuchten Standorten Q. Negra und R. Bonito „Mundo“ wurden Lattenpegel installiert, der Zusammenhang von Pegelstand und Abfluss erfasst und in der Untersuchungsphase täglich das Abflussgeschehen registriert. Die Beziehung Pegelstand- Abfluss ist in den Abbildungen 3.5.- 3.7. dargestellt.

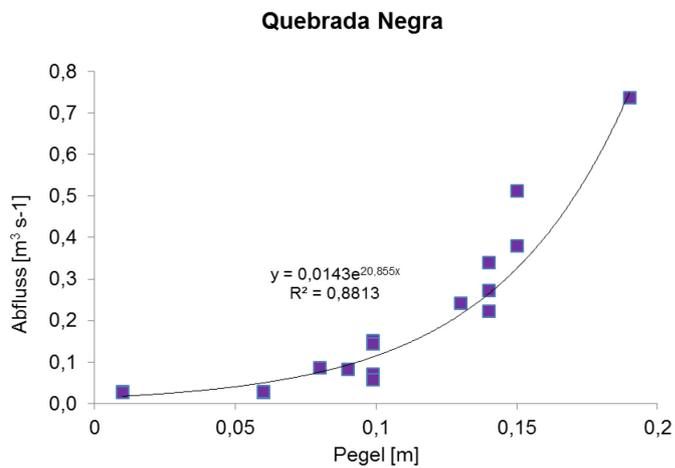


Abb. 3.5 Pegel versus Abfluss Quebrada Negra

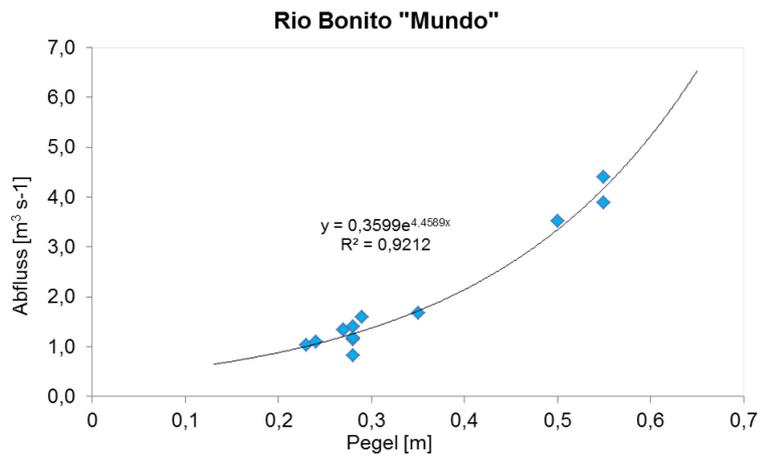


Abb. 3.6 Pegel versus Abfluss Rio Bonito

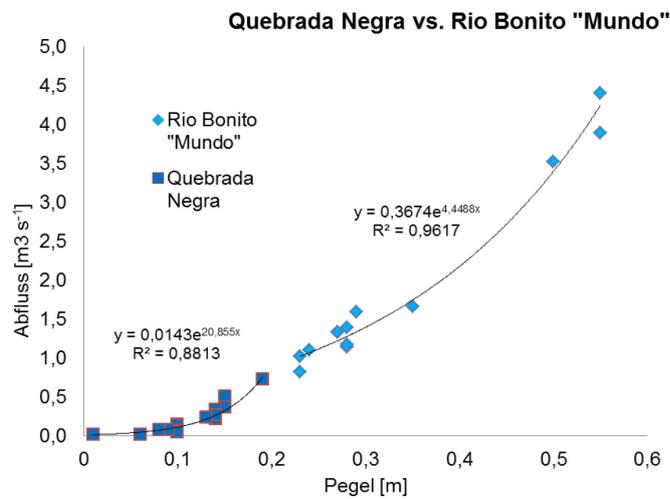


Abb. 3.7 Vergleich der Pegelstand-Abfluss-Beziehung für Quebrada Negra und Rio Bonito

Allgemeine limnologische Kennwerte der Bäche des Rio Esquinas-Flußsystems

Neben einer regelmäßigen Beprobung an den Standorten Q. Negra und R. Bonito "Mundo" erfolgte eine stichprobenartige Aufnahme einer Reihe weiterer Bäche im Einzugsgebiet des Rio Esquinas. Es wurde danach getrachtet einen Vergleich von Niederwasserführung und Hochwasserführung zu erfassen.

In Folge werden einige flussmorphologische, hydrologische und allgemeine hydrochemische Parameter dargestellt, die so weit wie möglich in der Trockenzeit und zu Beginn der Regenzeit aufgenommen wurden. Für den Quebrada Chorro, Quebrada Negra, Quebrada Bolsa, Quebrada Gamba, Rio Esquinas, Rio Oro, unbenannter Bach bei Oromündung und den Quebrada Blanca sind die Daten in Tabellen zusammengefasst.

Die GPS Daten sind im UTM-Koordinatensystem angegeben.

Tabelle 3.1 Daten aller Probestellen

| Gewässer | Datum der Probennahme | GPS Koordinaten UMT | Zeit | pH | Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | O ₂ [mg L^{-1}] | O ₂ [%] | Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] | Pegel [cm] | Abfluss [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] | Abfluss [L s^{-1}] | Si-SiO ₄ [mg L^{-1}] | SRP (P-PO ₄) | TDP (P-s) | TP (P-t) | N-NO ₃ |
|---|-----------------------|------------------------|-----------|------|---|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------|--|-------------------------------|--|--------------------------|-----------|----------|-------------------|
| Quebrada bei Achiat; bei Stacheldrahtzaun | 15.02.2007 | | ca. 16:00 | 7,61 | 374 | 5,13 | 68,8 | 28,3 | | | | | | | | |
| Quebrada Blanca neben verfallener Brücke | 15.02.2007 | 17P 0263515 096278 | ca. 16:45 | 7,56 | 531 | 4,81 | 63 | 28,7 | | | | | | | | |
| Quebrada La Bolsa Grenze Primär-Sekundärwald | 15.02.2007 | | 12:30 | 8,27 | 206 | 8,26 | 102,7 | 26,4 | | | | | | | | |
| Quebrada La Bolsa großer Tüpel | 15.02.2007 | | 13:30 | 0 | 218 | 4,1 | 56,2 | | | | | | | | | |
| Quebrada La Bolsa Tüpel | 15.02.2007 | | 13:00 | 7,1 | 186 | 8,4 | 108 | 28,4 | | | | | | | | |
| Quebrada Negra Station | 15.02.2007 | 17P 0257759 0962425 | 00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 12,5 | 0,033 | 33,0 | | | | | |
| Rio Bonito "Mundo" | 15.02.2007 | 17P 0258904 0964202 | 10:45 | 7,8 | 156,1 | 7,71 | 100,7 | 29,2 | | | | | | | | |
| Rio Oro bei Brücke; Interamericana | 15.02.2007 | 17P 0262637 0964175 | ca. 17:30 | 8,34 | 318 | 7,33 | 95,8 | 27,9 | | | | | | | | |
| Quebrada Nicuesa oberhalb Zusammenfluss mit R. Bonito | 16.02.2007 | | 00:00 | 7,4 | 152,5 | 7,12 | 92,2 | 27,8 | | 0,040 | 40,0 | | | | | |
| Rio Bonito im Valle Bonito, bei Finca | 16.02.2007 | | ca. 12:00 | 7,75 | 163,3 | 8,32 | 107,5 | 28,3 | | 0,000 | 0,0 | | | | | |
| Rio Bonito oberhalb Zusammenfluss mit Q. Nicuesa | 16.02.2007 | | 00:00 | 8,28 | 188,5 | 8,7 | 109,1 | 26,7 | | | | | | | | |
| Rio Bonito "Mundo" | 17.02.2007 | 17P 0258904 0964202 | 00:00 | 7,93 | 389 | 8,83 | 115 | 31,9 | | | | | | | | |

| Gewässer | Datum der Probennahme | GPS Koordinaten UMT | Zeit | pH | Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | O2 [mg L^{-1}] | O2 [%] | Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] | Pegel [cm] | Abfluss [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] | Abfluss [L s^{-1}] | Si-SiO4 [mg L^{-1}] | SRP (P-PO4) | TDP (P-s) | TP (P-t) | N-NO3 |
|--|-----------------------|-------------------------|-----------|------|---|---------------------------|--------|-----------------------------------|------------|--|-------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------|----------|-------|
| Rio Esquinas obehalf Riyito | 17.02.2007 | | ca. 14:00 | 8,11 | 364 | 7,33 | 96,3 | 29,5 | | | | | | | | |
| Bach bei Mündung des Oro | 18.02.2007 | 17 P 0261459 0964891 | 00:00 | 8,28 | 309 | 7,7 | 96,5 | 26,1 | | 0,010 | 10,0 | | | | | |
| Rio Bonito nach Zusammenfluss mit Oro | 18.02.2007 | 0 | 00:00 | 7,41 | 147,8 | 6,46 | 86 | 29,8 | | 1,285 | 1284,7 | | | | | |
| Rio Oro bei Brücke nach La Gamba | 18.02.2007 | | 00:00 | 7,93 | 389 | 8,83 | 115 | 31,9 | | 0,281 | 280,9 | | | | | |
| Bach bei Mündung Oro | 20.02.2007 | 17 P 0261459 0964891 | 00:00 | 8,29 | 294 | 7,97 | 99,2 | 25,5 | | | | | | | | |
| Quebrada Chorro bei Strasse zur Interamericana | 20.02.2007 | 0,00 | 00:00 | 7,54 | 153,4 | 6,85 | 84,7 | 25,9 | | 0,641 | 641,4 | | | | | |
| Quebrada Gamba bei Strasse zur Interamericana | 20.02.2007 | 17 P 0258788 0962503 | 00:00 | 7,81 | 174,9 | 6,95 | 85,7 | 25,4 | | 0,525 | 524,7 | | | | | |
| Rio Bonito vor Mündung Oro | 20.02.2007 | 0 | 00:00 | 7,73 | 162,4 | 6,88 | 90,4 | 29,3 | | 4,270 | 4270,1 | | | | | |
| Rio Oro ca.20m oberhalb des Mündungsbereichs in den Bonito | 20.02.2007 | 0 | 00:00 | 8,05 | 406 | 7,97 | 108,2 | 30,8 | | 0,967 | 966,9 | | | | | |
| Rio Bonito "Mundo" | 21.02.2007 | 17P 0258904 0964202 | | | | | | | | | 0,0 | 19,0 | 22 | 36 | 37 | 71 |
| Rio Bonito Oben | 21.02.2007 | | 00:00 | 8,02 | 182,8 | 7,92 | 100,9 | 27,1 | | 0,572 | 571,6 | 16,5 | 9 | 27 | 42 | 123 |
| Rio Bonito "Mundo" | 22.02.2007 | 17P 0258904 0964202 | ca. 11:00 | | | | | | 29 | 1,593 | 1593,0 | | | | | |
| Rio Esquinas oben | 22.02.2007 | 17P 0260965 0971555 | ca. 16:00 | 8,35 | 270 | 8,93 | 111,4 | 23,2 | | 0,120 | 120,0 | | | | | |

| Gewässer | Datum der Probennahme | GPS Koordinaten UMT | Zeit | pH | Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | O2 [mg L^{-1}] | O2 [%] | Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] | Pegel [cm] | Abfluss [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] | Abfluss [L s^{-1}] | Si-SiO4 [mg L^{-1}] | SRP (P-PO4) | TDP (P-s) | TP (P-t) | N-NO3 |
|--|-----------------------|------------------------|-----------|------|---|---------------------------|--------|-----------------------------------|------------|--|-------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------|----------|-------|
| Quebrada Negra Station | 23.02.2007 | 17P 0257759 0962425 | | 7,69 | 183,4 | 7 | 84,4 | 24,7 | | | 0,0 | 23,7 | 23 | 70 | 77 | 75 |
| Rio Bonito "Mundo" | 23.02.2007 | 17P 0258904 0964202 | 14:00 | 7,65 | 151,2 | 6,96 | 92,6 | 29,7 | 28 | 1,390 | 1390,0 | 18,1 | 24 | 37 | 42 | 48 |
| Quebrada Negra Station | 25.02.2007 | 17P 0257759 0962425 | ca. 14:00 | 7,69 | 207 | 6,95 | 86,7 | 26,1 | 9,9 | 0,030 | 29,5 | 24,5 | 50 | 74 | 82 | 79 |
| Rio Bonito "Mundo" | 25.02.2007 | 17P 0258904 0964202 | 15:00 | 7,8 | 152,1 | 7,57 | 100,7 | 29,8 | 27 | 1,336 | 1336,0 | 21,2 | 20 | 42 | 40 | 45 |
| Quebrada Negra Station | 26.02.2007 | 17P 0257759 0962425 | 00:00 | 7,79 | 208 | 7,19 | 89,6 | 26 | 9,9 | 0,029 | 28,6 | 25,1 | 54 | 72 | 71 | 90 |
| Rio Bonito "Mundo" | 26.02.2007 | 17P 0258904 0964202 | 00:00 | 7,69 | 152,5 | 7,23 | 95,3 | 29,3 | 27 | 1,338 | 1338,0 | 19,1 | 21 | 38 | 41 | 35 |
| Quebrada Negra Station | 09.03.2007 | 17P 0257759 0962425 | 11:00 | 7,68 | 211 | 7,36 | 89,8 | 25 | 9,9 | 0,027 | 26,6 | 23,4 | 57 | 77 | 77 | 75 |
| Rio Bonito "Mundo" | 09.03.2007 | 17P 0258904 0964202 | 11:00 | 7,44 | 153,7 | 8 | 104,8 | 28,9 | 24 | 1,099 | 1099,0 | 19,1 | 22 | 22 | 23 | 19 |
| Quebrada Negra Station | 12.03.2007 | 17P 0257759 0962425 | 11:00 | 7,63 | 212 | 7,24 | 88,2 | 25 | 9,9 | 0,021 | 20,5 | 23,2 | 55 | 87 | 91 | 55 |
| Rio Bonito "Mundo" | 12.03.2007 | 17P 0258904 0964202 | 11:00 | 7,73 | 154,5 | 8,12 | 104,7 | 28,1 | 23 | 1,026 | 1026,0 | 19,1 | 19 | 48 | 53 | 13 |
| Rio Bonito "Mundo" | 15.03.2007 | 17P 0258904 0964202 | 15:45 | 7,74 | 148,4 | 7,83 | 105,6 | 30,4 | 23 | 0,823 | 823,0 | 19,5 | 23 | 37 | 38 | 38 |
| Quebrada Negra Station | 26.03.2007 | 17P 0257759 0962425 | 14:00 | 7,67 | 210 | 6,88 | 86,2 | 26,7 | 9 | 0,020 | 20,1 | 18,4 | 55 | 78 | 81 | 53 |
| Rio Bonito "Mundo" | 26.03.2007 | 17P 0258904 0964202 | 10:00 | 7,9 | 149,7 | Gerätefehler | | | 28 | 1,142 | 1142,0 | 21,8 | 19 | 38 | 39 | 15 |
| Quebrada Bolsa bei Brücke vor La Gamba | 29.03.2007 | | 12:50 | 7,45 | 166,8 | 6,22 | 86,7 | 32,8 | | | | | | | | |

| Gewässer | Datum der Probennahme | GPS Koordinaten UMT | Zeit | pH | Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | O2 [mg L^{-1}] | O2 [%] | Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] | Pegel [cm] | Abfluss [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] | Abfluss [L s^{-1}] | Si-SiO4 [mg L^{-1}] | SRP (P-PO4) | TDP (P-s) | TP (P-t) | N-NO3 |
|---|-----------------------|-------------------------|-------------|------|---|---------------------------|--------|-----------------------------------|------------|--|-------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------|----------|-------|
| Quebrada Negra Station | 29.03.2007 | 17P 0257759 0962425 | 09:00 | 7,67 | 194,7 | 6,85 | 85,6 | 25,5 | 8 | 0,030 | 29,6 | | | | | |
| Rio Bonito "Mundo" | 29.03.2007 | 17P 0258904 0964202 | 11:00 | 7,72 | 149,9 | 7,56 | 101,1 | 30,2 | 28 | 1,175 | 1175,0 | | | | | |
| Bach bei Mündung des Oro | 06.04.2007 | 17 P 0261459 0964891 | 14:30 | 8,26 | Messgerät- fehler | 8 | 99,1 | 25,7 | | 0,020 | 20,0 | | | | | |
| Rio Bonito nach Zusammenfluss mit Oro | 06.04.2007 | 17 P 0261429 0964969 | 11:00 | 7,41 | 147,8 | 6,46 | 86 | 29,8 | | 2,397 | 2396,6 | 18,2 | 26 | 45 | 45 | 53 |
| Rio Bonito vor Mündung Oro | 06.04.2007 | 17 P 0261480 0964781 | 12:15 | 7,73 | 162,4 | 6,88 | 90,4 | 29,3 | | 1,725 | 1725,3 | 19,4 | 26 | 42 | 51 | 15 |
| Rio Oro ca. 50 m oberhalb Mündung in Bonito | 06.04.2007 | 17 P 0261483 0964889 | 13:35 | 8,1 | 432 | 7,89 | 108,1 | 31,6 | | 0,386 | 386,1 | 10,3 | 11 | 25 | 35 | 17 |
| Niederschlag | 12.04.2007 | | | | | | | | | | | | <5 | <5 | 5 | 26 |
| Quebrada Negra Station | 12.04.2007 | 17P 0257759 0962425 | 10:30 | 7,73 | 192,5 | 7,19 | 87 | 25,8 | 6 | 0,034 | 34,4 | 22,4 | 51 | 65 | 73 | 73 |
| Quebrada Negra Station | 12.04.2007 | 17P 0257759 0962425 | 16:02 | 7,71 | 194 | 7,97 | 87 | 26,1 | 6 | 0,036 | 35,9 | 22 | 55 | 70 | 75 | 75 |
| Quebrada Negra Station | 12.04.2007 | 17P 0257759 0962425 | 16:31/16:44 | 7,72 | 182,3 | 7,07 | 88 | 25,9 | 9/10 | 0,065 | 65,4 | 21,1 | 60 | 75 | 83 | 73 |
| Quebrada Negra Station | 12.04.2007 | 17P 0257759 0962425 | 17:10/17:25 | 7,41 | 95,9 | 7,78 | 95,4 | 25,3 | 45/40 | 0,619 | 618,8 | 12,7 | 50 | 64 | 434 | 130 |
| Quebrada Negra Station | 12.04.2007 | 17P 0257759 0962425 | 17:32/17:50 | 7,41 | 73,6 | 7,78 | 95,4 | 25,3 | 40/30 | 0,353 | 353,5 | 10,7 | 41 | 60 | 491 | 144 |
| Quebrada Negra Station | 12.04.2007 | 17P 0257759 0962425 | 19:30 | 7,47 | 101,7 | 7,22 | 89,2 | 25,2 | 14 | 0,233 | 233,0 | 15,3 | 40 | 55 | 90 | 112 |
| Quebrada Negra Station | 14.04.2007 | 17P 0257759 0962425 | 10:15 | 7,67 | 186,4 | 7,03 | 87,2 | 25,9 | 1 | 0,039 | 39,2 | 21,3 | 46 | 67 | 69 | 72 |
| Quebrada Negra Station | 17.04.2007 | 17P 0257759 0962425 | 08:45 | 7,67 | | 7,34 | 90,5 | 25,6 | 1 | 0,035 | 34,9 | 21,1 | 53 | 73 | 74 | 86 |

| Gewässer | Datum der Probenahme | GPS Koordinaten UMT | Zeit | pH | Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | O ₂ [mg L^{-1}] | O ₂ [%] | Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] | Pegel [cm] | Abfluss [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] | Abfluss [L s^{-1}] | Si-SiO ₄ [mg L^{-1}] | SRP (P-PO ₄) | TDP (P-s) | TP (P-t) | N-NO ₃ |
|---|----------------------|------------------------|-------|------|---|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------|--|-------------------------------|--|--------------------------|-----------|----------|-------------------|
| Rio Bonito "Mundo" | 17.04.2007 | 17P 0258904 0964202 | 09:45 | 7,51 | 143,8 | 7,7 | 91,6 | 28,9 | 35 | 1,664 | 1664,0 | 17,9 | 22 | 35 | 35 | 33 |
| Rio Bonito "Mundo" | 02.05.2007 | 17P 0258904 0964202 | 12:30 | 7,22 | 124,3 | 7,03 | 91,2 | 28,8 | 55 | 3,890 | 3890,0 | 17,1 | 17 | 36 | 45 | 22 |
| Rio Bonito "Mundo" | 02.05.2007 | 17P 0258904 0964202 | 15:00 | 7,25 | 124,3 | 6,8 | 89,1 | 28,7 | 50 | 3,516 | 3516,0 | | | | | |
| Quebrada Negra Station | 09.05.2007 | 17P 0257759 0962425 | 13:20 | 7,39 | 140,9 | 7,17 | 88,6 | 25,6 | 19 | 0,185 | 184,9 | 22,1 | 31 | 52 | 52 | |
| Quebrada Negra Station | 10.05.2007 | 17P 0257759 0962425 | 11:00 | 7,47 | 162,4 | 7,3 | 90 | 25,6 | 15 | 0,141 | 141,3 | 23,0 | 31 | 50 | 51 | |
| Quebrada Negra Station | 11.05.2007 | 17P 0257759 0962425 | 13:08 | 7,5 | 172,3 | 7,26 | 89,9 | 25,6 | 15 | 0,104 | 104,0 | 23,0 | 51 | 51 | 59 | |
| Quebrada Negra Station | 12.05.2007 | 17P 0257759 0962425 | 09:12 | 7,53 | 177,7 | 7,42 | 91,3 | 25,4 | 14 | 0,096 | 96,0 | 21,4 | 41 | 52 | 57 | |
| Quebrada Negra "Quellbereich" | 14.05.2007 | 17P 0257748 0962496 | 09:40 | 8,02 | 201 | 7,96 | 97,7 | 24,4 | | | | 23,9 | 72 | 98 | 100 | |
| Quebrada Negra Station | 14.05.2007 | 17P 0257759 0962425 | 14:50 | 7,56 | 184,7 | 7,28 | 90,1 | 25,6 | 14 | 0,078 | 78,0 | 21,6 | 43 | 58 | 59 | |
| Quebrada Negra Station "Quelle" | 14.05.2007 | 17P 0256795 0961195 | 10:15 | 6,72 | 99,3 | 6 | 74,5 | 24,9 | | 0,000 | 0,0 | 17,7 | 46 | 64 | 103 | |
| Quebrada Negra Station | 15.05.2007 | 17P 0257759 0962425 | 15:50 | 7,61 | 186,5 | 7,29 | 90,6 | 25,8 | 13 | 0,070 | 70,4 | 22,6 | 44 | 56 | 60 | |
| Quebrada Blanca ehemalige Eisenbahnbrücke | 16.05.2007 | 17P 0263515 0963278 | 07:59 | 8,21 | 343 | 8,17 | 101 | 25,6 | | 0,261 | 261,4 | 9,0 | 4 | 10 | 37 | 174 |
| Quebrada Gamba Brücke | 16.05.2007 | 17P 0258784 0962511 | 14:53 | 7,62 | 176,2 | 6,7 | 86,2 | 28,1 | | 0,323 | 322,8 | 20,4 | 46 | 73 | 76 | 36 |
| Quebrada Gamba oben | 16.05.2007 | 17P 0257733 0959395 | 14:04 | 7,85 | 160,2 | 7,19 | 89,1 | 25,8 | | 0,205 | 204,9 | 24,5 | 71 | 93 | 118 | 19 |
| Rio Chorro Brücke | 16.05.2007 | 17P 0260441 0963731 | 13:29 | 7,71 | 141,6 | 7,18 | 90,1 | 26,4 | | 0,223 | 222,8 | 22,4 | 49 | 78 | 80 | 16 |

| Gewässer | Datum der Probennahme | GPS Koordinaten UMT | Zeit | pH | Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | O ₂ [mg L^{-1}] | O ₂ [%] | Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] | Pegel [cm] | Abfluss [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] | Abfluss [L s^{-1}] | Si-SiO ₄ [mg L^{-1}] | SRP (P-PO ₄) | TDP (P-s) | TP (P-t) | N-NO ₃ |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------|------|---|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------|--|-------------------------------|--|--------------------------|-----------|----------|-------------------|
| Rio Esquinas Brücke Interamericana | 16.05.2007 | 17P 0260475 0967021 | 12:38 | 8,36 | 261 | 7,86 | 95,9 | 24,8 | | 9,000 | 9000,0 | 7,2 | 9 | 39 | 39 | 205 |
| Rio Esquinas oben | 16.05.2007 | 17P 0260965 0971555 | 11:37 | 8,44 | 243 | 8,5 | 103,9 | 22,1 | | 0,791 | 790,6 | 7,1 | 20 | 22 | 64 | 23 |
| Rio Oro Brücke Interamericana | 16.05.2007 | 17P 0262637 0964175 | 09:00 | 8,34 | 353 | 7,98 | 98,5 | 25,5 | | 0,116 | 116,4 | 11,0 | 23 | 32 | 79 | 74 |
| Rio Bonito "Mundo" | 18.05.2007 | 17P 0258904 0964202 | 11:10 | 7,33 | 132,5 | 8,22 | 104,6 | 27,2 | 55 | 4,400 | 4400,0 | 16,9 | 22 | 43 | 46 | 23 |

Quebrada Chorro

Tabelle 3.2 Daten von zwei Probenahmen bei Nieder- und Hochwasser

| Quebrada Chorro | | |
|---|-------------|-------------|
| Datum | 20.02.2007 | 16.05.2007 |
| UTM | 17P 0260441 | 17P 0260441 |
| GPS-Koordinaten | 0963731 | 0963731 |
| Probenentnahmestelle | Brücke | Brücke |
| Zeit | - | 13:30 |
| Seehöhe [m] | 85 | 85 |
| Temperatur [°C] | 25,7 | 26,4 |
| Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | 153,4 | 141,6 |
| pH-Wert | 7,54 | 7,71 |
| O ₂ [%/mg L ⁻¹] | 84,7/6,85 | 90,1/7,18 |
| Flussbreite [m] | 3,8 | 4,05 |
| Durchschnittstiefe [m] | 0,158 | 0,234 |
| Durchschnittliche Abflussgeschwindigkeit [m s^{-1}] | 0,077 | 0,214 |
| Abfluss [L s^{-1}] | 104 | 243 |
| Beschattung | 3 | 3 |

* geschätzt

Quebrada Negra

Tabelle 3.3 Quebrada Negra im Längsverlauf

Quebrada Negra

| Datum | 14.05.2007 | 14.05.2007 | 14.05.2007 |
|---|----------------|-------------|-------------|
| UTM | 17P 0257748 | 17P 0256795 | 17P 0257759 |
| GPS-Koordinaten | 0962496 | 0961195 | 0962425 |
| Probenentnahmestelle | "Quellbereich" | "Quelle" | „Station" |
| Zeit | 09:45 | 10:15 | 15:00 |
| Seehöhe [m] | 236 | 300 | 102 |
| Temperatur [°C] | 24,4 | 24,9 | 25,6 |
| Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | 201 | 99,3 | 184,7 |
| pH-Wert | 8,02 | 6,72 | 7,56 |
| O ₂ [%/mg L ⁻¹] | 97,7/7,96 | 74,5/6 | 90,1/7,28 |
| Flussbreite [m] | - | - | 1,6 |
| Durchschnittstiefe [m] | - | - | 0,204 |
| Durchschnittliche Abflussgeschwindigkeit [m s ⁻¹] | - | - | 0,122 |
| Abfluss [L s ⁻¹] | - | - | 78,04 |
| Beschattung | 4 | 4 | 4 |

* geschätzt

Quebrada Bolsa

Tabelle 3.4 Quebrada Bolsa diverse Standorte im Längsverlauf, keine GPS-Daten vorhanden

Quebrada Bolsa

| Datum | 15.02.2007 | 15.02.2007 | 15.02.2007 | 29.03.2007 |
|---|---------------------|-----------------------|---------------|---------------------|
| UTM | - | - | - | - |
| GPS-Koordinaten | - | - | - | - |
| Probenentnahmestelle | Grenze Sekundärwald | Primär-kleiner Tümpel | großer Tümpel | Brücke vor La Gamba |
| Zeit | 12:30 | 13:00 | 13:30 | 13:00 |
| Seehöhe [m] | - | - | - | - |
| Temperatur [°C] | 26,2 | 28,4 | 30,9 | 32,8 |
| Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | 206 | 186 | 218 | 166,8 |
| pH-Wert | 8,27 | 7,1 | - | 4,45 |
| O ₂ [%/mg L ⁻¹] | 102,7/8,26 | 108/8,4 | 56,2/4,1 | 86,7/6,22 |
| Beschattung | 2 | 1 | 1 | 2 |

* geschätzt

Quebrada Gamba

Tabelle 3.5 Quebrada Gamba im Jahresgang und Längsverlauf

Quebrada Gamba

| Datum | 20.02.2007 | 21.02.2007 | 16.05.2007 | 16.05.2007 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| UTM | 17P 0258784 | 17P 0258784 | 17P 0258784 | 17P 0257733 |
| GPS-Koordinaten | 0962511 | 0962511 | 0962511 | 0959395 |
| Probenentnahmestelle | Oben | Brücke | Brücke | Oben |
| Zeit | - | - | 15:00 | 14:00 |
| Seehöhe [m] | 144 | 85 | 85 | 144 |
| Temperatur [°C] | 25,6 | 29,6 | 28,1 | 25,8 |
| Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | 174,9 | 182,8 | 176,2 | 160,2 |
| pH-Wert | 7,81 | 7,63 | 7,62 | 7,85 |
| O ₂ [%/mg L ⁻¹] | 85,7/6,95 | 90,5/6,81 | 86,2/6,7 | 89,1/7,19 |
| Flussbreite [m] | 5,3 | - | 6,4 | 5,2 |
| Durchschnittstiefe [m] | 0,121 | - | 0,189 | 0,152 |
| Durchschnittliche Abflussgeschwindigkeit [m s^{-1}] | 0,051 | - | 0,428 | 0,137 |
| Abfluss [L s^{-1}] | 96 | - | 386 | 192 |
| Beschattung | 2 | 4 | 4 | 2 |

* geschätzt

Rio Esquinas

Tabelle 3.6 Rio Esquinas im Jahresgang und Längsverlauf

| Rio Esquinas | | | | | |
|---|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Datum | 17.02.2007 | 18.02.2007 | 22.02.2007 | 16.05.2007 | 16.05.2007 |
| UTM | | 17P 0260475 | 17P 0260965 | 17P 0260475 | 17P 0260965 |
| GPS-Koordinaten | - | 0967021 | 0971555 | 0967021 | 0971555 |
| Probenentnahmestelle | oberhalb Riyito | Brücke | oben | Brücke | oben |
| Zeit | 14:00 | - | 16:00 | 13:00 | 12:00 |
| Seehöhe [m] | - | 92 | 553 | 92 | 553 |
| Temperatur [°C] | 29,5 | 25,7 | 23,2 | 24,8 | 22,1 |
| Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | 364 | 268 | 270 | 261 | 243 |
| pH-Wert | 8,11 | 8,45 | 8,35 | 8,36 | 8,44 |
| O ₂ [%/mg L ⁻¹] | 96,3/7,33 | 100,3/94,7 | 111,4/8,93 | 95,9/7,86 | 103,9/8,5 |
| Flussbreite [m] | 34 | 7* | 2* | 15* | 6,25 |
| Durchschnittstiefe [m] | 0,96 | 0,4* | 0,2* | 0,6* | 0,26 |
| Durchschnittliche Abflussgeschwindigkeit [m s ⁻¹] | neg. Flut | 1,2* | 0,3* | 1* | 0,3 |
| Abfluss [L s ⁻¹] | - | 3360* | 120* | 9000* | 726 |
| Beschattung | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |

* geschätzt



Abb. 3.8 Rio Esquinas an der Fila Costeña bei Niederwasser und Hochwasser

Rio Oro

Tabelle 3.7 Rio Oro im Jahresgang und Längsverlauf

| Rio Oro | | | | | |
|---|--------------------|------------|--------------|--------------|--------------------|
| Datum | 15.02.2007 | 18.02.2007 | 20.02.2007 | 06.04.2007 | 16.05.2007 |
| UTM | 17P 0262637 | | 17 P 0261483 | 17 P 0261483 | 17P 0262637 |
| GPS-Koordinaten | 0964175 | - | 0964889 | 0964889 | 0964175 |
| Probenentnahmestelle | Brücke Interam. | Brücke | Mündung | Mündung | Brücke Interam. |
| Zeit | - | - | - | 13:30 | 09:00 |
| Seehöhe [m] | 92 | - | 80 | 80 | 92 |
| Temperatur [°C] | 27,9 | 31,9 | 30,8 | 31,6 | 25,5 |
| Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | 318 | 389 | 406 | 432 | 353 |
| pH-Wert | 8,34 | 7,93 | 8,05 | 8,1 | 8,34 |
| O ₂ [%/mg L ⁻¹] | 95,8/7,33 | 115/8,83 | 108,2/7,97 | 108,1/7,89 | 98,5/7,98 |
| Flussbreite [m] | - | 10,2 | 5,5 | 9,95 | 5,4 |
| Durchschnittstiefe [m] | - | 0,104 | 1,05 | 0,06 | 0,114 |
| Durchschnittliche Abflussgeschwindigkeit [m s ⁻¹] | - | 0,196 | 1,34 | 0,175 | 0,423 |
| Abfluss [L s ⁻¹] | - | 256 | 131 | 178 | 666 |
| Beschattung | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 |

* geschätzt

Bach bei der Oromündung

Tabelle 3.8 unbenannter Bach bei der Rio Oromündung in den Rio Bonito im Jahresgang

| Bach bei Oromündung | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Datum | 18.02.2007 | 20.02.2007 | 06.04.2007 |
| UTM | 17P 0261459 | 17P 0261459 | 17P 0261459 |
| GPS-Koordinaten | 0964891 | 0964891 | 0964891 |
| Probenentnahmestelle | Mündung in R. Bonito | Mündung in R. Bonito | Mündung in R. Bonito |
| Zeit | - | - | 13:30 |
| Seehöhe [m] | 81 | 81 | 81 |
| Temperatur [°C] | 26,1 | 25,5 | 25,7 |
| Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | 309 | 294 | - |
| pH-Wert | 8,28 | 8,29 | 8,26 |
| O ₂ [%/mg L ⁻¹] | 96,5/7,7 | 99,2/7,97 | 99,1/8 |
| Flussbreite [m] | - | - | - |
| Durchschnittstiefe [m] | - | - | - |
| Durchschnittliche Abflussgeschwindigkeit [m s ⁻¹] | - | - | - |
| Abfluss [L s ⁻¹] | 10* | - | 20* |
| Beschattung | 5 | 5 | 5 |

* geschätzt

Quebrada Blanca

Tabelle 3.9 Quebrada Blanca im Jahresgang

| Quebrada Blanca | | |
|--|----------------------------|----------------------------|
| Datum | 15.02.2007 | 16.05.2007 |
| UTM | 17P 0263515 | 17P 0263515 |
| GPS-Koordinaten | 0963278 | 0963278 |
| Probenentnahmestelle | verfallene Eisenbahnbrücke | verfallene Eisenbahnbrücke |
| Zeit | 16:45 | 08:00 |
| Seehöhe [m] | 90 | 90 |
| Temperatur [°C] | 28,7 | 25,6 |
| Leitfähigkeit [$\mu\text{S cm}^{-1}$] | 531 | 343 |
| pH-Wert | 7,56 | 8,21 |
| O ₂ [%/mg L ⁻¹] | 63/4,81 | 101/8,17 |
| Flussbreite [m] | - | 4,5 |
| Durchschnittstiefe [m] | - | 0,112* |
| Durchschnittliche Abflussgeschwindigkeit [m s^{-1}] | - | 0,429* |
| Abfluss [L s^{-1}] | - | 261* |
| Beschattung | 1 | 1 |

* geschätzt

Der Wasserstand am 15.02.2007 war zu gering um eine Strömungsmessung durchzuführen.



Abb. 3.9 Quebrada Blanca bei Nieder- und Hochwasser

Saisonale Abflussgeschehen

Quebrada Negra

Abbildung 3.10 zeigt die Niederschlagsmenge und den Pegelgang gemessen in der Tropenstation La Gamba für das Jahr 2007, vom 17. Februar bis zum 17. Mai. Weiters sind in der Grafik die Zeitpunkte der Probenentnahme zur chemischen Untersuchung und Abflussmengenmessung dargestellt.

Der Pegelgang ist in der „Trockenzeit“ relativ konstant bei ca. 0,1 m und sinkt zu Ende der Trockenzeit sogar gegen 0 m. Erst nach einsetzen ergiebigerer Regenfälle steigt der Pegel wieder an und liegt Mitte Mai bei ca. 0,14 m.

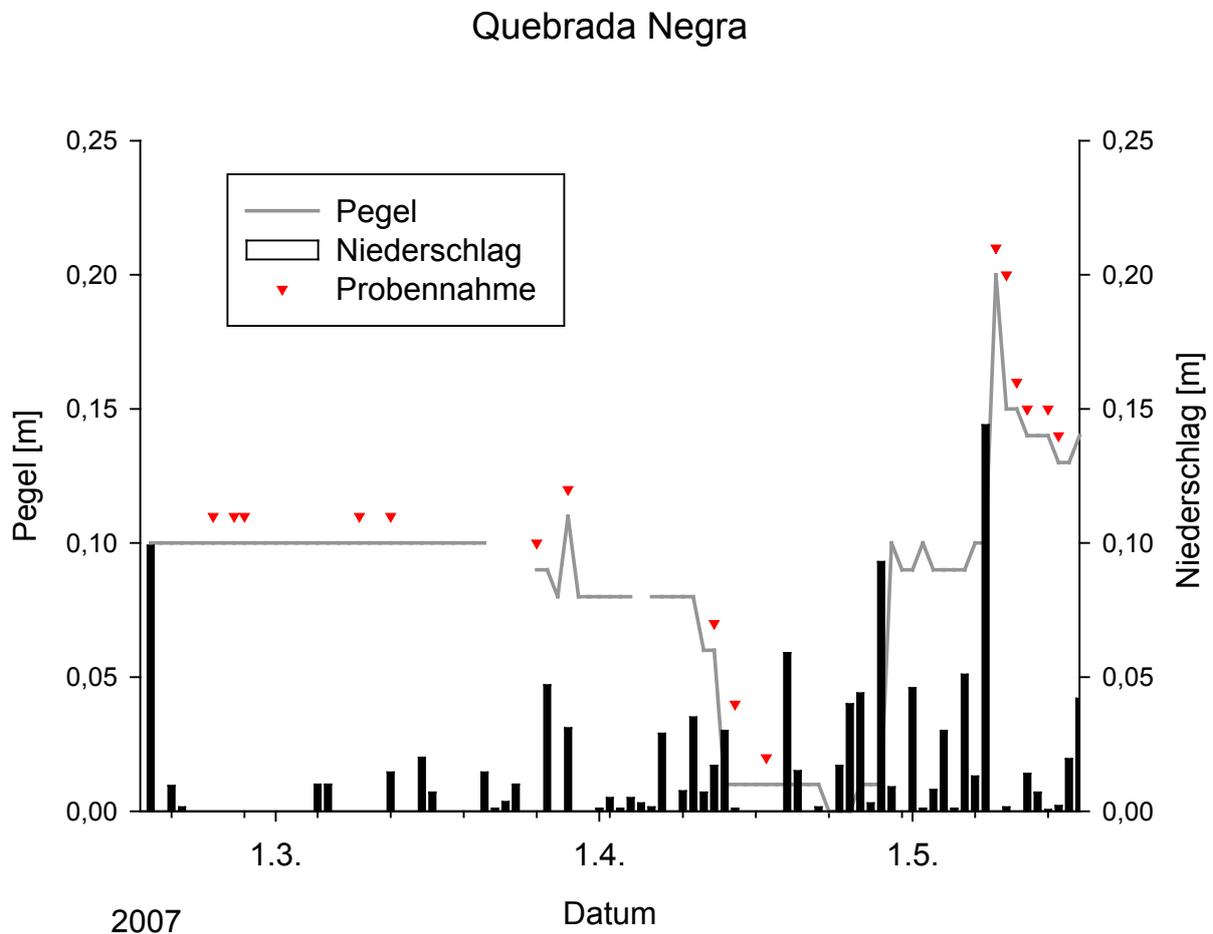


Abb. 3.10 Niederschlagsmenge und den Pegelgang Quebrada Negra

Rio Bonito

In der Abb. 3.11 ist die Niederschlagsmenge bei der Ranger Station und der Pegelgang bei der Probenentnahmestelle „Mundo“ dargestellt. Die Ranger Station befindet sich am Quebrada Nicuesa, der kurz nach der Station in den Rio Bonito mündet. Es ist deutlich zu erkennen, dass mit zunehmender Niederschlagshäufigkeit der Pegel ansteigt.

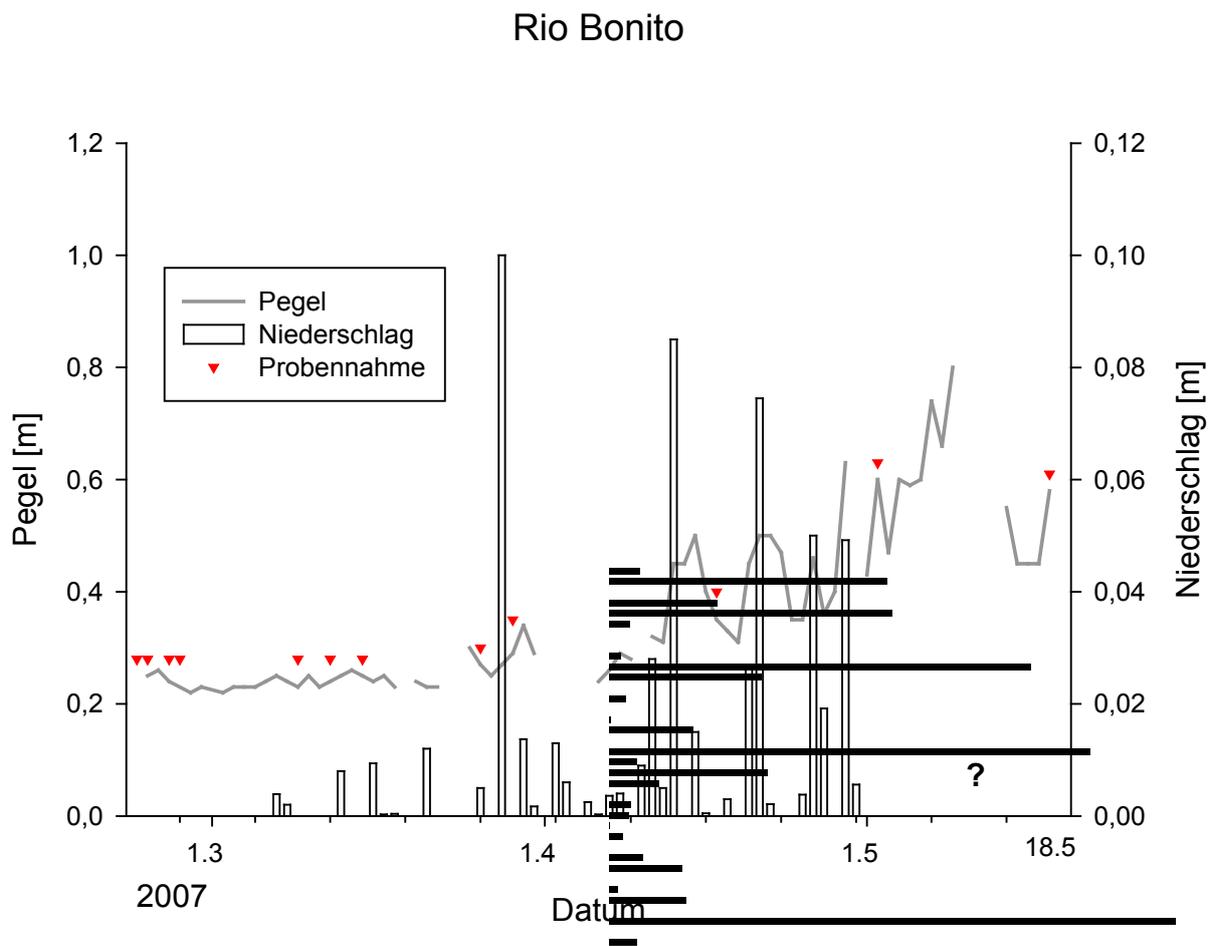


Abb. 3.11 Niederschlagsmenge und den Pegelgang Rio Bonito

Nährstoffchemische Parameter

Chemie im Längsverlauf und im Jahreszeitlichen Verlauf

Im Folgenden werden die Phosphorfraktionen, Silizium und Stickstofffraktionen für den Rio Esquinas, Quebrada Gamba, Rio Bonito und Quebrada Negra im Längsverlauf dargestellt. In Grafiken für den Rio Esquinas und Q. Gamba sind die Daten für die Regen- und Trockenzeit angeführt. Beim Standort des Rio Oro ist nur die Ergebnisse von einem Standort im zeitlicher Verlauf dargestellt.

Rio Esquinas

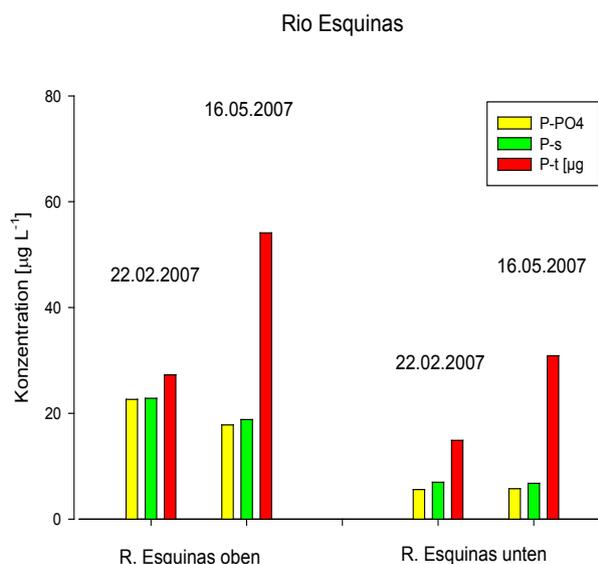


Abb. 3.12 Phosphorfraktionen des Rio Esquinas

An beiden Probenentnahmestellen ist ein deutlicher Abfall sämtlicher Phosphorfraktionen, Sowohl in der Trockenzeit als auch zu Beginn der Regenzeit, im Längsverlauf zu erkennen (Abb. 3.12). Im zeitlichen Verlauf fällt auf, dass sich die gelösten Anteile, totaler gelöster Phosphor und gelöster reaktiver Phosphor, im Vergleich zum Totalphosphor nur wenig ändern. Bei den Messwerten des

Totalphosphors zeigt sich, dass sich die Werte im jahreszeitlichen Verlauf stark ändern. Dies deutet darauf hin, dass die leichter verfügbaren, gelösten Anteile im terrestrischen System zurückgehalten werden.

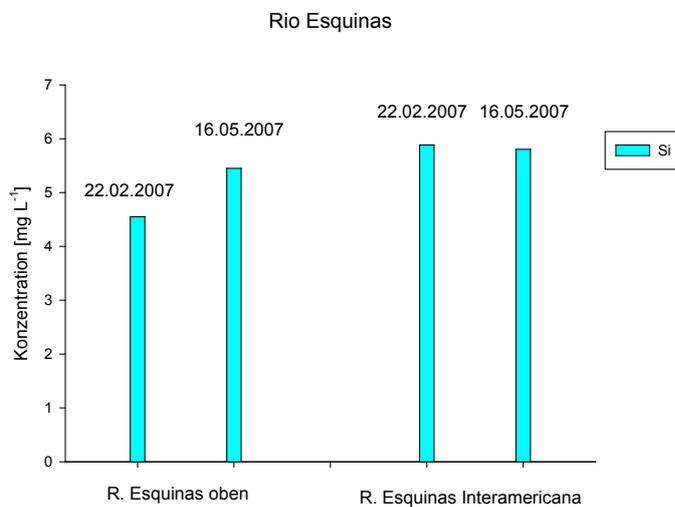


Abb. 3.13 Silizium des Rio Esquinas

Die Siliziumkonzentrationen steigen sowohl in der Trockenzeit als auch zu Beginn der Regenzeit, im Längsverlauf an, wobei der Unterschied zu Beginn der Regenzeit nicht so deutlich ausfällt wie in der Trockenzeit. Im saisonalen Verlauf steigt der Siliziumgehalt an der oberen Messstelle von 4,6 auf 5,4 mgL⁻¹ an. Im mittleren Bereich des Rio Esquinas, bei der „Interamericana“, sinkt der Siliziumgehalt von der Trockenzeit im Vergleich zum Beginn Regenzeit von 5,89 auf 5,8 mgL⁻¹ ab (Abb. 3.13).

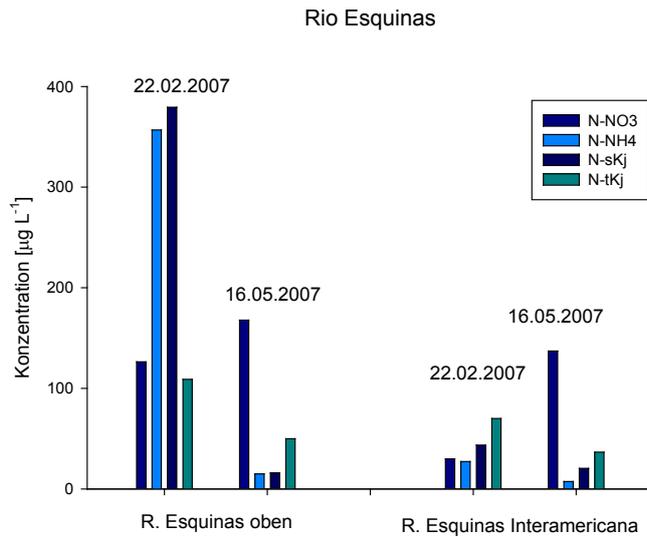


Abb. 3.14 Stickstofffraktionen des Rio Esquinas

Beim Rio Esquinas ist eine Abnahme der Nitratkonzentrationen (N-NO₃) im Längsverlauf zu beobachten (Abb. 3.14). Jedoch ist ein deutlicher Anstieg in den Konzentrationen von N-NO₃ im jahreszeitlichen Verlauf zu erkennen.

Quebrada Gamba

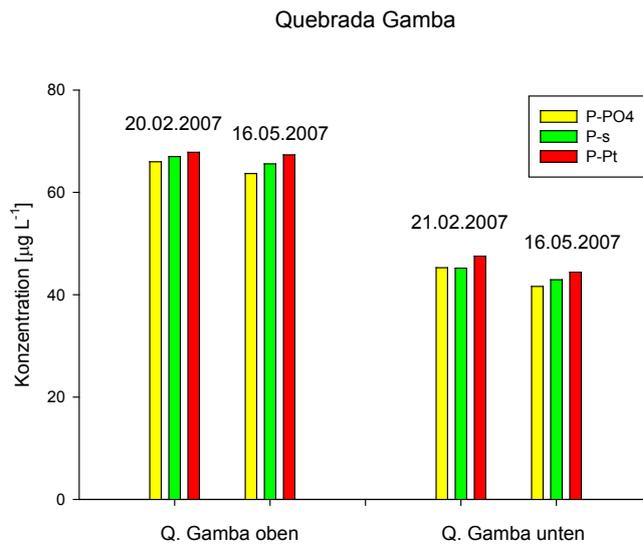


Abb. 3.15 Phosphorfraktionen des Quebrada Gamba

Im Längsverlauf des Quebrada Gamba ist sowohl in der Trockenzeit als auch in der Regenzeit, eine eindeutige Abnahme der Phosphorkonzentrationen zu erkennen. An den einzelnen Standorten ist jedoch kaum ein Unterschied zwischen Trocken- und Regenzeit zu erkennen (siehe Abb. 3.15).

Wie schon bei den Phosphorkonzentrationen, ist auch bei den Siliziumkonzentrationen nur ein Unterschied im Längsverlauf zu erkennen. In der Saisonalität sind kaum Unterschiede in den Konzentrationen des Siliziums zu beobachten (Abb. 3.16).

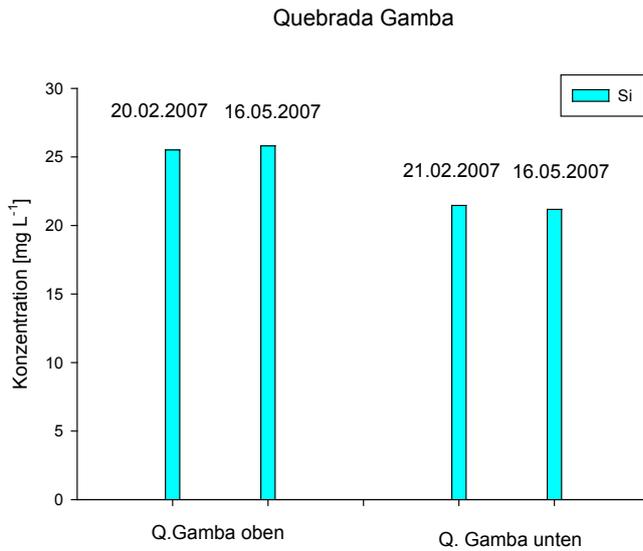


Abb. 3.16 Silizium des Quebrada Gamba

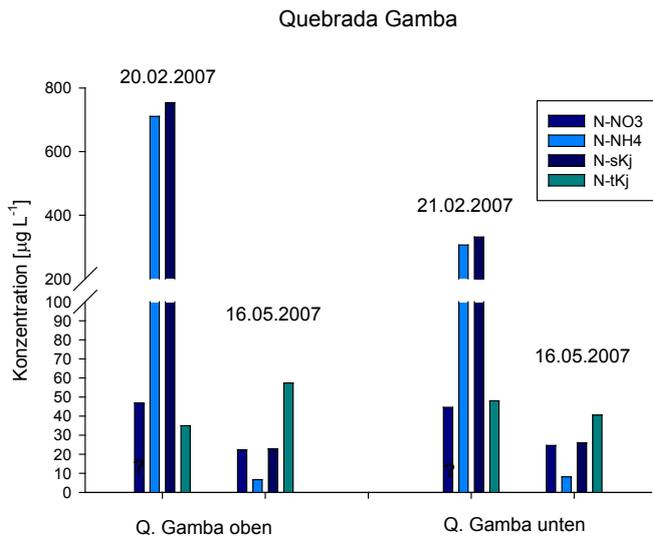


Abb. 3.17 Stickstofffraktionen des Quebrada Gamba

Bei den Nitratkonzentrationen (N-NO₃) sind, im Gegensatz zu den Phosphor- und Siliziumwerten, kaum Unterschiede im Längsverlauf zu beobachten. Hier ist eine merkliche Abnahme der N-NO₃ Konzentrationen in der Regenzeit zu beobachten (Abb. 3.17).

Rio Oro

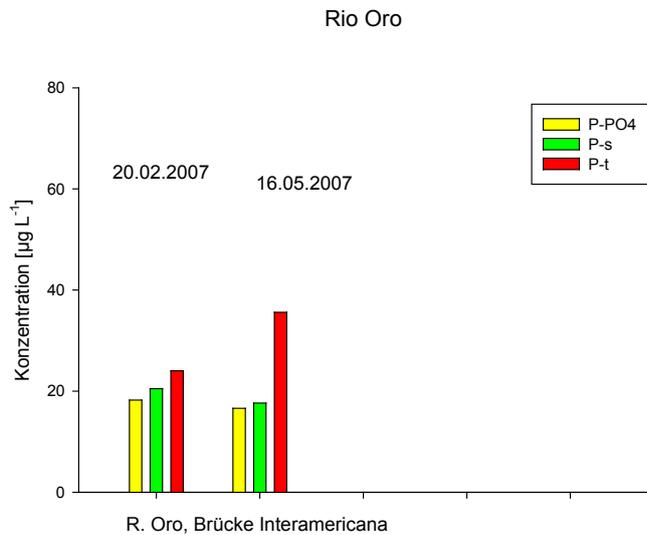


Abb. 3.18 Phosphorfractionen des Rio Oro im Jahresgang

Für den Rio Oro sind nur Daten für den zeitlichen Unterschied vorhanden. In der Abbildung 3.18 ist zu erkennen, dass der Totalphosphor zu Beginn der Regenzeit ansteigt, die gelösten Anteile wie gelöster Totalphosphor und der gelöster reaktive Phosphor hingegen in der Regenzeit abnehmen.

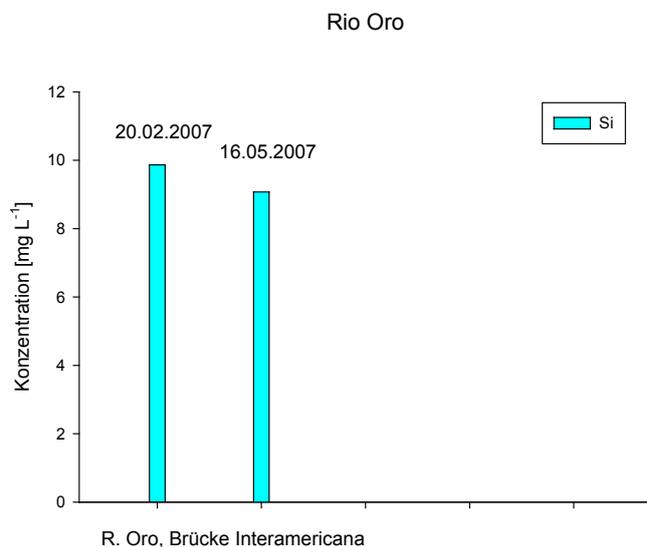


Abb. 3.19 Siliziumkonzentrationen des Rio Oro im Jahresgang

Die Siliziumkonzentration nimmt im jahreszeitlichen Verlauf unwesentlich ab (Abb. 3.19).

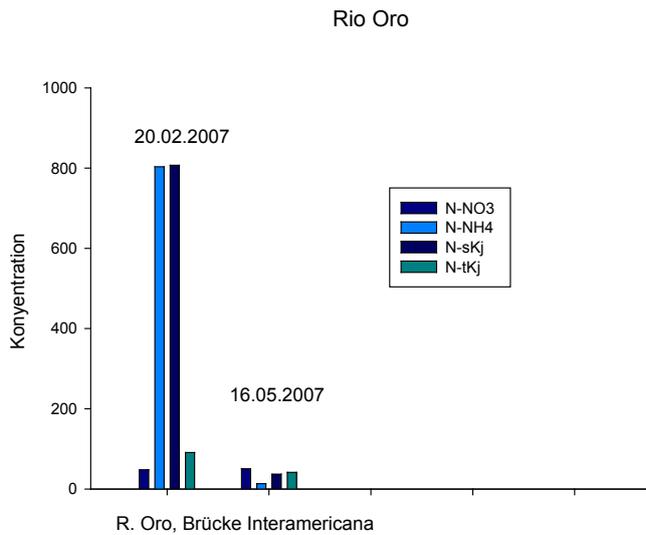


Abb. 3.20 Stickstoffkonzentrationen des Rio Oro im Jahresgang

Abbildung 3.20 zeigt, dass die Nitratkonzentrationen kaum Unterschiede zwischen Trockenzeit und Regenzeit aufweisen.

Rio Bonito

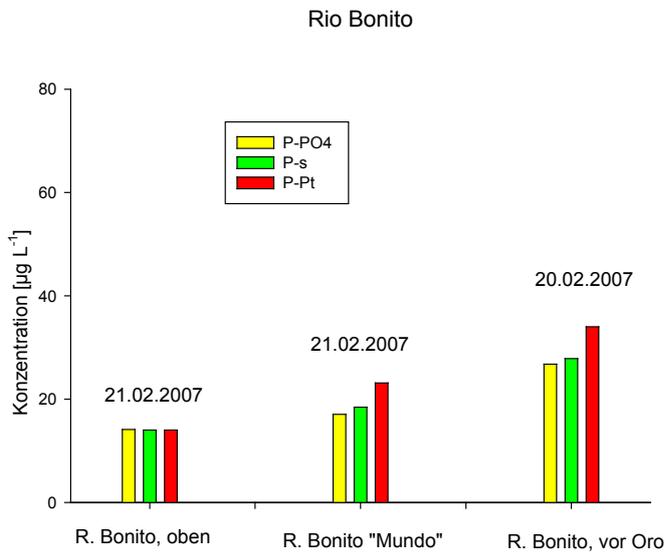


Abb. 3.21 Phosphorfraktionen im Längsverlauf des Rio Bonito

Beim Rio Bonito ist ein deutlicher Anstieg aller Phosphorfraktionen im Längsverlauf zu erkennen (Abb. 3.21). Interessant ist die Beobachtung beim Standort Rio Bonito „oben“, dass der Phosphor nur in Form von Orthophosphat P-PO₄ vorhanden ist. Erst im Längsverlauf kommen die nicht frei verfügbaren Phosphatanteile hinzu.

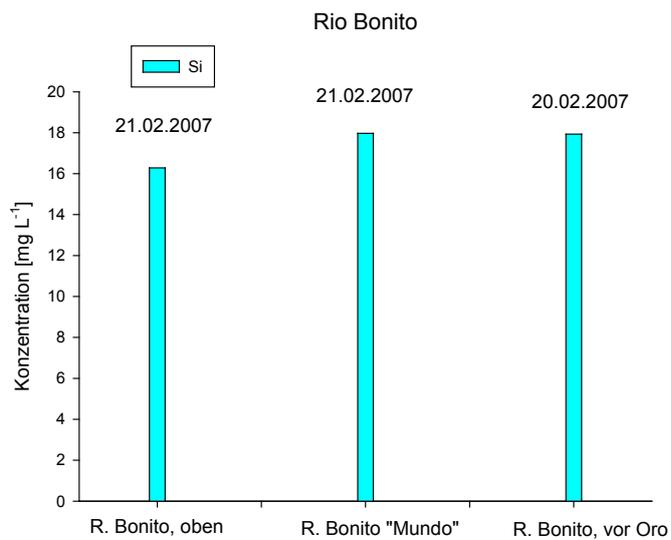


Abb. 3.22 Siliziumkonzentrationen im Längsverlauf des Rio Bonito

Die Silizium-Konzentrationen steigen zu Beginn im Längsverlauf des Rio Bonito, in späteren Verlauf bleiben die Konzentrationen nahezu gleich (Abb. 3.22).

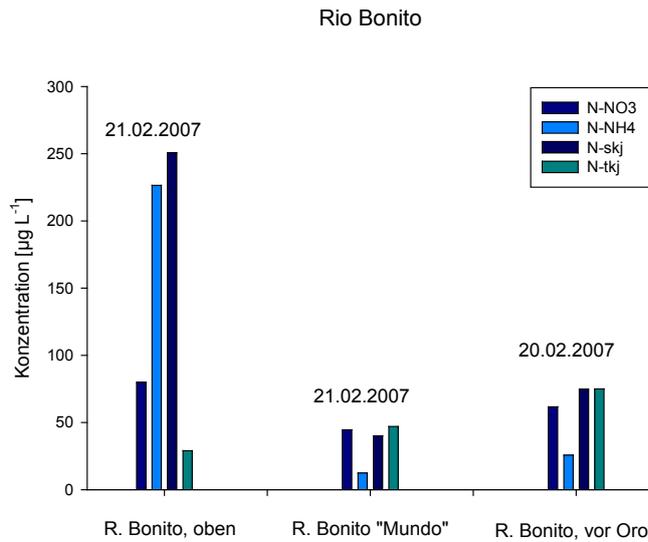


Abb. 3.23 Stickstoffkonzentrationen im Längsverlauf des Rio Bonito

Bei den Nitratkonzentrationen (Abb. 3.23) des Rio Bonito zeigen eine Abnahme der Verfügbarkeit von Nitrat im mittleren Bereich die Flusses und einen erneuten Anstieg von Nitrat im weiteren Längsverlauf.

Quebrada Negra

Der Quebrada Negra besitzt einen diffusen Quellbereich. Da es zur Zeit der Probenentnahme regnete, war keine definierbare Quelle auszumachen. Die in den Grafiken angeführte „Quelle“ ist eher ein oberflächlicher Abfluss. Erst ab der, als „Quellbereich“ angeführten Probenentnahmestelle, war ein Bachverlauf zu erkennen.

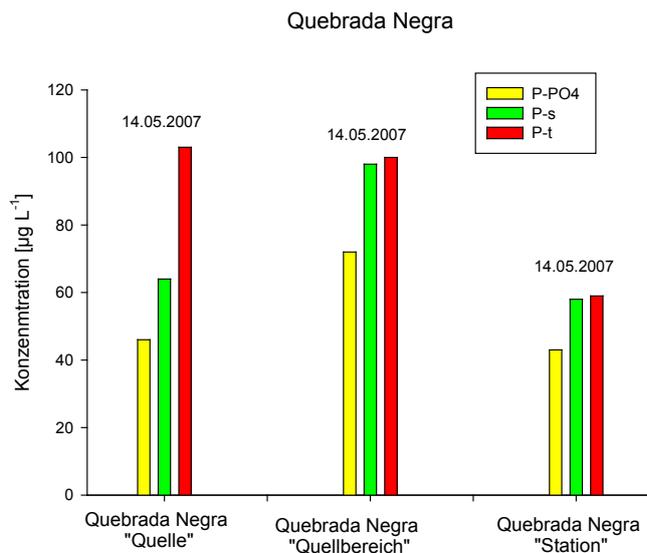


Abb. 3.24 Phosphorfractionen des Quebrada Negra im Längsverlauf

An der Probenstelle, die in Abbildung 3.24 als „Quelle“ des Q. Negra bezeichnet wird, zeigt sich ein deutlicher Unterschied in den einzelnen Phosphorkonzentrationen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die gelösten Anteile P-s und P-PO₄ weniger verfügbar sind und ein Großteil partikulären Ursprungs ist. Im weiteren Längsverlauf sinken die Konzentrationen aller Phosphatfraktionen des Q. Negra (Abb. 3.24).

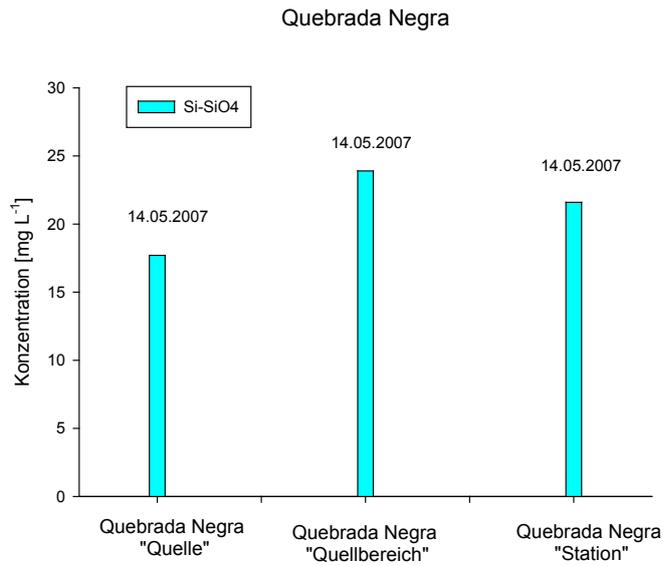


Abb. 3.25 Siliziumkonzentrationen des Quebrada Negra im Längsverlauf

Bei der Silizium-Konzentration verhält es sich wie bei den Phosphor-Konzentrationen, es ist eine Abnahme der Silizium-Konzentrationen im Längsverlauf zu beobachten (Abb. 3.25).

Kurzfristiges Starkregenereignis

Für den Standort Quebrada Negra „Station“ wurde am 12.04.2007 ein Starkregenereignis aufgezeichnet. Ziel dieser Datenerhebung war es, die Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Abfluss und den dazugehörigen Nährstoffen zu erfassen und auszuwerten. Es erfolgte eine Aufzeichnung von Niederschlag und Pegelstand. Zu den erhobenen Pegelständen erfolgten gleichzeitig Strömungsmessungen. Die im Zuge der Strömungsmessung entnommenen Wasserproben wurden im Anschluss ausgewertet, um sie mit den Abfluss- und Niederschlagsdaten in Zusammenhang zu bringen.

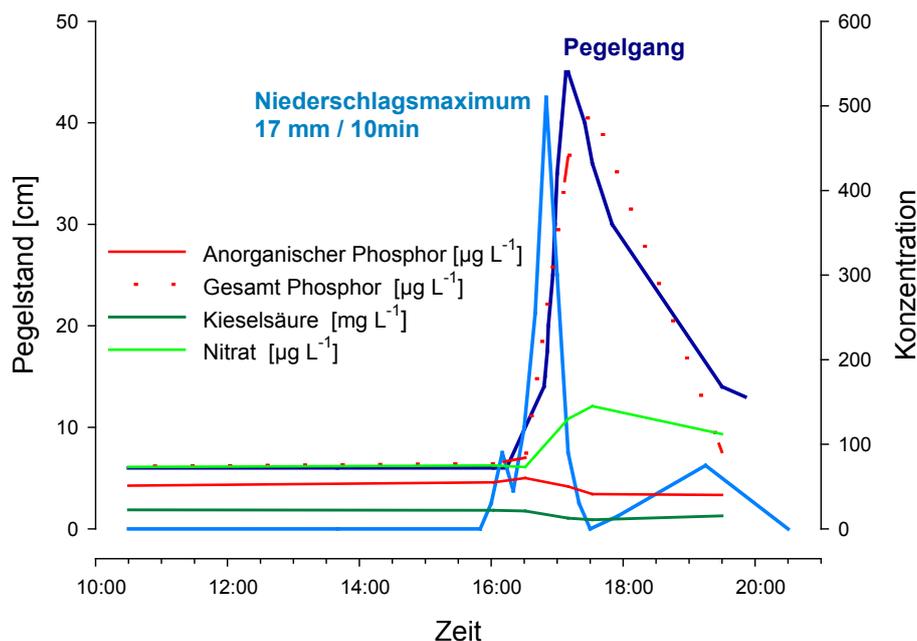


Abb. 3.26 Niederschlag, Pegelgang und Nährstoffchemische Parameter während eines Regenereignisses am 12.04.2007.

Die Aufzeichnung des in Abbildung 3.26 dargestellten Regenereignisses, erfolgte an der Probenstelle des Quebradas Negras, bei der Tropenstation La Gamba.

In dem kleinen Einzugsgebiet des Quebrada Negras, reagiert der Abfluss direkt auf den starken Niederschlag. Der Pegel erreicht sein Maximum ca. 30 min nach dem Niederschlagsmaximum.

Gesamtphosphor und Nitrat weisen eine positive Korrelation zum Abfluss auf. Der anorganische Phosphor und die Kieselsäure sinken mit steigendem Abfluss.

4. Diskussion

Die Ergebnisse der geochemischen Untersuchungen der Bäche des Rio Esquinas Einzugsgebietes zeigen eine sehr klare gebietsmäßige Differenzierung, die der komplexen Geologie des Gebietes entspricht (MALZER & FIEBIG, 2008, siehe Untersuchungsstandorte und Methoden).

Abbildung 4.1 zeigt das Ergebnis der Clusteranalyse der hydrochemischen Daten der verschiedenen Standorte (WARD 1963). Für die Cluster-Analyse wurden 39 Proben von 17 Stellen verwendet. In der Analyse wurden Werte sowohl von der Trockenzeit als auch der Regenzeit verwendet.

Die Analyse ergibt eine eindeutige Gliederung in drei Cluster, die einer klaren geographischen Gliederung entsprechen und die unterschiedliche Geologie der Teileinzugsgebiete widerspiegeln.

Das Muster ist sehr konstant im saisonalen Verlauf. Es zeigt sich deutlich, dass die geologischen Einflüsse signifikant stärker wirken als die saisonalen hydrologischen Veränderungen

Dendrogram using Ward Method

Rescaled Distance Cluster Combine

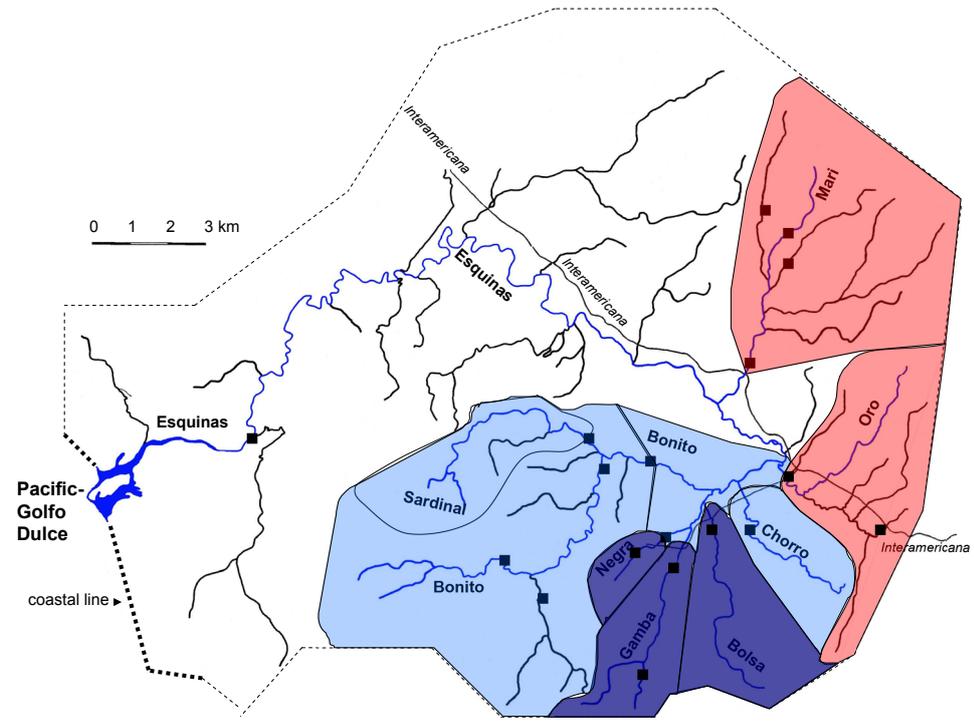
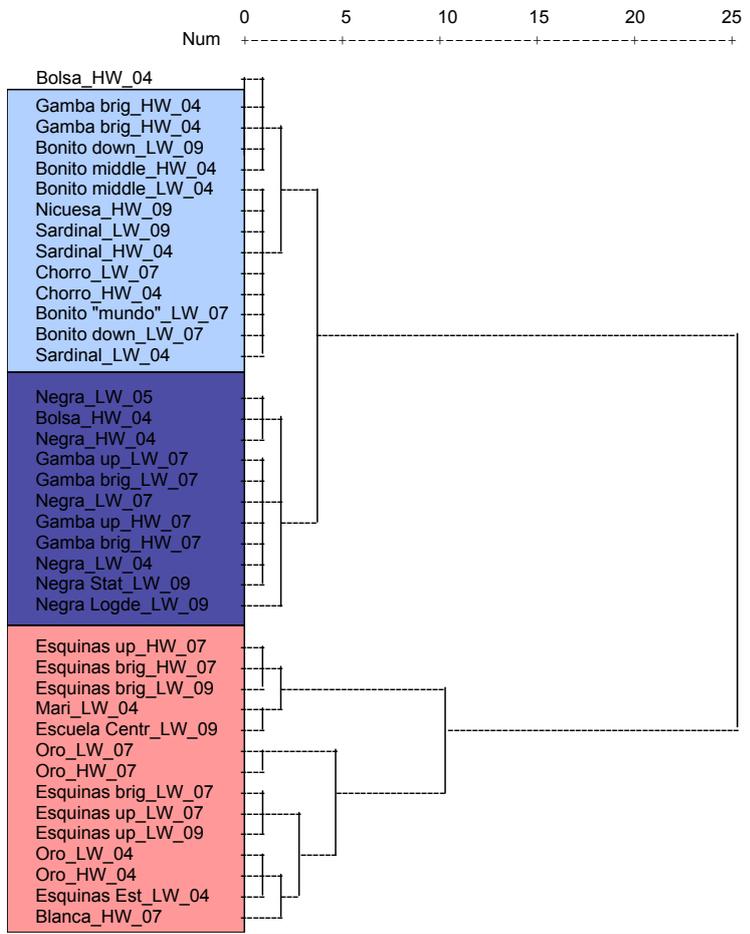


Abb. 4.1 Dendogramm (Ward-Verfahren) und Clusterdiagramm (WARD 1963).

Für die nährstoffchemischen Bedingungen in den Gewässern sind die Verhältnisse deutlich komplexer. Neben der Geologie des Einzugsgebietes ist hier der deutliche Einfluss mikrobiologischer Prozesse in den Böden von Bedeutung.

Die geochemischen Cluster kommen auch in den durchschnittlichen Nährstoffverhältnissen zum Ausdruck.

Cluster A (hellblau) sind Gewässer mit "weichem Wasser" und einer niedrigen elektrischen Leitfähigkeit zwischen 120 und 200 μS . Diese Bäche weisen die geringste Ionen-Konzentration auf. Sie entspringen dem zentralen Bereich des Piedras Blancas National Parks. Dieses Gebiet entspricht dem Rincon Block, der hauptsächlich aus marinem Basalt besteht. Stellvertretend für diese Gewässer kann der Quebrada Sardinal und der Rio Bonito angeführt werden.

Cluster B (dunkelblau) sind Gewässer mit mittlerer Härte und mittlerer elektrischer Leitfähigkeit, die dem benachbarten Golfito Terrain entspringen. Dieser besteht aus pelagischen Tiefsee-Karbonaten und vulkanoklastischem Gestein. Q. Negra, Q. Bolsa und Q. Gamba, alle drei in der unmittelbaren Nähe der Biologischen Station, weisen solche intermediäre Werte auf.

Cluster C (rot) sind Bäche und Flüsse, die östlich der „Interamericana“ an den steilen Hängen der Fila Costeña entspringen. Diese Gewässer sind merklich reicher an Elektrolyten, mit einer Leitfähigkeit zwischen 300 und 400 μS . Als Beispiele könne R. Esquinas, R. Oro und Q. Blanca angeführt werden.

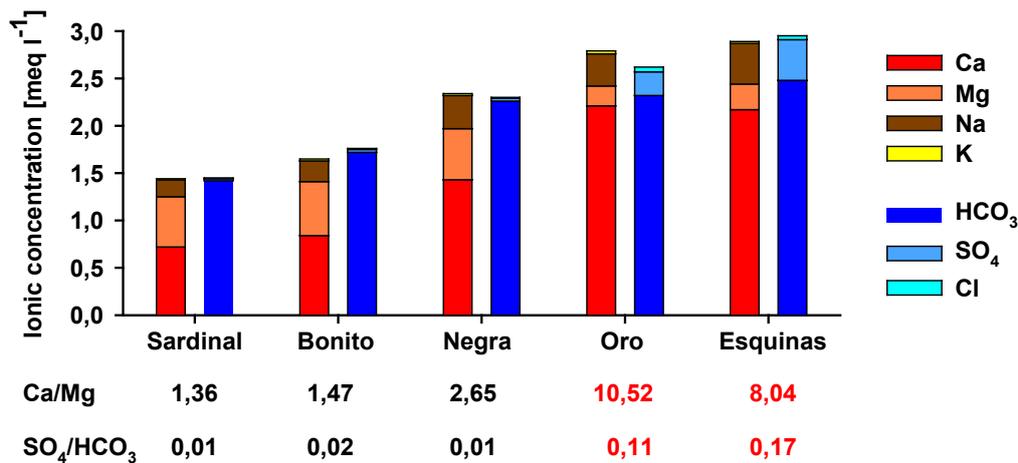


Abb. 4.2 Makro-Ionen Zusammensetzung von fünf repräsentativen Flüssen in meq L⁻¹.

Angegeben sind die Calcium/Magnesium (Ca/Mg) bzw. Sulfat/Hydrogencarbonat (SO₄/HCO₃) Relationen (SCHIEMER et al.2010).

Das Histogramm (Abb. 4.2) zeigt die Summe der Kationen gegenüber der Summe der Anionen. Die Kationen bzw. Anionen in Milliequivalent pro Liter (meq L⁻¹), wird durch die Höhe der Säulen ausgedrückt.

Alle Flüsse der Region weisen eine Calcium-Hydrogencarbonat Dominanz auf, während Natrium-Chlorid, als Indikator für atmosphärischen Transport und Niederschlag, eine geringe Rolle spielt. Andererseits sind deutliche Unterschiede in der Ionenzusammensetzung gegeben.

Das oben angeführte geografische Muster (siehe Clusterdiagramm, Abb. 4.1), besteht nicht nur im Hinblick auf die Ionengesamtkonzentration. Es kommt auch klar in der Makroionen-Zusammensetzung, z.B. in dem Verhältnis der Erdalkali-Ionen Ca²⁺/Mg²⁺ zum Ausdruck: In den elektrolytärmeren Gewässern des Zentralbereiches des Nationalparks ist das Ca²⁺/Mg²⁺ Verhältnis vergleichsweise ausgeglichen. Im Vergleich dazu sind in den elektrolytreichen Gewässern, die der Fila Costeña entspringen, die Calciumwerte deutlich höher.

Ein ähnliches Muster gilt für die Anionenrelationen (in Abb. 4.2) ausgedrückt als Verhältniszahl von Sulfat/Hydrogencarbonat. In den elektrolytreicheren Gewässern sind die Sulfatproportionen unter den Anionen deutlich höher (siehe SCHIEMER et al. 2010)

Setzt man die Ionenkonzentrationen der „wet phase“ (Regenzeit) den Ionenkonzentrationen der „dry phase“ (Trockenzeit) gegenüber, wird ersichtlich, dass sich die Ionenkonzentrationen und Ionenzusammensetzung saisonal sehr wenig verändern (Abb. 4.3). Nur in den Bächen, die aus der Fila Costeña entspringen und die durch höhere Ionenkonzentrationen gekennzeichnet sind, liegen die Konzentrationen während der Regenzeit etwas tiefer, d.h. es ist hier ein gewisser Verdünnungseffekt feststellbar. Insgesamt sind die Werte gegenüber dem Gesamtabfluss robust.

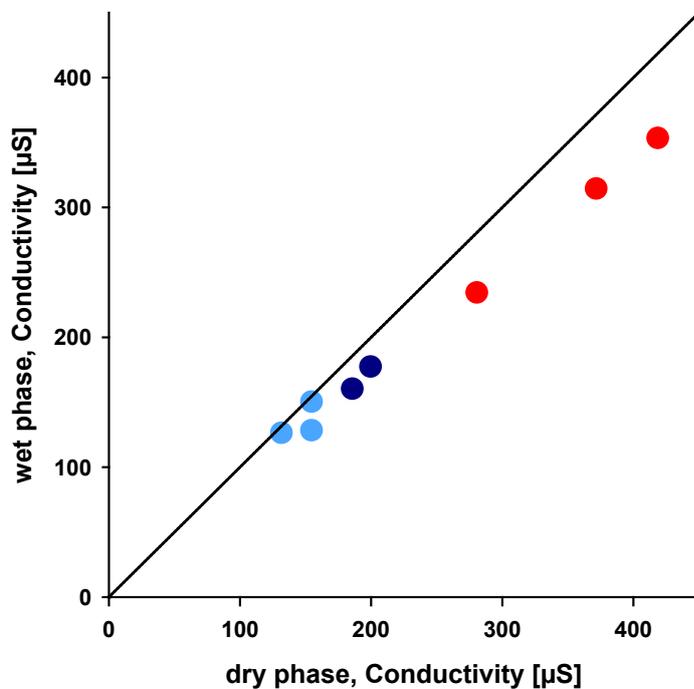


Abb. 4.3 Ionenkonzentrationen der drei Cluster, während der Trockenzeit (dry phase) und der Regenzeit (wet phase).

Setzt man die Ionenrelationen in das Schema von GIBBS (1970) ein, der die geochemische Situation von Gewässern in einem globalen Vergleich an Hand der zwei Achsenparameter $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ -Relation einerseits und die Gesamtkonzentration

und gelösten Salzen andererseits vergleicht, so zeigt sich ganz klar, dass alle Gewässer des Esquinas-Einzugsgebietes trotz der hohen Jahresniederschlagssumme durch eine „bedrock dominance“ gekennzeichnet sind, d.h. von dem „weathering“, der Verwitterung des Gesteins, der dominante Prozess ist, der durch die geologischen Rahmenbedingungen gesteuert wird.

In Abbildung 4.4 sind als rote Sternchen die chemischen Signaturen der Gewässer des La Gamba Gebietes eingetragen. Dieser Vergleich zeigt deutlich die „Bedrock Dominance“ der Gewässer des La Gamba-Gebietes.

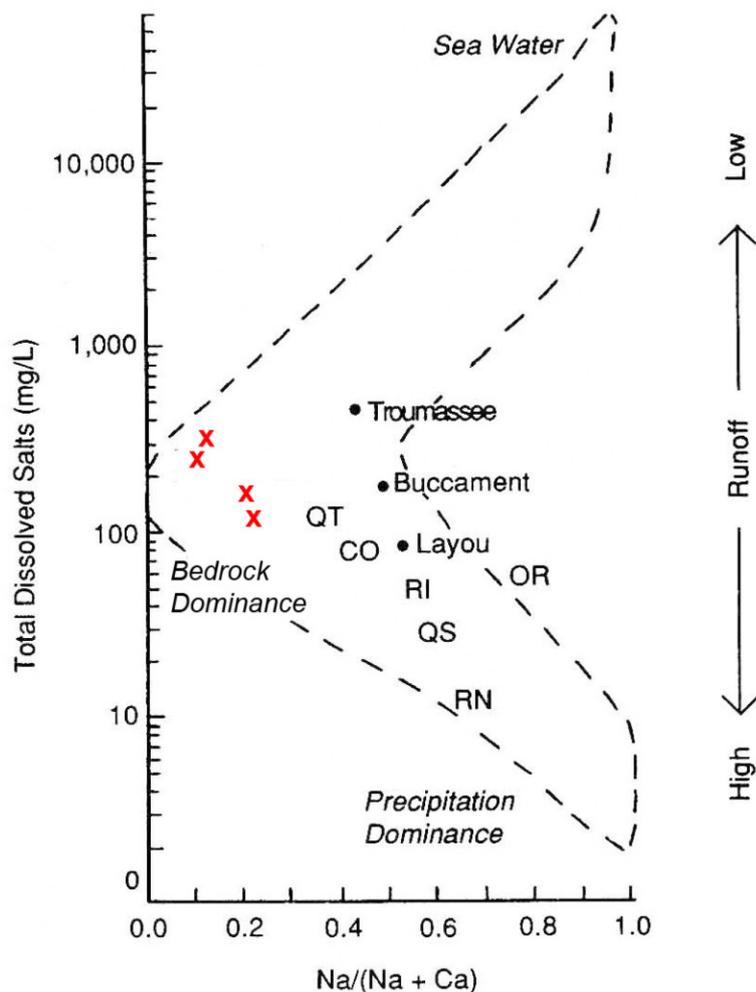


Abb. 4.4 Schema nach GIBBS (1970): weltweite geologische Differenzierung

Die Gewässer der drei unterschiedenen Cluster weisen neben der geochemischen Differenzierung deutliche Unterschiede in den Konzentrationen von Pflanzennährstoffen, Phosphor, Stickstoff und Silizium (für Diatomeen) auf.

Die durchschnittlichen Werte sind in der Tabelle 4.1 dargestellt.

Tabelle 4.1 Durchschnittliche Nährstoffkonzentration im Rio Esquinas Fluss-System; angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen

| Cluster | P-PO ₄ [µg l ⁻¹] | N-NO ₃ [µg l ⁻¹] | Si-SiO ₄ [mg l ⁻¹] |
|---------|---|---|---|
| A | 27,8 +/- 19,4 | 55,5 +/- 42,0 | 21,8 +/- 3,5 |
| B | 48,3 +/- 10,2 | 76,2 +/- 50,2 | 22,8 +/- 3,7 |
| C | 11,8 +/- 10,3 | 135,6 +/- 73,8 | 8,5 +/- 6,1 |

Cluster A: Die Oberläufe des Rincon Block: Q. Sardinal und R. Bonito haben niedrige Orthophosphat-Konzentrationen (8-16 µg L⁻¹ P-PO₄), mittlere Nitrat-Levels (67-83 µg L⁻¹ N-NO₃) und Siliziumwerte um 20 mg L⁻¹.

Cluster B: Die Gewässer des Golfito Terrais: Q. Negra, Q. Bolsa und Q. Gamba weisen höhere Orthophosphat-Konzentrationen (44-66 µg L⁻¹ P-PO₄), variable Nitrat-Konzentrationen (20-122 µg L⁻¹ N-NO₃) und Silizium-Konzentrationen über 20 mg L⁻¹ auf.

Cluster C: Die Oberläufe der Fila Costeña: R. Esquinas, R. Oro und Q. Blanca haben sehr niedrige Orthophosphat-Konzentrationen (3-7 µg L⁻¹ P-PO₄), hohe Nitrat-Konzentrationen (143-166 µg L⁻¹ N-NO₃) und geringe Silizium-Konzentrationen unter 10 mg L⁻¹.

Im Gegensatz zu den geochemischen Parametern weisen die nährstoffchemischen Daten deutliche saisonale Veränderungen im Zusammenhang mit der unterschiedlichen Wasserführung auf. Das saisonal aufgesammelte Datenmaterial ist unzureichend um die Trends eindeutig dokumentieren zu können, die Ergebnisse geben jedoch einige sehr interessante Hinweise auf mögliche Retentionsprozesse in den Böden der Einzugsgebiete.

„Im ungestörten tropischen Regenwald zeigt sich, trotz hoher Änderung im Abfluss, nur ein geringer saisonaler Unterschied in den Konzentrationen von Stickstoff und Phosphor. In diesen alten Ökosystemen werden die saisonalen Nährstoffverluste stark gepuffert“ (LEWIS 1986).

Abbildung 4.5 zeigt die Beziehung zwischen Phosphor- und Stickstoffverfügbarkeit. Die Linie stellt das Massen-Verhältnis dar, das für das Algenwachstum optimal ist. „Bezogen auf das Gewicht der Elemente beträgt das sogenannte Redfield Verhältnis 42 C : 7 N : 1 P“ (DOKULIL 2001).

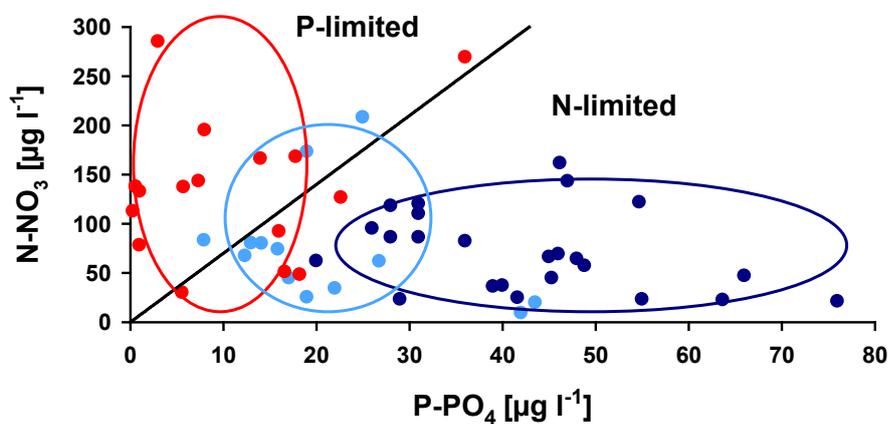


Abb. 4.5 Unterschiede in den Nährstoffverhältnissen der verschiedenen Teileinzugsgebiete bezogen auf das Redfield Verhältnis

Die geochemischen Cluster kommen auch in den durchschnittlichen Nährstoffverhältnissen zum Ausdruck. Cluster A und B - Gewässer, die dem Rincon Block und dem Golfito Terrain entspringen, weisen relativ hohe Phosphorkonzentrationen und in Relation geringe Nitratkonzentrationen auf (Abb. 4.5). Vergleicht man diese Werte mit der „Redfield Ratio“, der Stöchiometrie des Nährstoffbedarfes von Algen (REDFIELD 1958, REDFIELD *et al.* 1963, DOKULIL 2001), so zeigt sich eindeutig, dass die Gewässer dieser Gebiete (und wohl auch die Vegetation des Einzugsgebietes) N-limitiert sind, bzw. der Stickstoff den kritischen Nährstoff darstellt. Für diese Gewässer liegen die Nitratwerte in der Regenzeit (wet phase, Mai bis November) unterhalb jener der Trockenzeit (dry phase,

Dezember bis April). Das kann als Hinweis gewertet werden, dass in den Böden der einzelnen Teileinzugsgebiete unterschiedlich starke, wohl biologische Nährstoffretentionsmechanismen, zum Tragen kommen. Sie weisen auch darauf hin, dass Einzugsgebiete, die eine Tendenz zur Nitrat-insuffizienz aufweisen, effizienter und retentiver mit dem Stickstoff haushalten, als Einzugsgebiete mit Phosphat-insuffizienz.

Cluster C – Gewässer, welche der Fila Costeña entspringen, weisen hohe Nitratwerte und geringe Phosphorwerte auf und zeigen somit Phosphat-insuffizienz. Vergleicht man die Nitratwerte der Bäche während der Trockenphase mit jenen der Regenzeit so zeigt sich, dass Bächen, die der Fila Costeña entspringen und welche insgesamt durch höhere Nitratkonzentrationen gekennzeichnet sind, die Nitratwerte der Regenzeit deutlich höher liegen, d.h. dass eine erhöhte Nährstoffauswaschung erfolgt (Abb. 4.6).

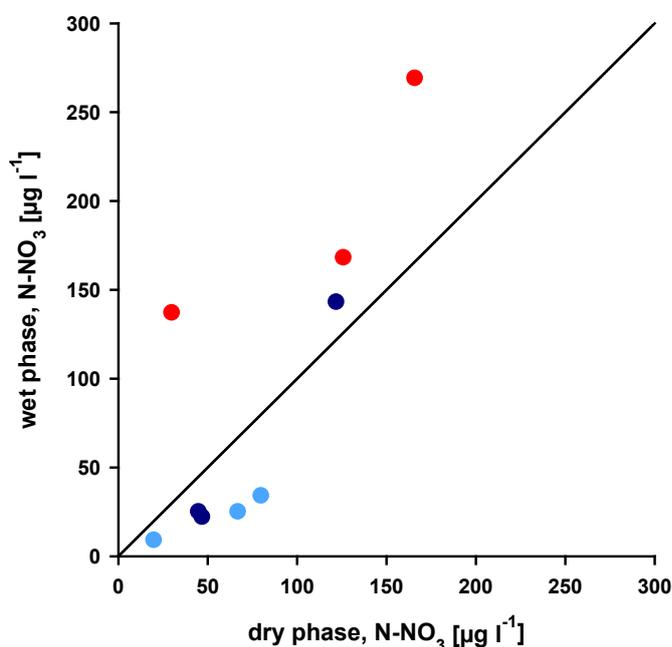


Abb. 4.6 Vergleich Nitratwerte während der Trockenzeit (dry phase) und Regenzeit (wet phase)

Kurzfristiges Starkregenereignis

Die Konzentrationen zeigen ein interessantes Verhalten. Ein starkes Ansteigen des Totalphosphors („Anorganischer Phosphor“, TP) ist zu beobachten, welches aus dem Materialexport aus dem Einzugsgebiet resultiert. Der hohe Gehalt an Totalphosphor ist auf die starke oberflächliche Abschwemmung zurückzuführen. Durch den raschen Abfluss, hat das Niederschlagswasser eine kurze Verweilzeit im Boden. Die Nährstoffe totaler gelöster Phosphor („Gesamt Phosphor“ TDP) und Silizium („Kieselsäure“) sinken während des hohen Abflusses, was auf einen Verdünnungseffekt hindeutet. Das Nitrat hingegen wird stärker ausgewaschen. Das deutet darauf hin, dass das Nitrat im Interstitialraum höher verfügbar ist.

Diese Befunde legen ein spannendes Forschungsfeld nahe, nämlich die Erforschung der saisonalen Nährstoff-Frachten im Zusammenhang mit den chemophysikalischen und biologischen Retentionsmechanismen der Böden in Einzugsgebieten mit unterschiedlicher Nährstoffverfügbarkeit.

5. Literatur

- ANCHUKATIS K. & S. HORN (2005). A 2000 year reconstruction of forest disturbance from southern Costa Rica. - *Revista Geologica de America Central* 30: 83-99.
- BEHLING H. (2000). A 2860-year high-resolution pollen and charcoal record from the Cordillera de Talamanca in Panama: a history of human and volcanic disturbance. - *The Holocene* 10 (3): 387-393
- BERRANGE J. & R. THORPE (1998): The geology, geochemistry and emplacement of the Cretaceous Tertiary ophiolitic Nicoya complex of the Osa Peninsula. - *Tectonophysics* 147: 193-220.
- DAVIDSON, E. A., NEILL, C., KRUSCHE, A. V., BALLESTER, V. V., MARKEWITZ, D., & FIGUEIREDO, R. D. O. (2004). Loss of nutrients from terrestrial ecosystems to streams and the atmosphere following land use change in Amazonia. *Ecosystems and land use change*, 147-158.
- DE LA ROSA, C. (1995). Middle America streams and rivers. *Ecosystems of the World* 22 - River and stream ecosystems (7), 189-218
- DOKULIL M. (2001). *Physikalische und chemische Umwelt.- Ökologie und Schutz von Seen*, 47-67
- DUDGEON D. (2008). *Tropical Stream Ecology*
- GIBBS, R. J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. - *Science*, 170(3962), 1088-1090.
- GUSENLEITNER M. (2005). *Chemische und anatomische Untersuchung zum Laubbau in den tropischen Bachökosystem, Quebrada Negra, Costa Rica, an den Arten Apeiba Tibourbou, Luehea seemannii, Sloanea medusula und Virola koschnyi.* Diplomarbeit, Universität Wien
- HUBER W. & WEISSENHOFER A. (2010). *Geography, geology, climate and biodiversity.- „Stream ecosystems of Costa Rica“*, 29-36
- HUBER W. & WEISSENHOFER A. (2010). *Geography, geology, climate and biodiversity.- „Stream ecosystems of Costa Rica“*, 15-22
- JANZEN, D. H. *ET AL.* (1983): *Costa Rican natural history.*-Univ. Chicago Press.
- LEWIS JR, W. M. (1986). Nitrogen and phosphorus runoff losses from a nutrient-poor tropical moist forest. *Ecology*, 1275-1282.
- LEWIS JR, W. M. (2008). *Physikal and Chemical Features of Tropical Flowing Waters.* *Tropical Stream Ecology.* Elsevier Inc. - 1-21

- LODGE, D. J., MCDOWELL, W. H., & McSWINEY, C. P. (1994). The importance of nutrient pulses in tropical forests. *Trends in ecology & evolution*, 9(10), 384-387.
- MALZER O. & FIEBIG M. (2008). Outline of the geology of the Golfo Dulce region (Costa Rica) and its surroundings in Central America. - *Stapfia* 88: 23-30.
- NEWBOLD D.J., SWEENEY W.B., JACKSON K.J., KAPLAN A.L. (1995): Concentrations and export of solutes from six mountain streams in northwestern Costa Rica. *J.N. Am Benthol. Society* **14**(1), 21-37
- PAYNE, A.I. (1986). The ecology of tropical lakes and rivers.
- PICHLER, C. (2006). Habitat choice and trophic ecology of fishes in a neotropical low order river, Costa Rica. Diplomarbeit, Universität Wien
- PRINGLE, C. M., PAABY-HANSEN, P., VAUX, P. D., & GOLDMAN, C. R. (1986). In situ nutrient assays of periphyton growth in a lowland Costa Rican stream. *Hydrobiologia*, 134(3), 207-213.
- REDFIELD A.C. (1958). The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.* 46: 205-222
- REDFIELD A.C., B.H. KETCHUM & F.A. RICHARDS (1963). The influence of organisms on the composition of sea water. In: M.N. Hill (ed.), *The Sea*, Vol. 2: 25-79, Wiley Intersci., New York
- RIEMERTH A. (2005). Chemische und anatomische Untersuchungen zum Laubbau in einem tropischen Bachökosystem, Quebrada Negra, Costa Rica an den Arten *Acalypha diversifolia*, *Cercropia obtusifolia*, *Gutteria chiriquiensis*, *Myriocarpa longipes* und *Tetrathylacium macrophyllum*. Diplomarbeit, Universität Wien
- SCHIEMER F. & TSCHELAUT J. (2010). An introduction to the ecology of tropical streams.-„Stream ecosystems of Costa Rica“, 29-36
- SCHWOERBEL J., BRENDLBERGER H. (2005). Einführung in die Limnologie. - Spektrum
- THOMSON J. (1990): Central America: physikal and humangeography. – *The New Encyclopedia Britannica*, 15: 682-688.
- TRISKA, F. J., PRINGLE, C. M., DUFF, J. H., AVANZINO, R. J., RAMIREZ, A., ARDON, M., & JACKMAN, A. P. (2006). Soluble reactive phosphorus transport and retention in tropical, rainforest streams draining a volcanic and geothermally active landscape in Costa Rica.: Long-term concentration patterns, pore water environment and response to ENSO events. *Biogeochemistry*, 81(2), 131-143.

- TSCHELAUT J., PICHLER C., WEISSENHOFER A. & SCHIEMER F. (2008): THE RIVER NETWORK OF THE PIEDRAS BLANCAS NATIONAL PARK, COSTA RICA. - STAPFIA 78: 441-455.
- TSCHELAUT, J. (2005). Leaf litter decomposition and macroinvertebrates in a neotropical lowland stream, Quebrada Negra, Costa Rica. Diplomarbeit, Universität Wien
- UMAÑA, G., HABERYAN, K. A., & HORN, S. P. (1999). Limnology in Costa Rica. Limnology in developing countries, 2, 33-62.
- WARD, J. H., JR. (1963). "Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function", *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236–244.
- WEBER A., WEISSENHOFER A, HUBER W. (2001) An Introductory Field Guide to the flowering plants of the Golfo Dulce Rainforests Costa Rica
- WEISSENHOFER A., HUBER W., Koukal T. & Immitzer M. (2008). „Vegetation map of the Piedras Blancas National Park and adjacent areas“
- WEISSENHOFER A., HUBER W. & KLINGLER M. (2008). Geography of the Golfo Dulce region. - Stapfia 88: 19-21.
- WEISSENHOFER A., HUBER W., MAYER V., PAMPERL S., WEBER A. & G. AUBRECHT. (2008). Natural and cultural history of the Golfo Dulce region, Costa Rica. - Stapfia 88: 768 pp.

Klimadiagramm der Tropenstation La Gamba

<http://www.lagamba.at/researchdb/pagede/index.php?url=wirueberuns/wirueberuns.htm> (Download: 04.06.3013)

LEBENS LAUF

PERSÖNLICHE DATEN

Nachname: Fordinal
Vorname: Mario
Adresse: Öpping 8, 3443 Öpping, Österreich
Geboren: 23. April 1971 in Waidhofen / Thaya
Staatsbürgerschaft: Österreich

AUSBILDUNG

seit 10.2001 Studium der Biologie - Universität Wien
04.03.2009 Abschluss des 2. Studienabschnittes
Studienzweig Ökologie (Limnologie)
23.02.2006 Abschluss des 1. Studienabschnittes
Biologie, 1. Diplomprüfung
1995 - 1999 HTL Wirtschaftsingenieurwesen
Ausbildungsschwerpunkt Umweltökonomie
mit Matura - TGM Wien
1989 - 1993 Lehre für Elektromechanik und Maschinenbauer
mit Lehrabschlussprüfung - Test-Fuchs (Gr. Siegharts)

PRÄSENZDIENST

1993 - 1994 Liechtenstein-Kaserne (Allensteig)
Präsenzdiener – Ordonnanz

BERUFSERFAHRUNG

| | |
|---------------|---|
| seit 03.2011 | der Gartenpfleger, Mario Fordinal (Öpping) selbständig (Gartenpflege, Baumabtragung) |
| 08. - 12.2010 | Hosemann (Rappoltenkirchen) Gartenarbeiter (Obstbaumschnitt, Baumabtragung) |
| 03. - 07.2009 | Aquatische Ökotoxikologie, Vetmed-UNI (Wien) Wissenschaftlicher Assistent (Vermeidungstest´s) |
| seit 01.2009 | Tauchschule Fordinal (Öpping) Tauchlehrer Ausbildner (Taucherasubildung) |
| 09. - 10.2008 | Profisch OEG (Wien) Feldforschung |
| 07.2006 | Departemente für Limnologie (Wien) Konstrukteur (Auftriebskörper für Sonde) |
| 2004 - 2008 | Stark GmbH (Irnfritz) selbständig auf Werksvertragsbasis |
| seit 2003 | 1. Österreichischer Berufstauchlehrerverband (Zell am See) Referat für Ökologie und Umwelt Stellvertreter |
| 2001 - 2006 | Peter's Tauchschule (Waidhofen/Thaya) Tauchlehrer *** (Technik und Taucherausbildung) |
| 2001 - 2004 | Jazz Cafe „Bird“ / Ugur GmbH (Wien) Kellner (Serviertätigkeiten) |
| 2001 | Eurojobs Ges mbH (Wien) Cateringmitarbeiter (Aufbauarbeiten und Catering) |
| 2000 - 2001 | Fa. Fordinal (Göpfritz/Wild) Angestellter (Büro) |
| 1999 - 2000 | Integral Engineering Industriebedarf (Achau) Konstrukteur (Abgasreinigungsanlagen, Gaserzeugungsanlage aus Erdölderivaten) |
| 1995 - 1999 | studienbegleitete Tätigkeiten während der HTL Fa. Fordinal (Göpfritz/Wild) Trenkwalder Personaldienste AG (Wien) |
| 1995 | Hofmann Lichtkuppel GMBH (Schrems) Monteur (Brandrauchentlüftungen und Lichtkuppel) |
| 1994 | Test-Fuchs (Gr. Siegharts) Arbeiter (Schaltschrankbau, Prüfanlagenbau) |

Fremdsprachen: Deutsch (Muttersprache), Englisch,
Grundkenntnisse Spanisch

PC Kenntnisse: MS Office, Sigma Plot; Grundkenntnisse GIS

Weiterbildung: Obstgehölze schneiden & veredeln,
Teichabdichtung lt. ÖNorm L1126,
Zertifikatslehrgang Errichten von Trockensteinmauern,
Gartengestaltung mit Trockensteinbauten

Öpping, 15.10.2013