



Impacts of glacier shrinkage on water resources of La Paz city, Bolivia (16°S)

Submitted to Geophysical Research Letters

Alvaro Soruco⁽¹⁾, Christian Vincent⁽²⁻³⁾, Antoine Rabatel⁽²⁻³⁾, Thomas Condom⁽⁴⁾, Bernard Francou⁽⁴⁾

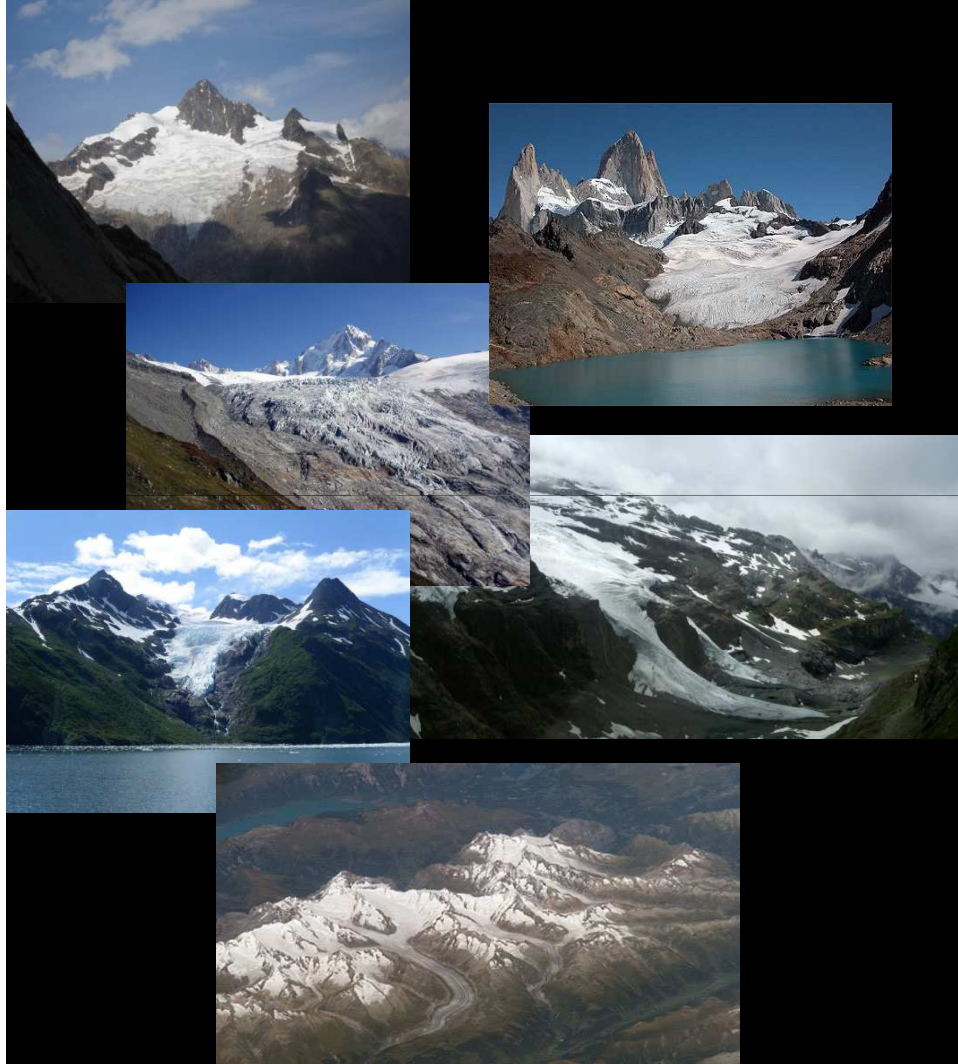
⁽¹⁾ UMSA, IGEMA, P.O. 35140, La Paz, Bolivia

⁽²⁾ Univ. Grenoble Alpes, LGGE (UMR 5183), F-38041 Grenoble, France

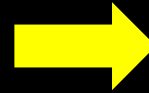
⁽³⁾ CNRS, LGGE (UMR 5183), F-38041 Grenoble, France

⁽⁴⁾ IRD, LTHE (UMR 5564), F-38041 Grenoble, France.

GLACIARES DE MONTAÑA



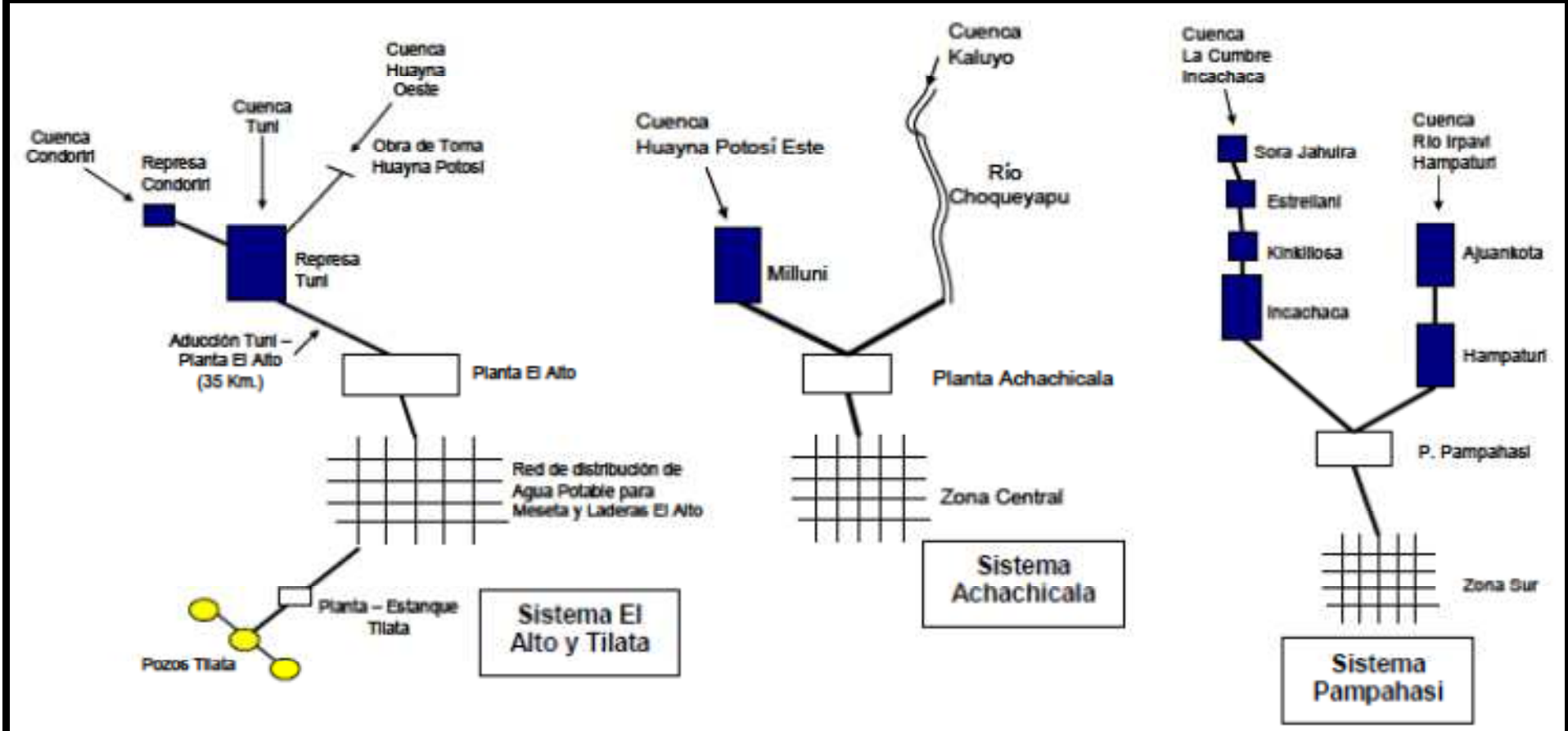
INDICADORES CLIMÁTICOS

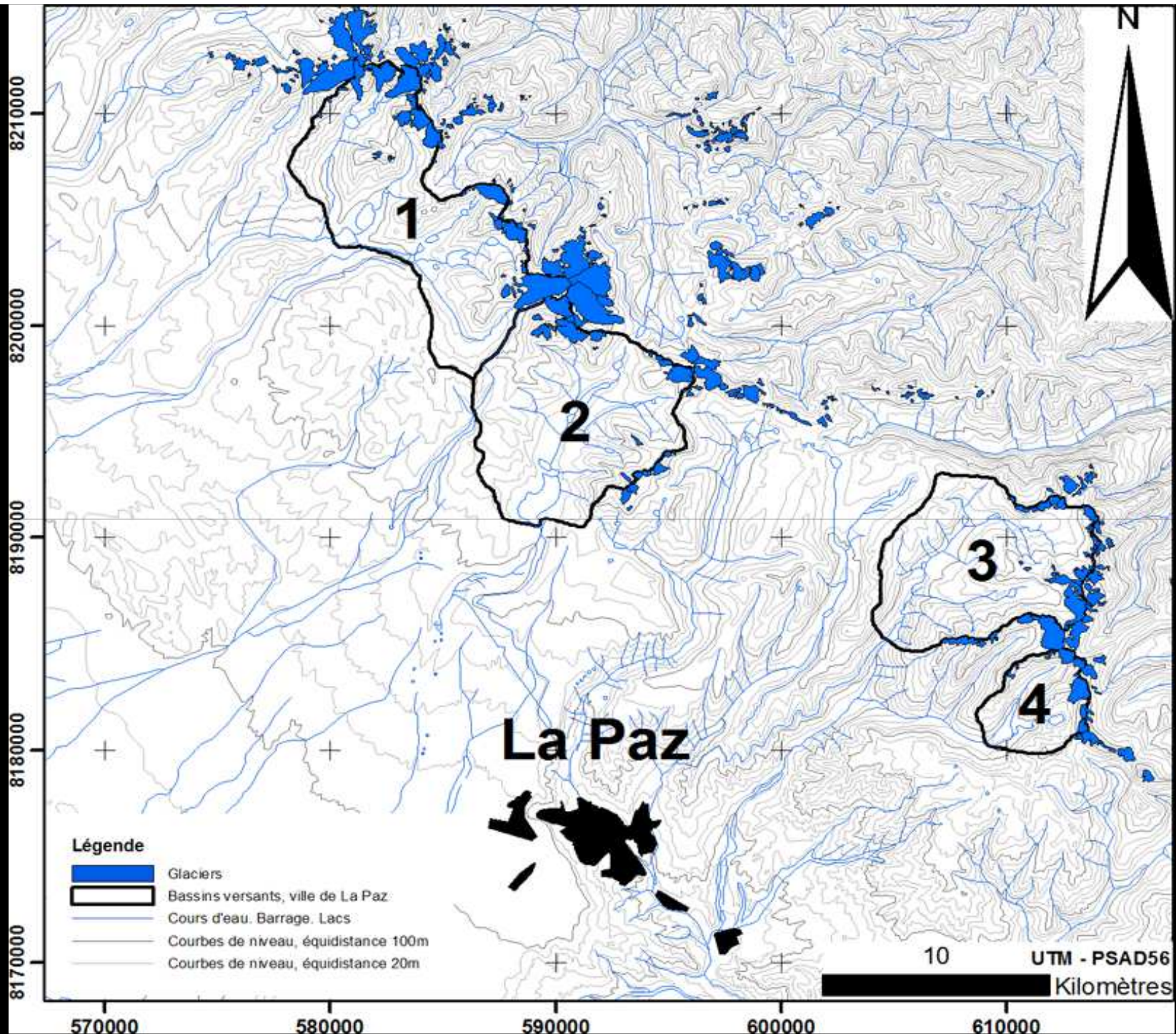


RECURSOS DE AGUA



SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LAS CIUDADES DE LA PAZ Y EL ALTO





OBJETIVOS:

DETERMINAR LA CONTRIBUCIÓN DE LOS GLACIARES (1963-
2006 Y 1997-2006) → **RECURSOS DE AGUA**
CIUDADES DE **LA PAZ – EL ALTO**



1.INTRODUCCION

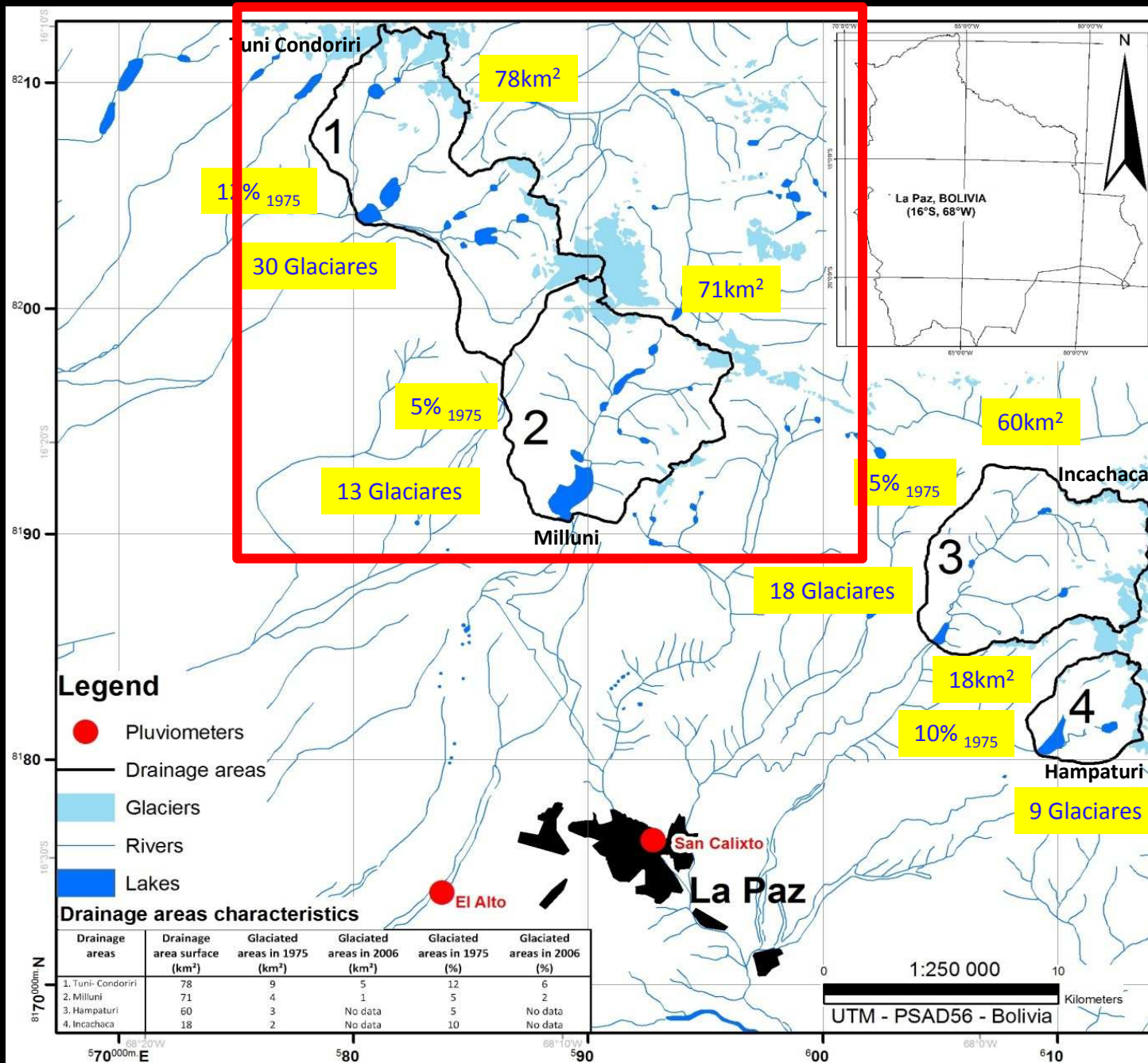
2. ÁREA DE ESTUDIO

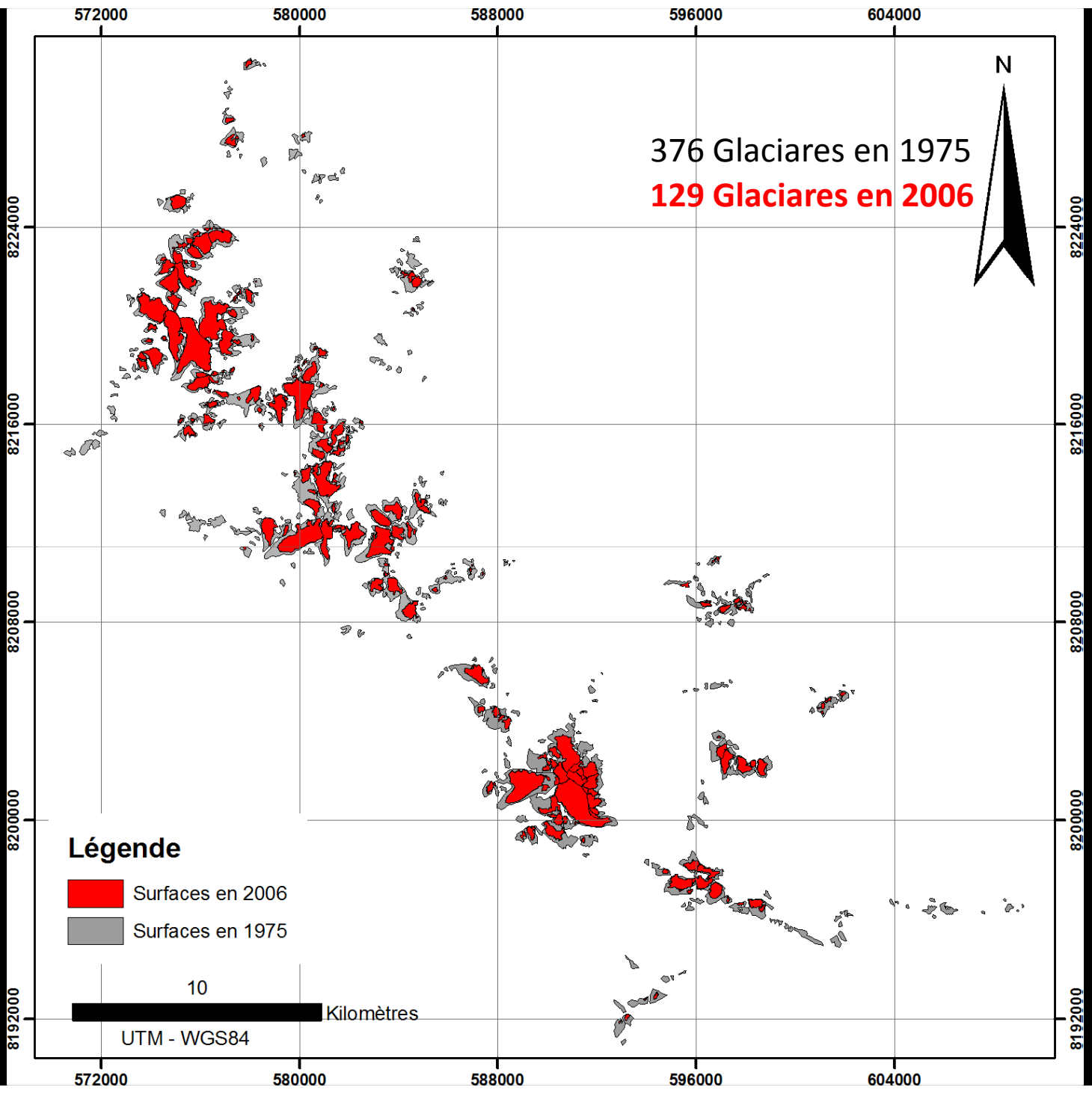
3. METODOLOGÍA Y MATERIAL UTILIZADO

4. RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

ÁREA DE ESTUDIO:





1.INTRODUCCION

2. ÁREA DE ESTUDIO

3. METODOLOGÍA Y MATERIAL UTILIZADO

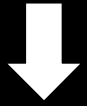
4. RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

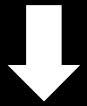
$$Caudal_{CUENCA} \left(\frac{l}{s} \right) = Caudal_{Morrena} \left(\frac{l}{s} \right) + Caudal_{Glaciar} \left(\frac{l}{s} \right)$$



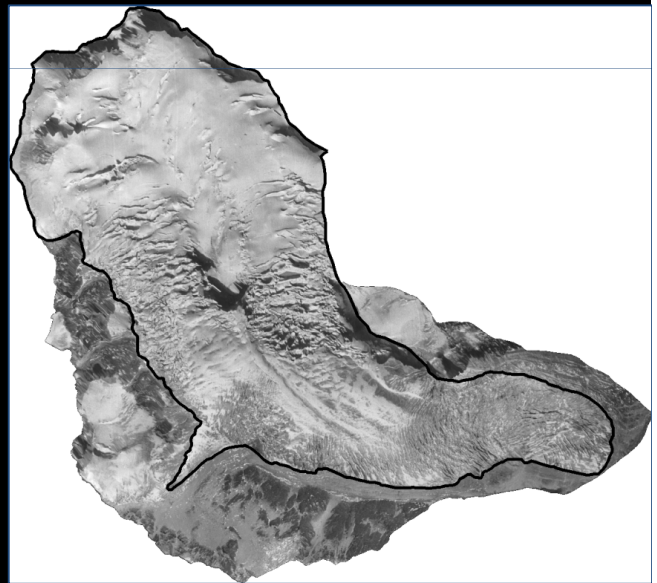
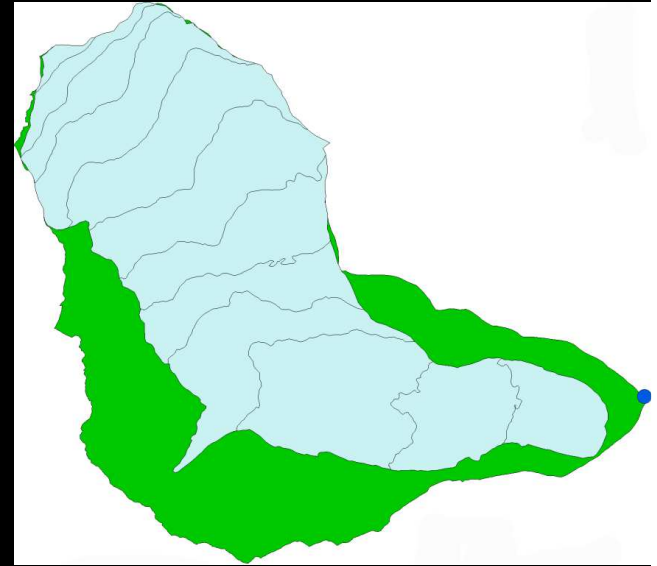
$$Caudal_{Morrena} \left(\frac{l}{s} \right) = \frac{Coef\ infiltracion \cdot P \left(\frac{mm}{año} \right) \cdot Superficie_{Gl} (km^2) \cdot 10^6}{31536000\ s\ en\ 1\ año}$$



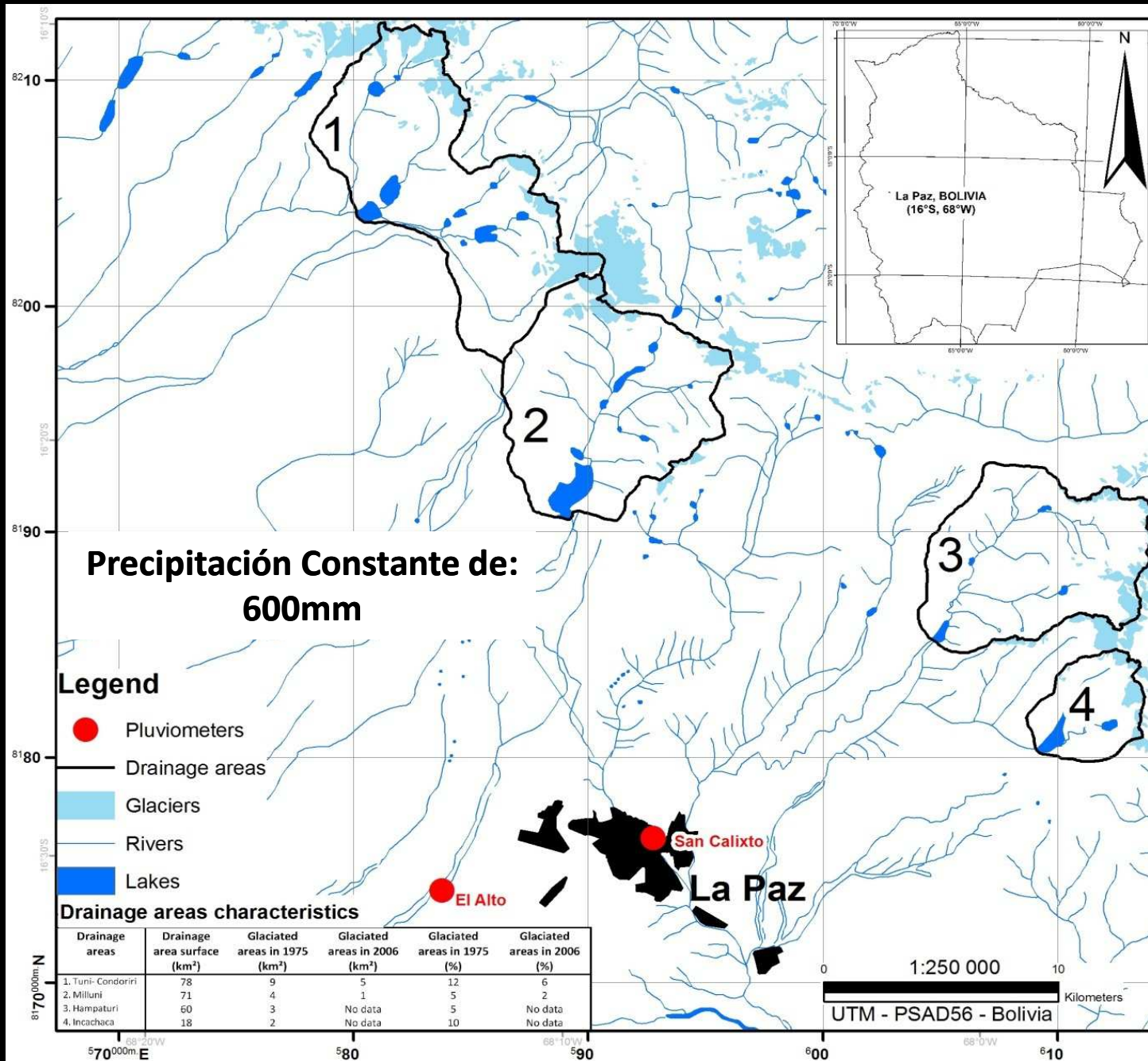
$$Caudal_{Glaciar} \left(\frac{l}{s} \right) = \frac{Caudal_{Glaciar} \left(\frac{mm}{año} \right) \cdot Superficie_{Glaciar} (km^2) \cdot 10^6}{31536000\ s\ en\ 1\ año}$$



$$Caudal_{Gl} \left(\frac{mm}{año} \right) = P \left(\frac{mm}{año} \right) - \beta n \left(\frac{mm}{año} \right) - Sublimación_{Gl} \left(\frac{mm}{año} \right)$$



PRECIPITACION



COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN

PROYECTO:
**“DESHIELO DE LA CUENCA DEL TUNI
CONDORIRI Y SU IMPACTO SOBRE LOS
RECURSOS HIDRICOS DE LAS CIUDADES DE
LA PAZ Y EL ALTO”
(IPQ/LP/01037)**

Equipo Ejecutor:

**Director IHH
Coordinación**

Ing. MSc. Carlos Herbas
Dr. Ing. Edson Ramírez^{2, 3, 6}
Dr. Bernard Francou⁴

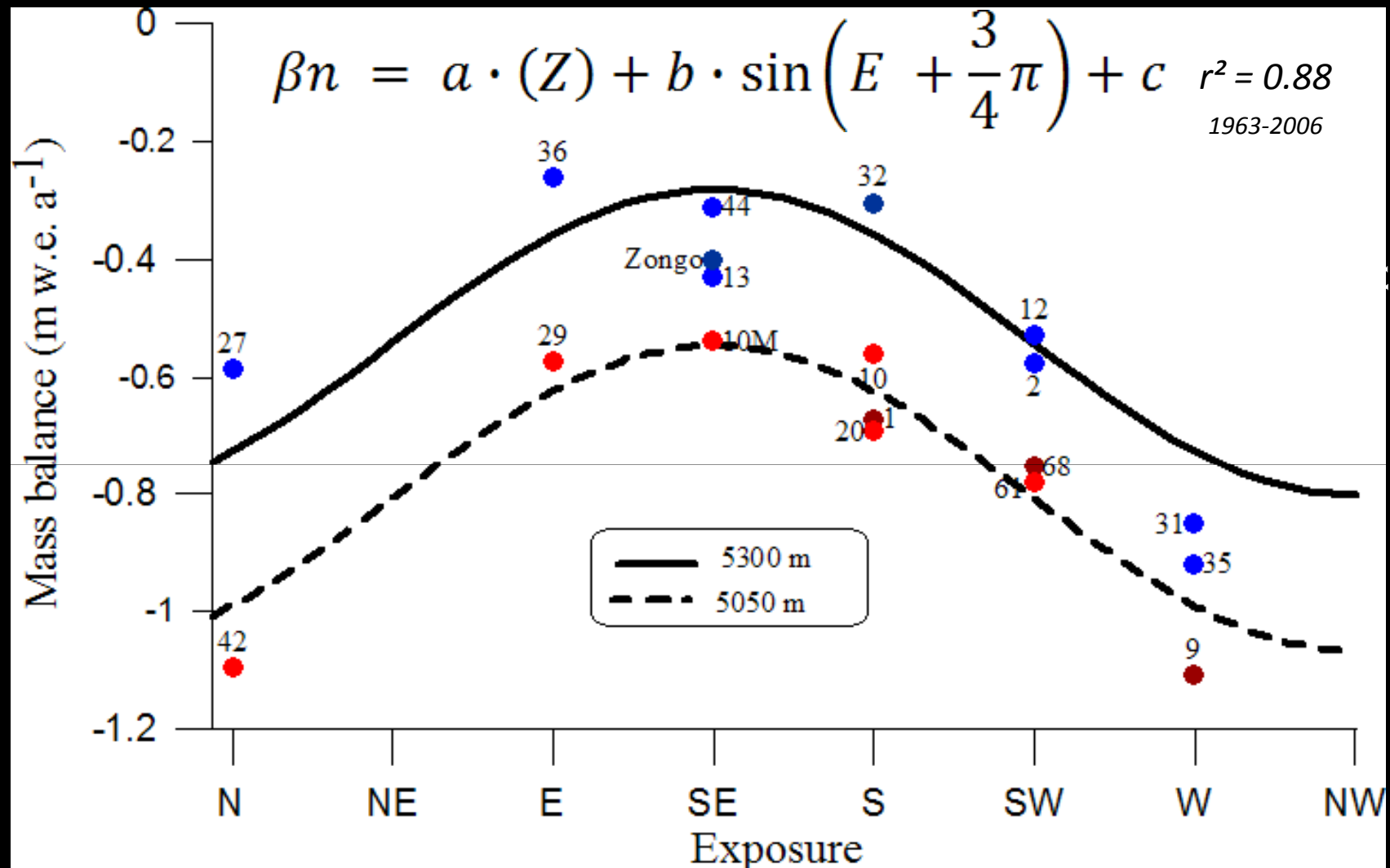
Ejecución

Ing. MSc. Carlos A. Olmos (Doctorante)^{2, 3, 5, 6}
Ing. MSc. Angel Román²
Ing. Cinthya Ramallo^{2, 3, 4}
Dr. Philippe Garreta⁴
Ing. Thomas Berger⁴
Egr. Fabiola Ledezma^{2, 3, 6}
Ing. MSc. Alvaro Soruco (Doctorante)⁴
Tec. Sr. Rolando Fuertes⁴

Ce constante de 0.5



BALANCE DE MASA



Glacier decline between 1963 and 2006 in the Cordillera Real, Bolivia

Alvaro Soruco,^{1,2} Christian Vincent,² Bernard Francou,^{1,2} and Javier Francisco Gonzalez³

Soruco et al., (2009) GRL

Sublimación = Datos de Re-análisis (500hPa) (Favier et al. 2008)

$$S = \alpha (q - q_s) v$$

S = Sublimación (mm w.e. month⁻¹)

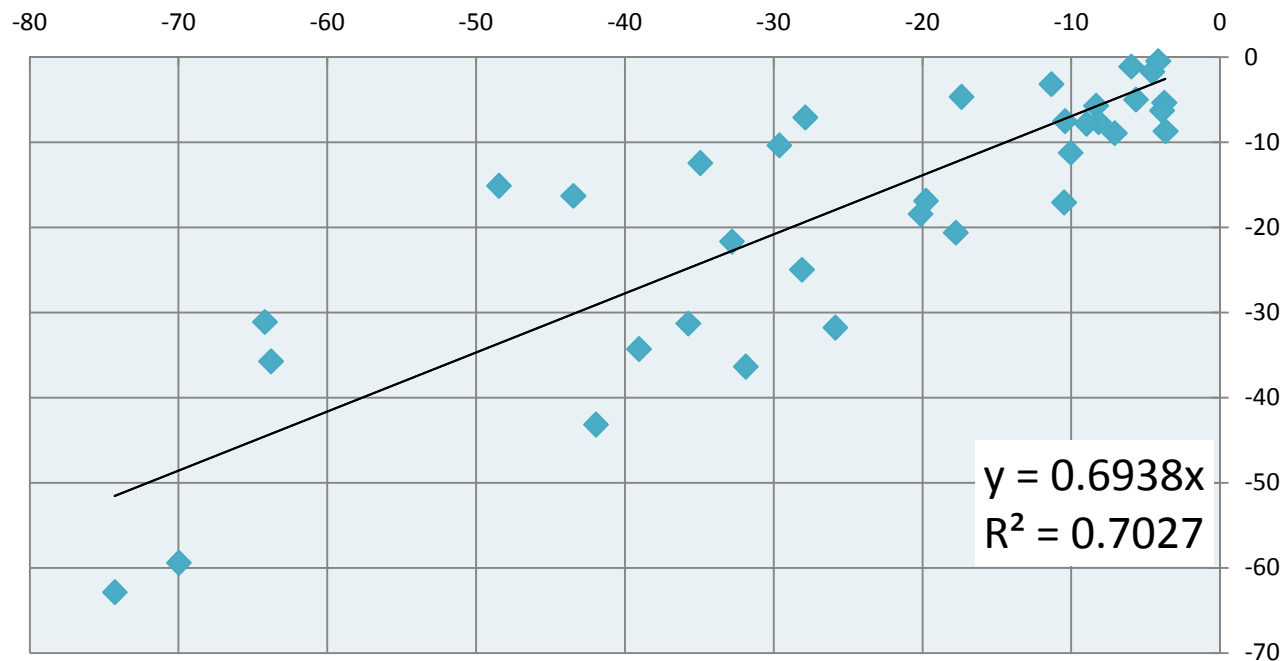
α = constante de homogeneidad (pendiente de la sublimación calculada y medida por los flujos turbulentos de calor latente)

q = Humedad específica de la superficie in g Kg⁻¹ (Datos de re-análisis)

q_s = Humedad específica de la superficie in g Kg⁻¹ (nieve/hielo en condiciones de fusión a 500hPa) = 7.598

v = Velocidad promedio mensual del viento (m s⁻¹)

Sublimation computed by turbulent latent heat fluxes



Sublimación constante de:
170 mm w.e. a⁻¹

1. INTRODUCCION

2. ÁREA DE ESTUDIO

3. METODOLOGÍA Y MATERIAL UTILIZADO

4. RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

COMPARACION CAUDALES MEDIDOS₂₀₀₀₋₂₀₀₇ VS CAUDALES CALCULADO₁₉₉₇₋₂₀₀₆

| VALIDACION | | | |
|----------------------|-------------------------|----------------------------|--------------|
| Cuencas hidrológicas | Caudales Medidos (M m3) | Caudales Calculados (M m3) | Diferencia % |
| Tuni - Condoriri | 31.4 | 30.5 | 3% |
| Milluni | 25.1 | 20.0 | 21% |
| Hampaturi | 22.2 | 23.9 | 8% |
| Incachaca | 7.3 | 8.4 | 14% |
| Total | 86.0 | 82.7 | 4% |

ANALISIS DE SENSIBILIDAD:

91% Y 96% DE LAS CUENCAS NO PRESENTAN GLACIARES (PARÁMETROS + IMPORTANTES CE Y P).

UN CAMBIO DE 10% DE CE → Un cambio de 1% del Caudal de la Cuenca

**UN CAMBIO DE 10% DE P → Un cambio de 0.5 % del Caudal de la Cuenca sin glaciares
→ Un cambio de 6.5 % del Caudal producido por los glaciares**

HÚMEDA OCT — NOV — DIC — ENE — FEB — MAR

SECA ABR — MAY — JUN — JUL — AGO — SEP

FUSIÓN (ZONGO)

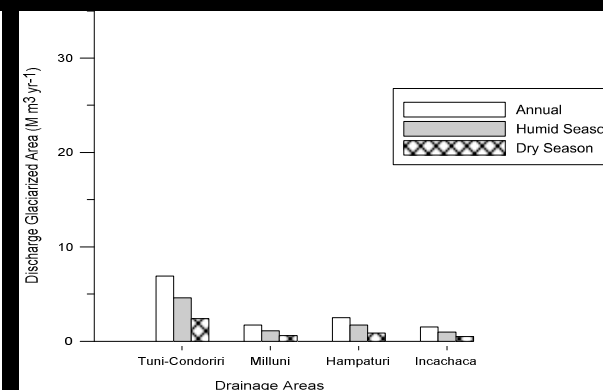
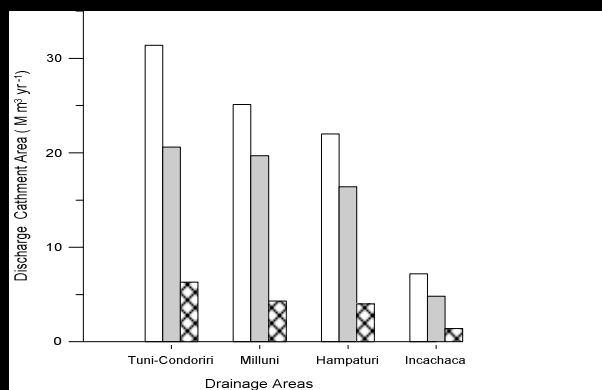
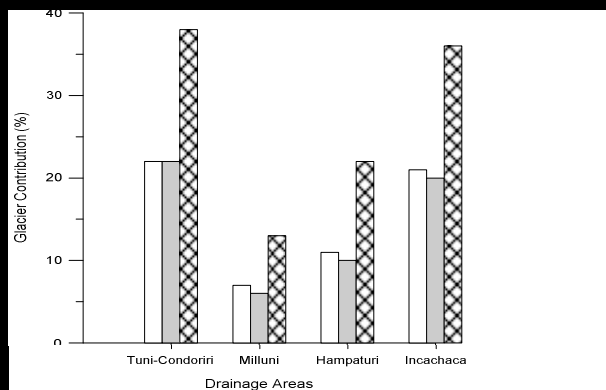
| HÚMEDA | SECA |
|------------|------------|
| 66% | 34% |

PRECIPITACIÓN

| HÚMEDA | SECA |
|------------|------------|
| 84% | 16% |

SUBLIMACIÓN

| HÚMEDA | SECA |
|------------|------------|
| 27% | 73% |



| CUENCAS | Año | | | Estación Húmeda | | | Estación Seca | | |
|---------------------|---------------|---------------------|----------------------|-----------------|---------------------|----------------------|---------------|---------------------|----------------------|
| | Caudal Cuenca | Caudal Área Glaciar | Contribución Glaciar | Caudal Cuenca | Caudal Área Glaciar | Contribución Glaciar | Caudal Cuenca | Caudal Área Glaciar | Contribución Glaciar |
| | (M m³ yr⁻¹) | (M m³ yr⁻¹) | % | (M m³ yr⁻¹) | (M m³ yr⁻¹) | % | (M m³ yr⁻¹) | (M m³ yr⁻¹) | % |
| 1. Tuni-Condoriri | 31.4 | 6.9 | 22% | 20.6 | 4.6 | 22% | 6.3 | 2.4 | 38% |
| 2. Milluni | 25.1 | 1.7 | 7% | 19.7 | 1.1 | 6% | 4.3 | 0.58 | 13% |
| 3. Hampaturi | 22.0 | 2.5 | 11% | 16.4 | 1.7 | 10% | 4.0 | 0.86 | 22% |
| 4. Incachaca | 7.2 | 1.5 | 21% | 4.8 | 0.97 | 20% | 1.4 | 0.50 | 36% |
| Caudal TOTAL | 85.7 | 12.6 | 15% | 61.5 | 8.4 | 14% | 16.0 | 4.3 | 27% |

1. INTRODUCCION

2. ÁREA DE ESTUDIO

3. METODOLOGÍA Y MATERIAL UTILIZADO

4. RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

CONTRIBUCIÓN GLACIAR → ha sido estimada por la primera vez
(para la ciudad de La Paz)

15% → Año

14% → Estación Húmeda

27 % → Estación Seca

SI LOS GLACIARES DESAPARECEN

- 12% (al año)

-9% (estación húmeda)

-25% (estación seca)