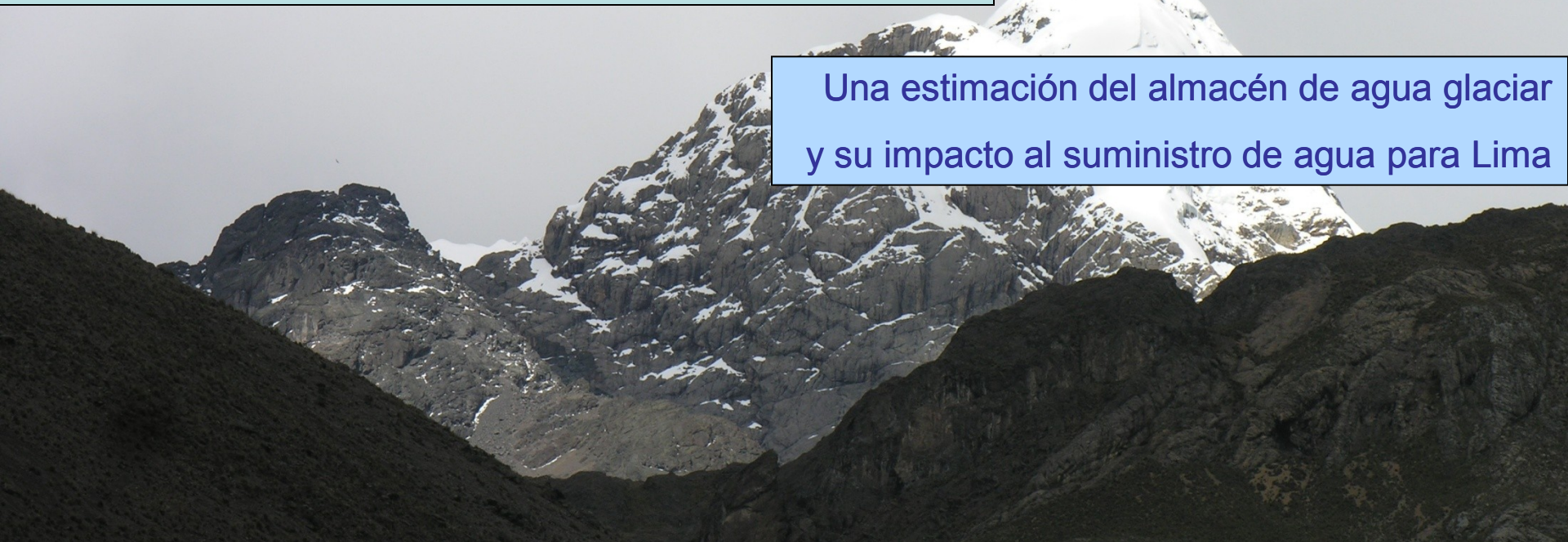




Balance de área y masa de glaciares tropicales en el Perú durante el período 1985-2008 utilizando data de ASTER y Landsat



Una estimación del almacén de agua glaciar y su impacto al suministro de agua para Lima

Tesis de Diploma
Fabian Drenkhan

Asesores:

Dr. Jochen Seidel
Instituto de Ingeniería Hidráulica
Universidad de Stuttgart

Prof. Dr. Wolf Dieter Blümel
Instituto de Geografía (†)
Universidad de Stuttgart

1. Introducción

- planteamiento del problema y objetivos
- área de interés

2. Situación climática en los Andes

- clima actual
- tendencias climáticas (temperatura, precipitación)
- papel de El Niño / La Niña

3. Balance de masa de glaciares tropicales

- respuesta del Cambio Climático y El Niño / La Niña
- consecuencias de un régimen elevado de escorrentía
- métodos de teledetección

4. Resultados

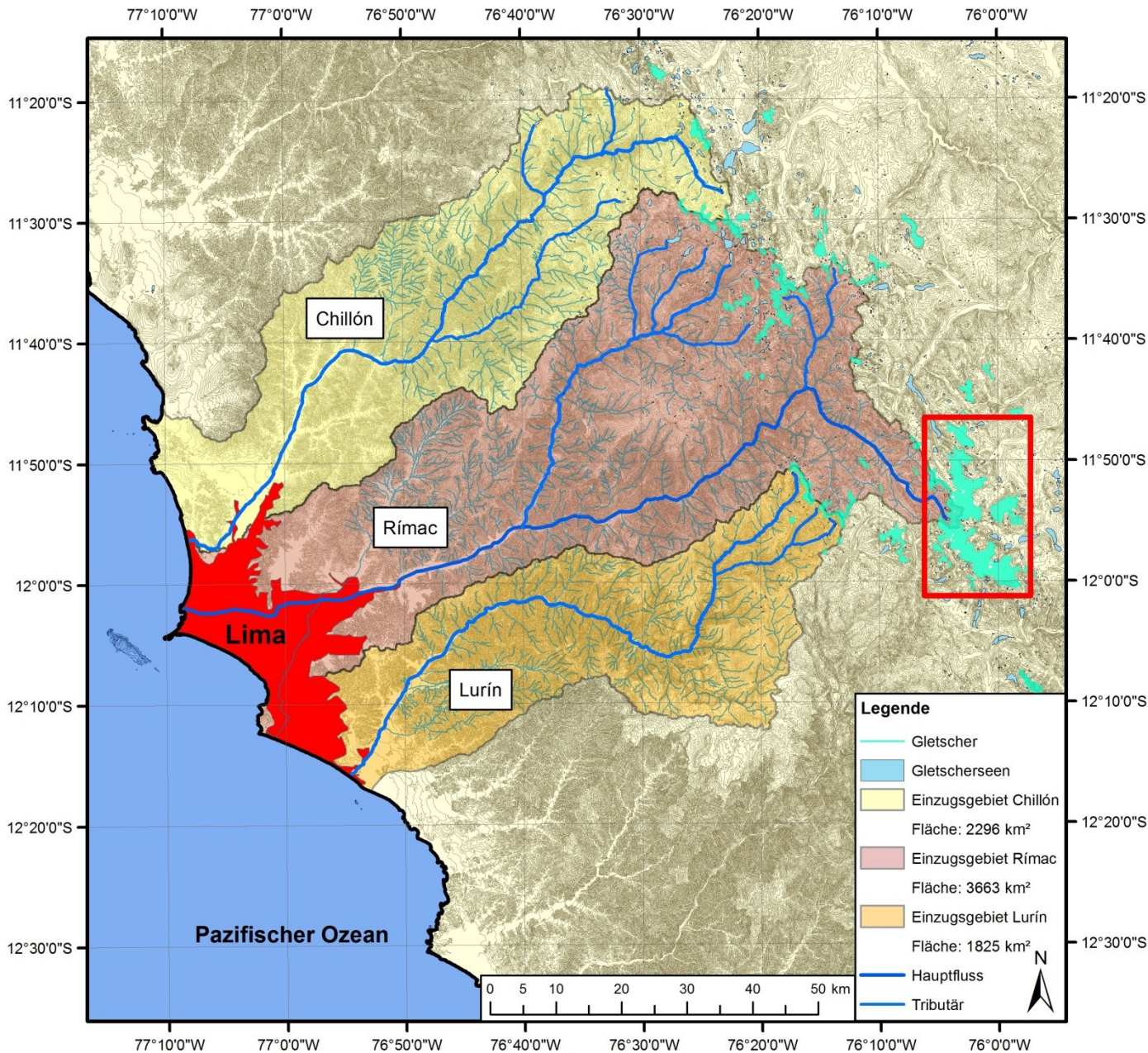
5. Discusión

- En Lima han surgido nuevos desafíos con relación al suministro de agua para su habitantes
 - rodeado por desierto con estrés hídrico extremo
 - aumento continuo de la población (2,1% al año)
 - distribución desigual y falta de agua
 - Cambio Climático podría agravar estos problemas
- Habitantes en parte dependiente de la escorrentía (glaciar) del Rímac
 - naturalmente escorrentía anual desigual del agua
 - dependencia alta de la escorrentía glaciar en la estac. seca
 - tendencia del derretimiento global de glaciares(tropicales)

Cómo se "comportan" los glaciares del Rímac?

Si hay un cambio:

Cómo podría afectar el suministro de agua para Lima?



Glaciares Shullcon

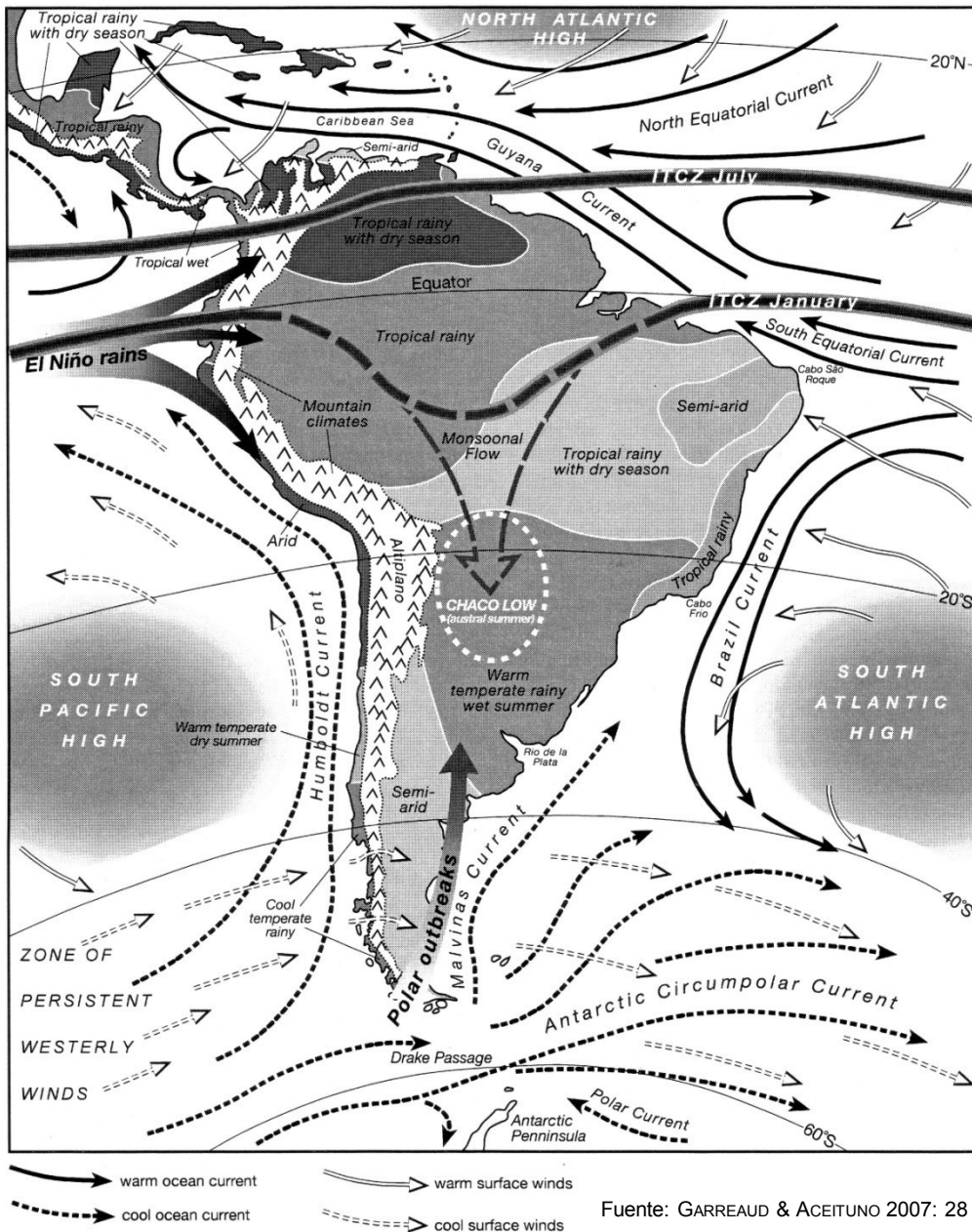
5758 msnm

11°88'S, 76°05'W

Cordillera Occidental
(Andes Centrales)

incluye 27 glaciares

escurriendo al
Río Blanco
(Fuente del Rímac)
y a la represa
Yuracmayo



Fuente: GARREAUD & ACEITUNO 2007: 28

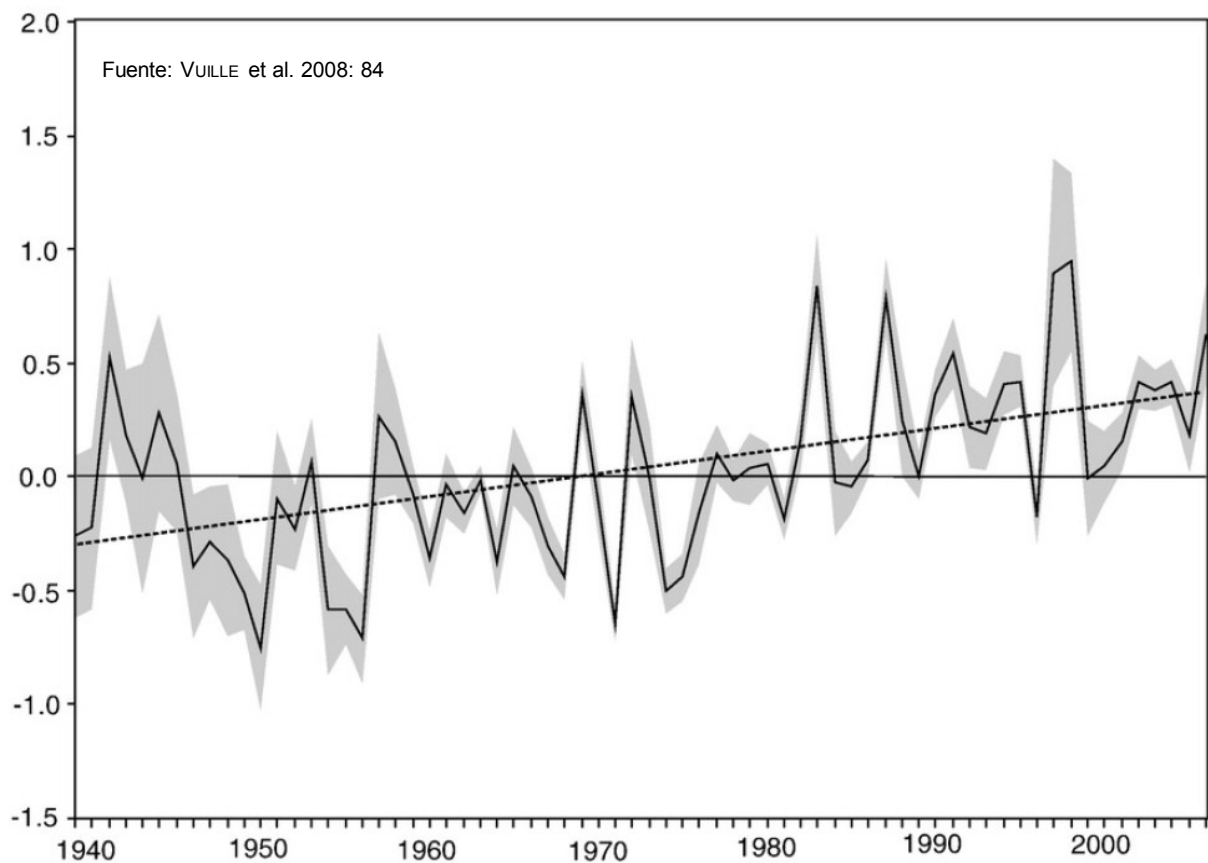
Clima principal causado por:
variación de la ITCZ:

verano meridional hacia sur
 (~ 15°S) y
 invierno meridional hacia norte
 (~ 10°N)

variación de los anticiclones
evitando precipitación

situaciones climáticas especiales

El Niño / La Niña
 corriente frío de Humboldt
 (generando el desierto /
 niebla alrededor de Lima)



Tendencia de la temperatura en los Andes (1939 – 2006)

anomalías anuales del promedio de la temperatura en el período 1961-1990 entre 1°N -23°S - compuesto de 279 estaciones climáticas

Se identifica una tendencia de +0,10°C/10a (línea rayada).

Tendencia de la temperatura

- Incremento de la temperatura depende del investigador
+0,10 y +0,39°C/10a
- en los Andes Peruanos parece existir una tendencia más fuerte que en todos los Andes
- además una tendencia que depende de la altura
+0,05 y +0,39°C/10a (disminuye con altura)
- es uno de los factores principales que causa el derretimiento del glaciar

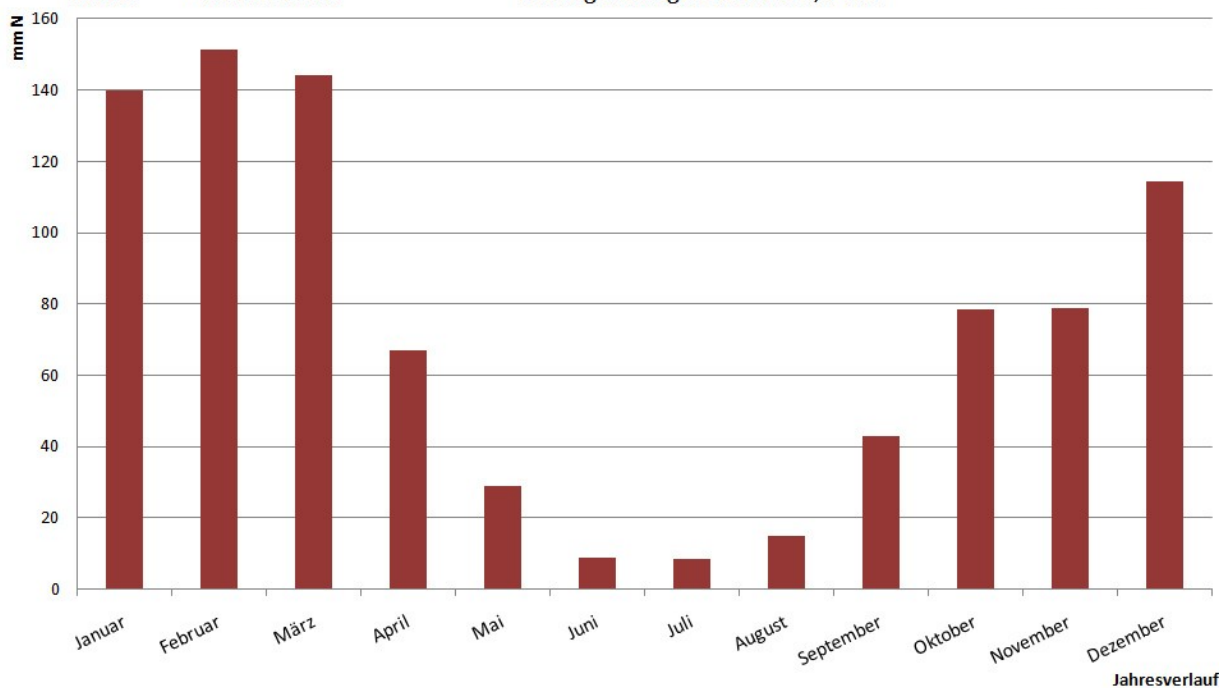
Monatlich gemittelter Niederschlag im Jahresgang des Untersuchungsgebiets

Zeitraum: 1947 bis 2008

Station: Milloc (11°34'S, 76°22'W)

Höhe: 4350 m ü. M.

Datengrundlage: SENAMHI, Peru



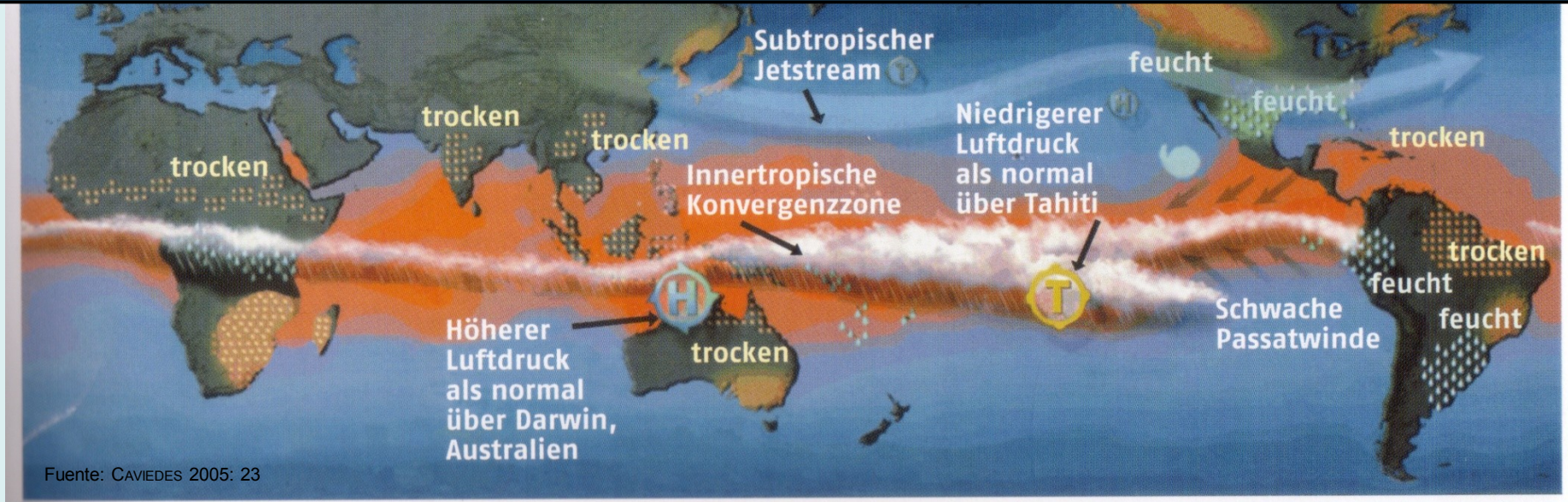
Precipitación en los Andes Centrales en el curso del año (Estación: San José de Casapalca, promedio 1947 – 2008)

diferencias marcadas entre la estación de lluvia (Octubre – Abril) •
y la estación seca (Mayo – Septiembre)
→ estación seca con alta importancia

Tendencia de la precipitación

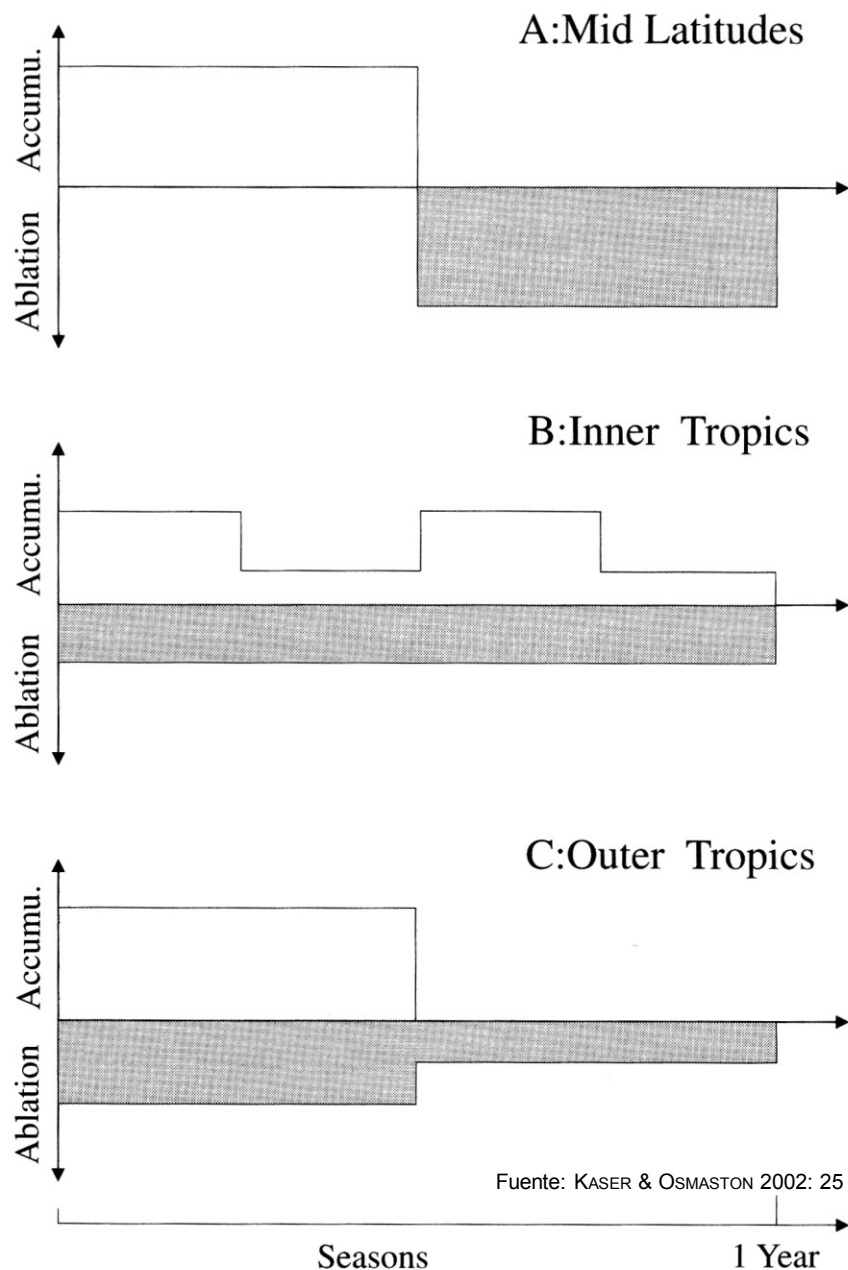
- Encauzando el albedo (lluvia – nieve)
- Evidencias de una elevación de la línea lluvia-nieve
→ en el futuro lluvia podría caer en el área de acumulación del glaciar
- No existen investigaciones respectivas sobre tendencias de patrón de precipitación
- Precipitación no es el factor principal encauzando el derretimiento glaciar

2 Situación climática en los Andes– Papel de El Niño / La Niña • 6 •



El Niño – La Niña

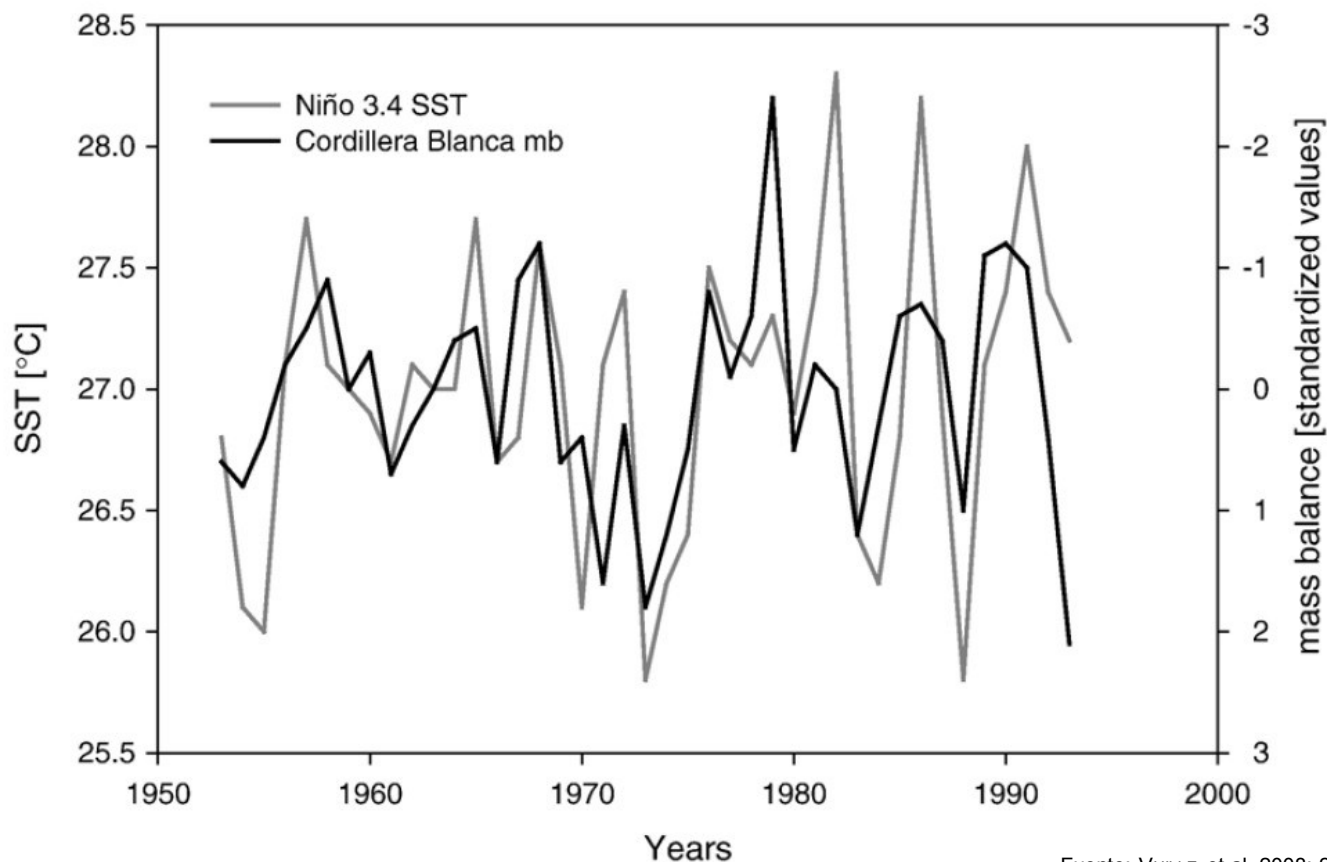
- El Niño: fenómeno de cada ~ 3-7 años llegando con masas de aire caliente trayendo lluvias fuertes a la costa norteperuana / ecuatoriana (anticiclón del Pacífico Sur disminuye, empiezan vientos occidentales del Pacífico Occidental)
- La Niña: poderoso anticiclón del Pacífico Sur, vientos secos y fríos del sureste
- **ANDES**: situación opuesta durante El Niño bloqueo de vientos orientales húmedos de la Amazonia → más seco, caliente durante La Niña más vientos surestes → más húmedo, frío



Glaciares del Shullcon

- tipo extra-trópico:
acumulación solo durante verano meridional (estación de lluvia)
pero **ablación** durante todo el año (menos intenso durante estación seca)
- bloqueo de vientos húmedos durante El Niño puede afectar recuperación de la acumulación
= **balance de masa negativo**
- vientos fríos húmedos durante La Niña pueden contribuir a un **balance de masa positivo**

3 Balance de masa de glaciares tropicales – respuesta al clima • 8 •



Fuente: VUILLE et al. 2008: 20

- Temperatura de la superficie del mar (SST) aumenta globalmente
→ enlace al balance de masa negativo
- sistema de oscilación – pero: tendencia global hacia una SST más cálida, ligeramente Niños más fuertes, incremento de la temperatura

creciente balances de masa negativos

Cambios actuales / posibles del escorrentía del agua de deshielo

- disminución del almacén de agua glaciar → falta de escorrentía
problemas van a ser más severos en la estación seca
→ dependencia de agua glaciar
→ papel esencial de embalses y túneles!
- temporalmente una escorrentía más alta en el Perú en los próximos ~ 25 – 50 años
(amenaza de inundaciones en la estación de lluvia, preocupación sobre la sostenibilidad del uso de recursos del agua)
- incremento de catástrofes naturales
rotura de embalses naturales / artificiales
(presión aumenta con niveles alterados del agua de lagunas, caída de fragmentos glaciares, lluvias torrenciales → (lodo) huaycos)
- explotando más agua (fósil) de la napa freática en la costa puede provocar intrusiones de agua salada

Teledetección

data:

ASTER

resolución: 15 * 15 m

distribución para ~ 100 dólares

intervalos de escenas comprados: 3 (de 2000 hasta 2008)

Landsat 7 ETM+

resolución: 30 * 30 m

distribución gratis

intervalos de escenas descargados: 5 (de 1985 hasta 2000)

3 Balance de masa de glaciares tropicales – métodos aplicados • 11 •

The screenshot displays the ERDAS IMAGINE 9.1 software interface. The main window shows a workflow diagram for processing satellite data from ETM+ Bd. 2 and ETM+ Bd. 5. The workflow starts with two input files: n1_15007068_06819850806_b20 and n2_15007068_06819850806_b50. These are processed through 'Differenz' and 'Summe' operations. The results are then processed through 'n7_memory' and 'n8_memory' operations. The final output is 'n3_ndsi_25b', which is processed through 'EITHER 0 IF' and 'EITHER 1 IF' operations to produce 'n4_25_0', the final 'Maske (Binärbild)'. A 'Schwellenwert' (threshold) operation is also shown.

The 'Viewer #1: ndsi_25b.tif' window displays the following information:

Lat/Lon: Lat: 11 53 42.62 S Lon: 76 02 49.08 W Degrees

Projection: UTM / WGS 84

Layer	Band	FILE PIXEL	LUT VALUE	HISTOGRAM
1		0.711	255.000	2940.000

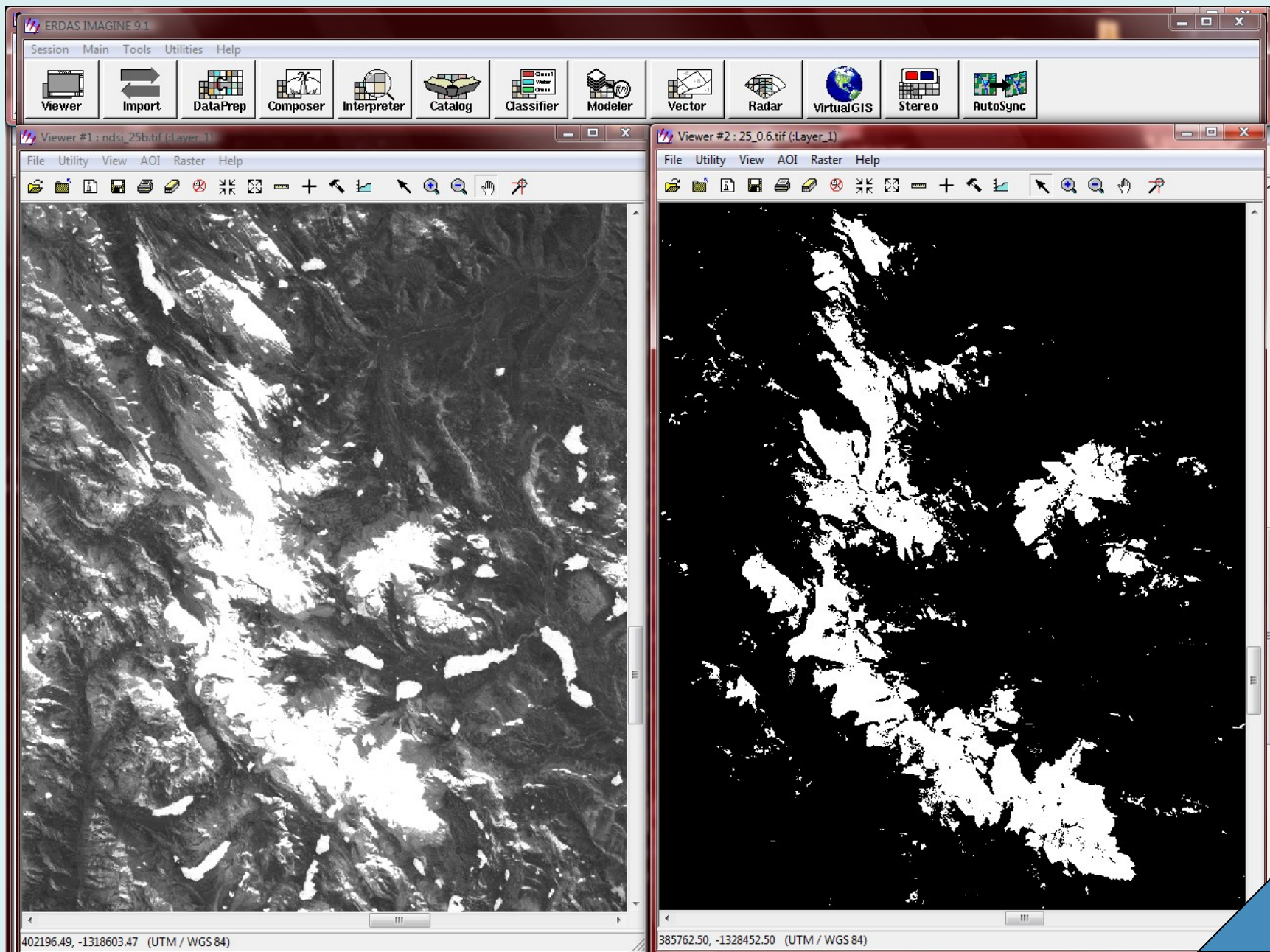
Viewer #1: ndsi_25b.tif

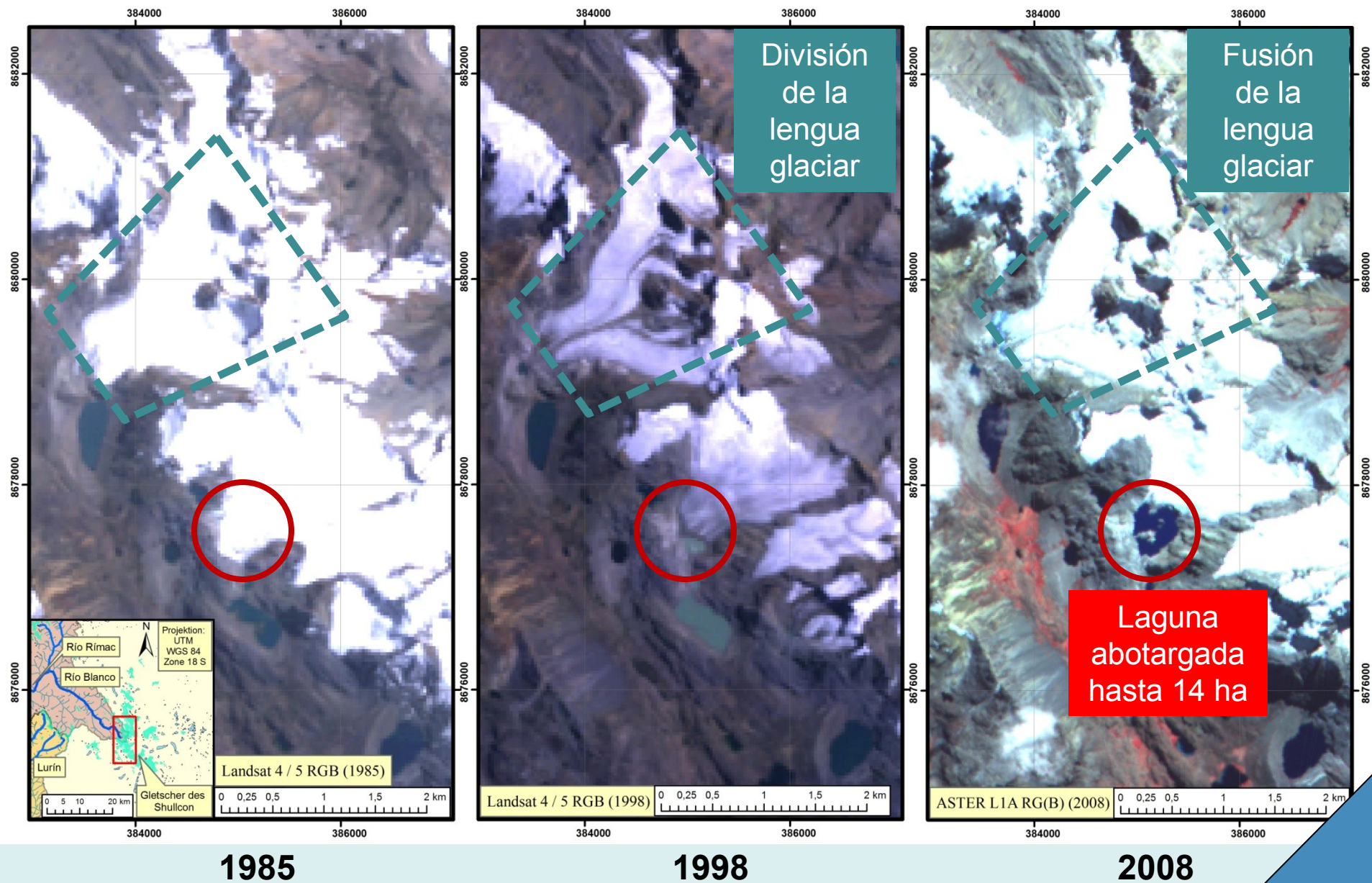
Auto Apply

Apply Close Help

Close

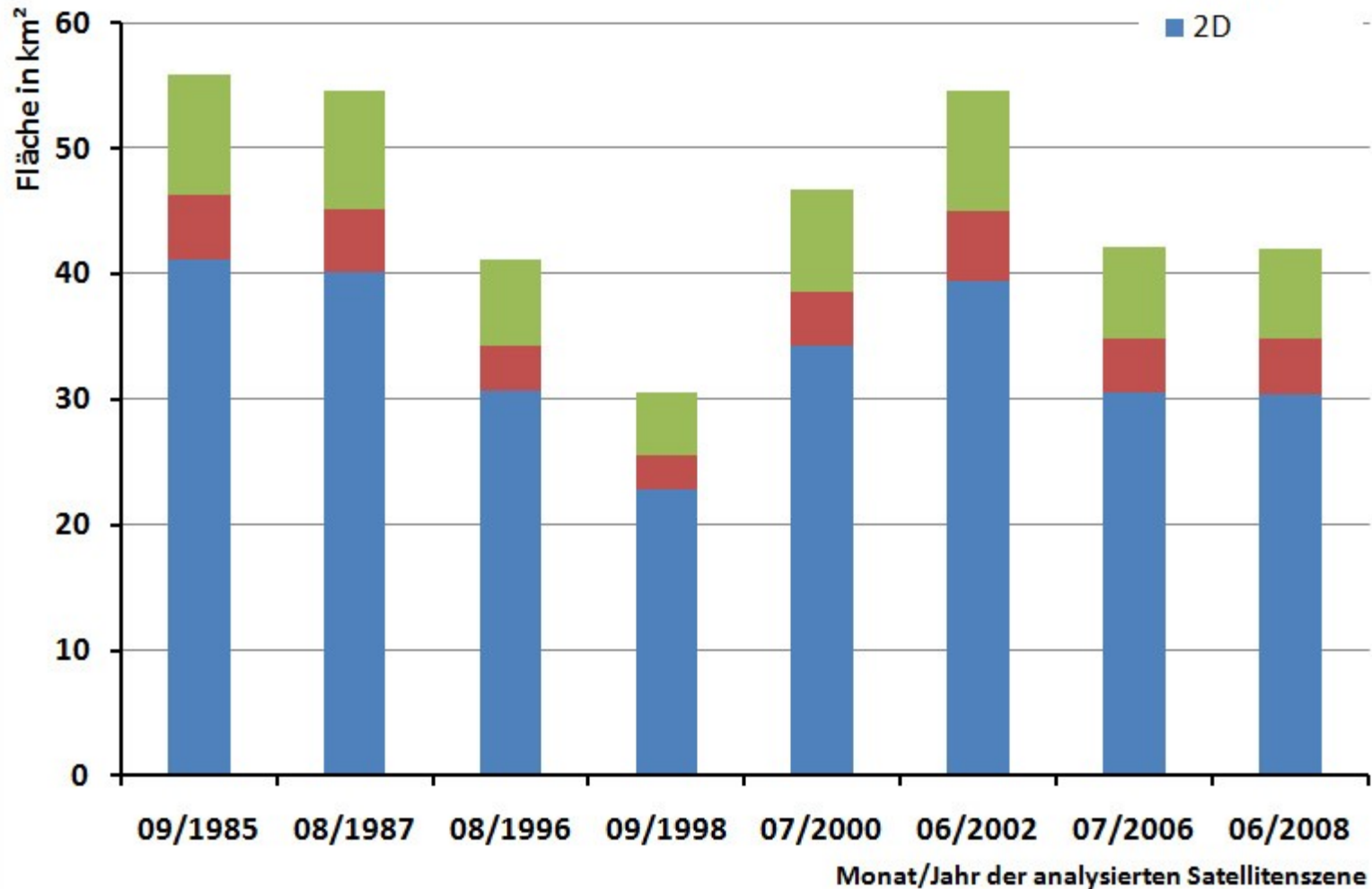
3 Balance de masa de glaciares tropicales – métodos aplicados • 12 •








Oscilaciones de la superficie de los Glaciares del Shullcon en los 23 años investigados
 – dependiente del MDE (SRTM, ASTER y 2D [sin MDE])

- 3D - SRTM
- 3D - ASTER GDEM
- 2D



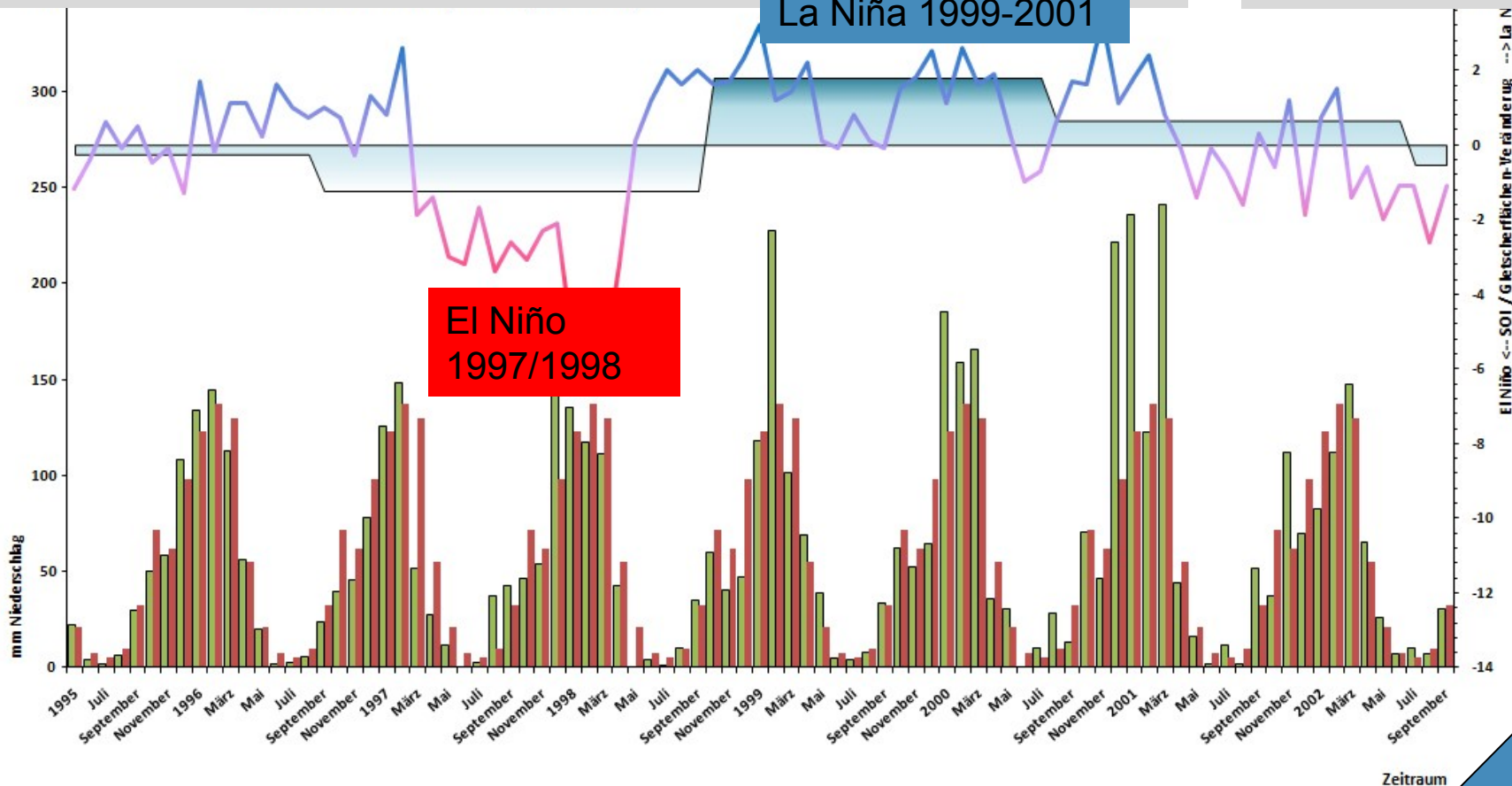
Comparación de los cambios del área glaciaria en el área de interés con el Southern Oscillation Index [SOI] y precipitaciones en la región

Época: Mayo 1995 – Septiembre 2002
Área glaciaria: Glaciares del Shullcon (11°88'S, 76°05'W), áreas en 3D [SRTM]
SOI: anomalías mensuales de la presión atmosférica en el Pacífico, mediado entre Darwin (N-Australia) y Tahiti, estandarizado según TRENBERTH 1984, Fuente de datos: CGD 2009
Precipitación: promedio mensual, Base de datos: SENAMHI Perú
Estaciones: Casapalca (11°39'S, 76°14'W), Milloc (11°34'S, 76°22'W), San José de Parac (11°48'S, 76°15'W)

-  Cambio del área glaciaria (tasa mensual relativa del cambio en %)
-  Estaciones (precipitación real)
-  Estaciones (precipitación promedio mensual de 1947-2008)
-  SOI

La Niña 1999-2001

El Niño 1997/1998



- **tres fases** de oscilaciones principales del cambio glaciar (1985-2008)
 1. **1985-1998**: ablación moderada hacia intensa (El Niño fuerte)
 2. **1998-2002**: acumulación intensa (3 La Niñas intensas)
 3. **2002-2008**: ablación

- área total absoluta perdida (1985-2008): **~14 km²**
(tasa anual del deshielo **1,24 % a⁻¹**)

- masa total absoluta perdida de **~ 499·10⁶ t**
(suposición de una densidad constante del hielo de 900 kg/m³)

- pérdida total promedio del cuerpo de **~ 12 m**
corresponde a una pérdida del equivalente de agua de **~ 472 mm a⁻¹**

- glaciares del Shullcon podrían desaparecer dentro de **70 a 120 años**

- Muchos **mecanismos del clima** todavía **no son bien entendidos** (p. e. presupuesto energía glaciar que controla sublimación y deshielo)
- **Irregularidades en los datos satelitales**; solo una aproximación del volúmen / de la masa
 - significación de los resultados tiene que ser manejada con cuidado
 - resultados deberían ser comparados con otros datos (en la misma región)

- Tiene que ser calculada **la proporción de la escorrentía glaciari** en comparación con la **escorrentía total**
- Tiene que ser investigada más profundamente la **correlación estadística de El Niño / La Niña** con el balance de masa glaciari y la precipitación en las cuencas de Lima
- Pero: glaciares en gran parte son solo **torres virtuales de agua** en las cuencas de Lima, embalses y túneles podrían abalanzar el déficit de la escorrentía glaciari



Fabian Drenkhan

Correo electrónico: drenkhan@gmx.de

Tesis de Diploma: www.lima-water.de/documents/fdrenkhan_tesis.pdf