



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

Submitted to Geophysical Research Letters

Alvaro Soruco<sup>(1)</sup>, Christian Vincent<sup>(2-3)</sup>, Antoine Rabatel<sup>(2-3)</sup>, Thomas Condom<sup>(4)</sup>, Bernard Francou<sup>(4)</sup>

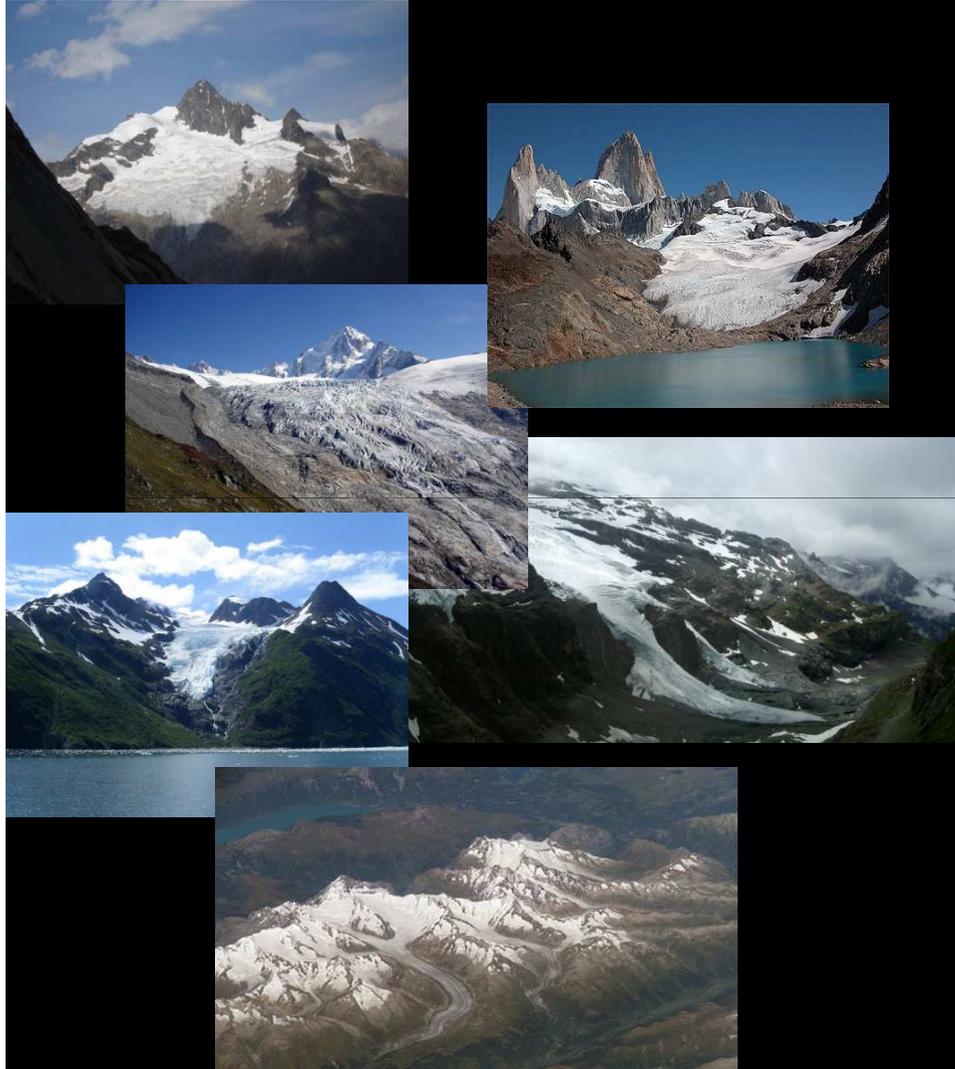
<sup>(1)</sup> UMSA, IGEMA, P.O. 35140, La Paz, Bolivia

<sup>(2)</sup> Univ. Grenoble Alpes, LGGE (UMR 5183), F-38041 Grenoble, France

<sup>(3)</sup> CNRS, LGGE (UMR 5183), F-38041 Grenoble, France

<sup>(4)</sup> IRD, LTHE (UMR 5564), F-38041 Grenoble, France.

# GLACIARES DE MONTAÑA



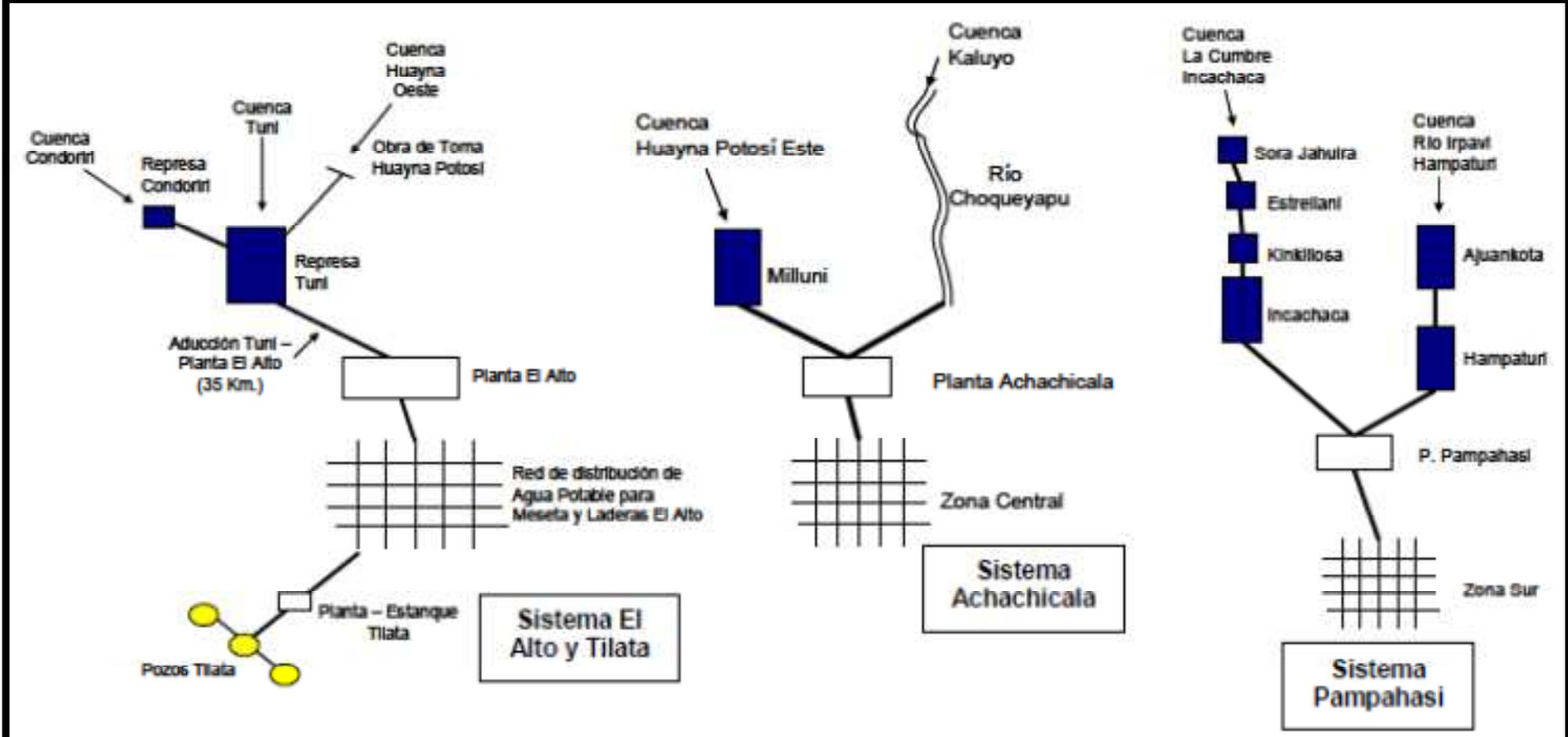
# INDICADORES CLIMÁTICOS

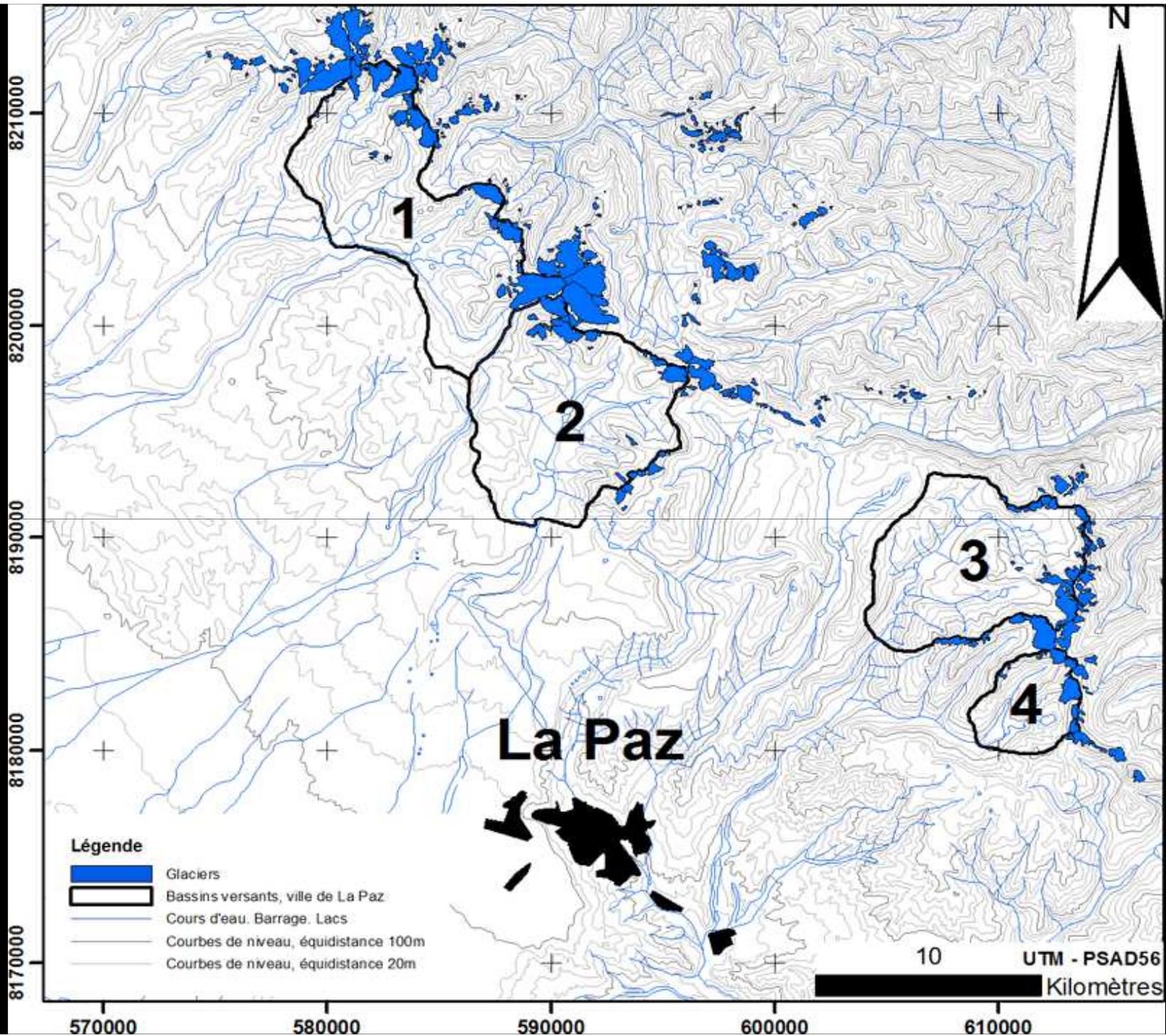


# RECURSOS DE AGUA



# 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

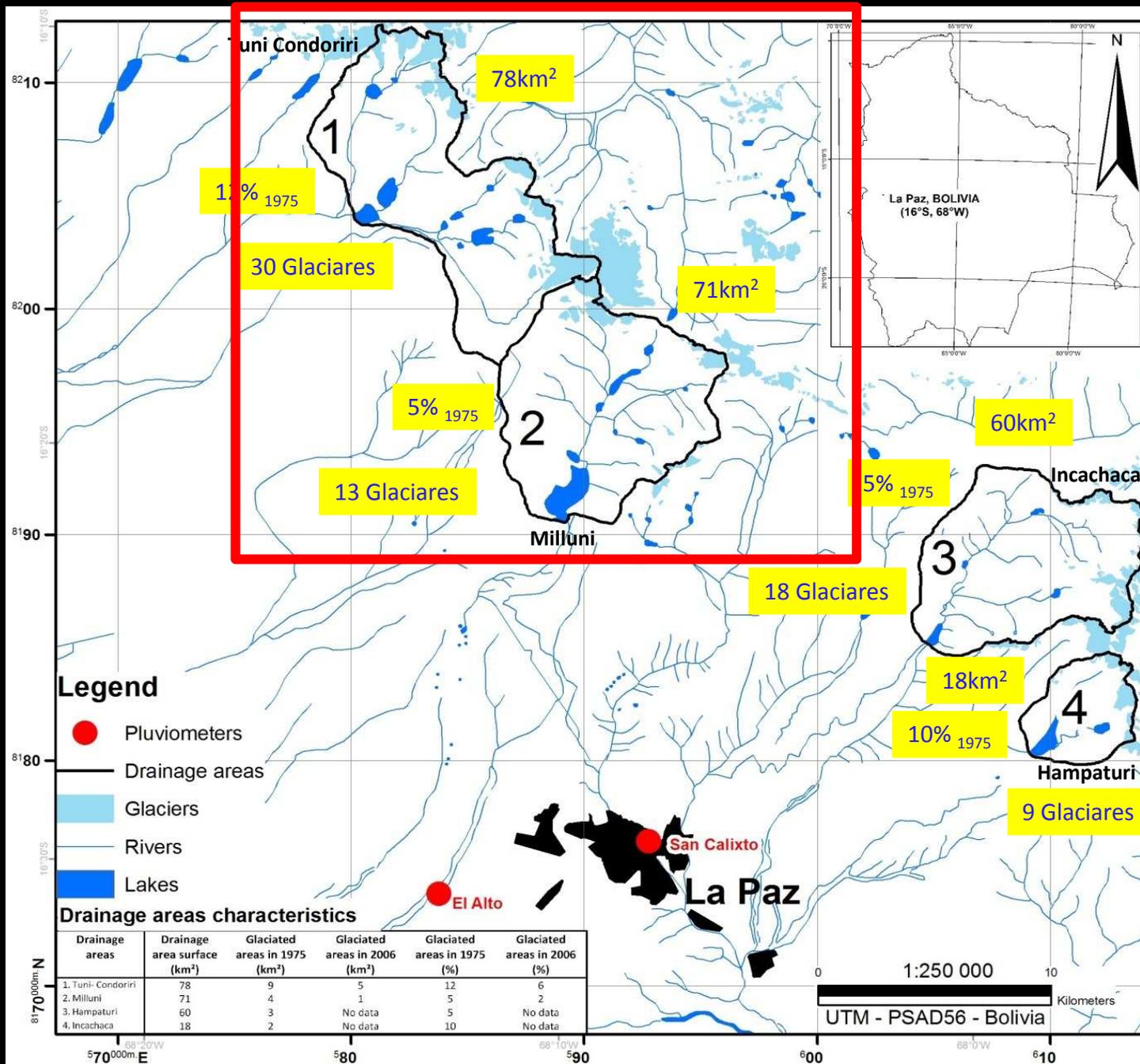
**2. ÁREA DE ESTUDIO**

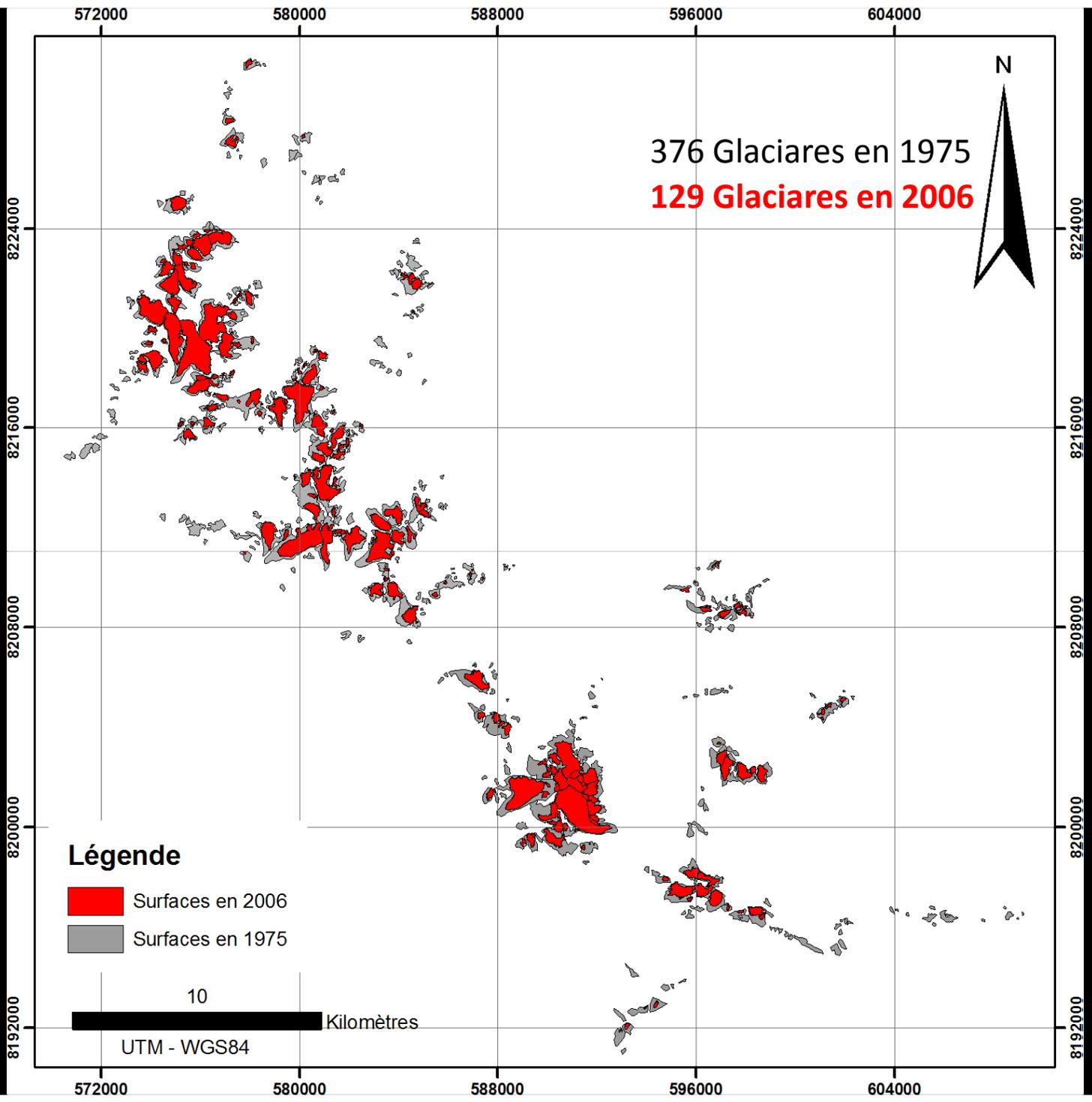
3. METODOLOGÍA Y MATERIAL UTILIZADO

4. RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

# ÁREA DE ESTUDIO:





1.INTRODUCCION

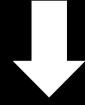
2. ÁREA DE ESTUDIO

**3. METODOLOGÍA Y MATERIAL UTILIZADO**

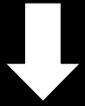
4. RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

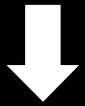
$$Caudal_{CUENCA} \left( \frac{l}{s} \right) = Caudal_{Morrena} \left( \frac{l}{s} \right) + Caudal_{Glaciar} \left( \frac{l}{s} \right)$$



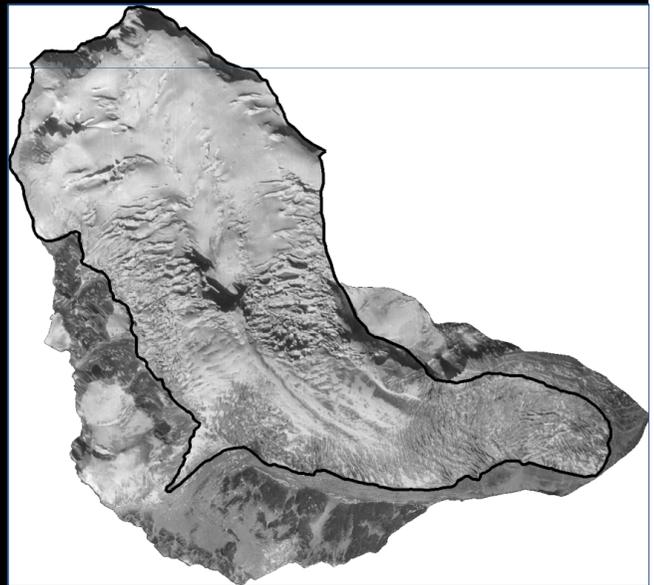
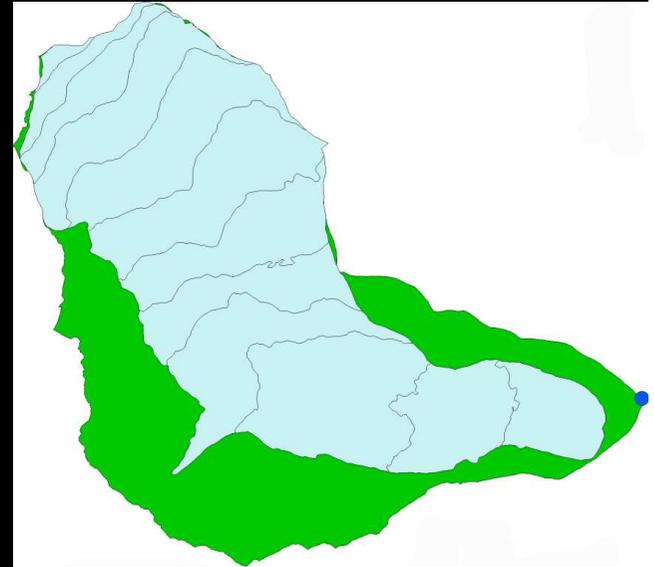
$$Caudal_{Morrena} \left( \frac{l}{s} \right) = \frac{Coef\ infiltracion \cdot P \left( \frac{mm}{año} \right) \cdot Superficie_{Gl} (km^2) \cdot 10^6}{31536000\ s\ en\ 1\ año}$$



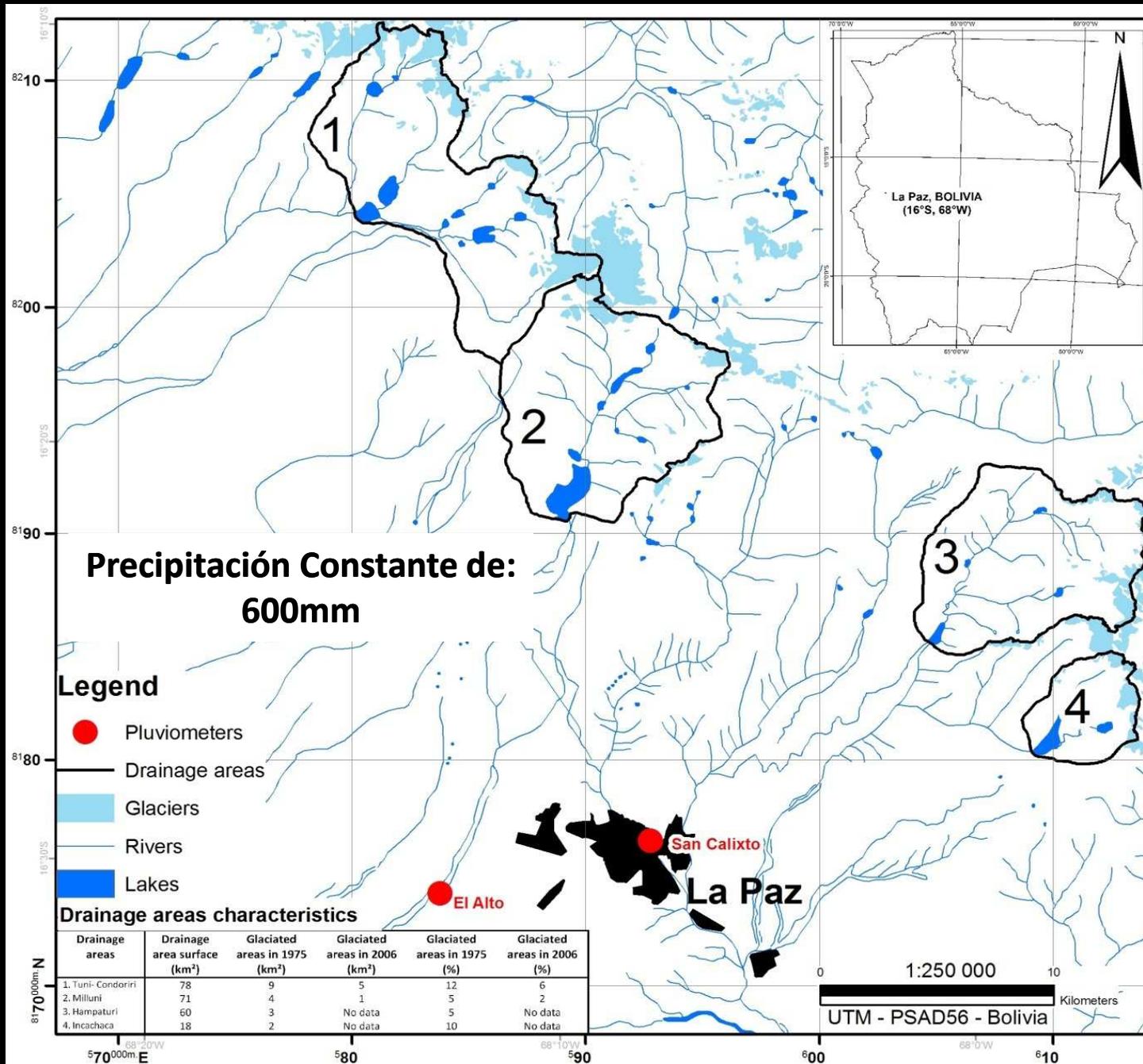
$$Caudal_{Glaciar} \left( \frac{l}{s} \right) = \frac{Caudal_{Glaciar} \left( \frac{mm}{año} \right) \cdot Superficie_{Glaciar} (km^2) \cdot 10^6}{31536000\ s\ en\ 1\ año}$$



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



# 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<sup>2, 3, 6</sup>*  
*Dr. Bernard Francou<sup>4</sup>*

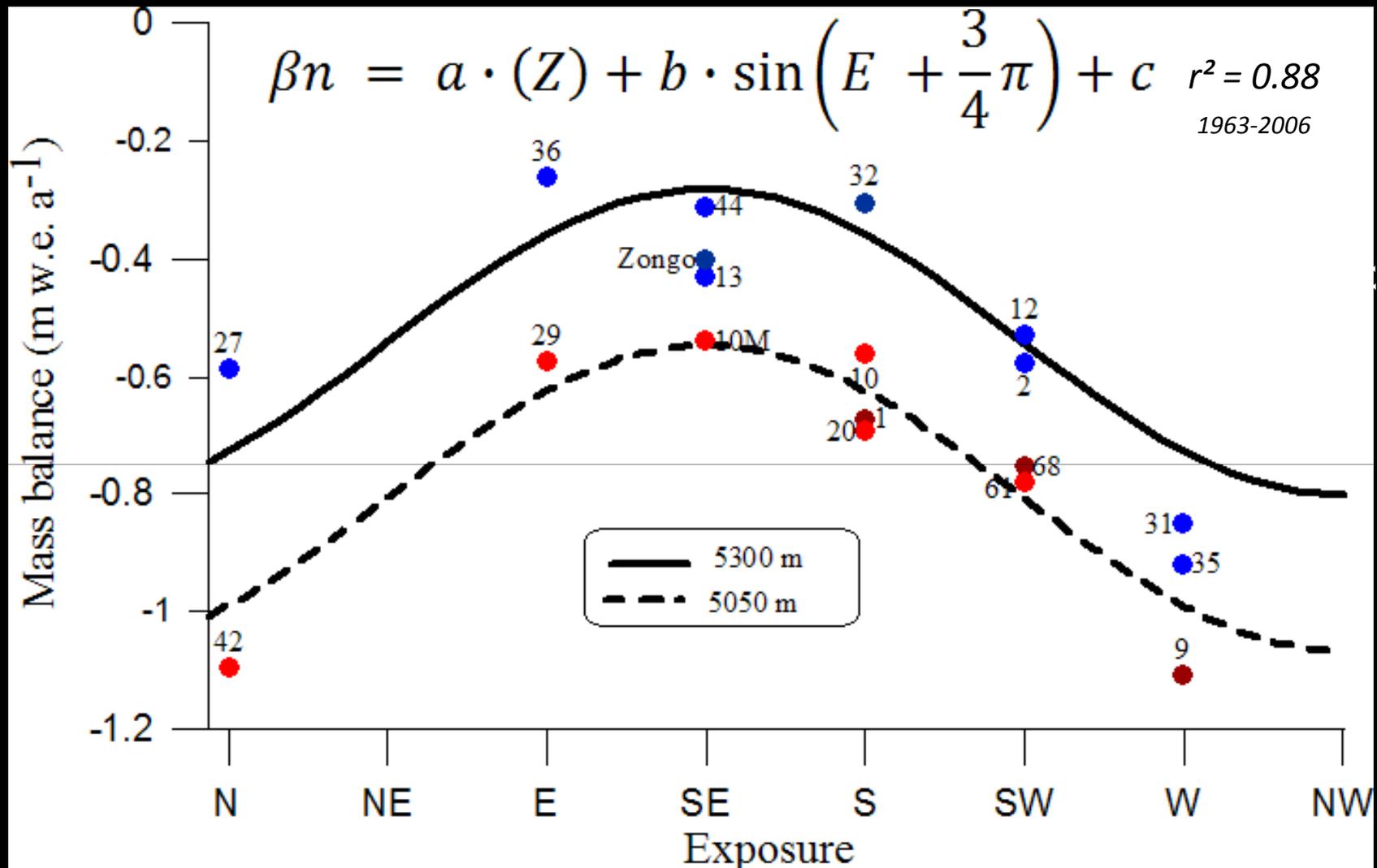
**Ejecución**

*Ing. MSc. Carlos A. Olmos (Doctorante)<sup>2, 3, 5, 6</sup>*  
*Ing. MSc. Angel Román<sup>2</sup>*  
*Ing. Cinthya Ramallo<sup>2, 3, 4</sup>*  
*Dr. Philippe Garreta<sup>4</sup>*  
*Ing. Thomas Berger<sup>4</sup>*  
*Egr. Fabiola Ledezma<sup>2, 3, 6</sup>*  
*Ing. MSc. Alvaro Soruco (Doctorante)<sup>4</sup>*  
*Tec. Sr. Rolando Fuertes<sup>4</sup>*

**Ce constante de 0.5**



# BALANCE DE MASA



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

Alvaro Soruco,<sup>1,2</sup> Christian Vincent,<sup>2</sup> Bernard Francou,<sup>1,2</sup> and Javier Francisco Gonzalez<sup>3</sup>

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<sup>-1</sup>)

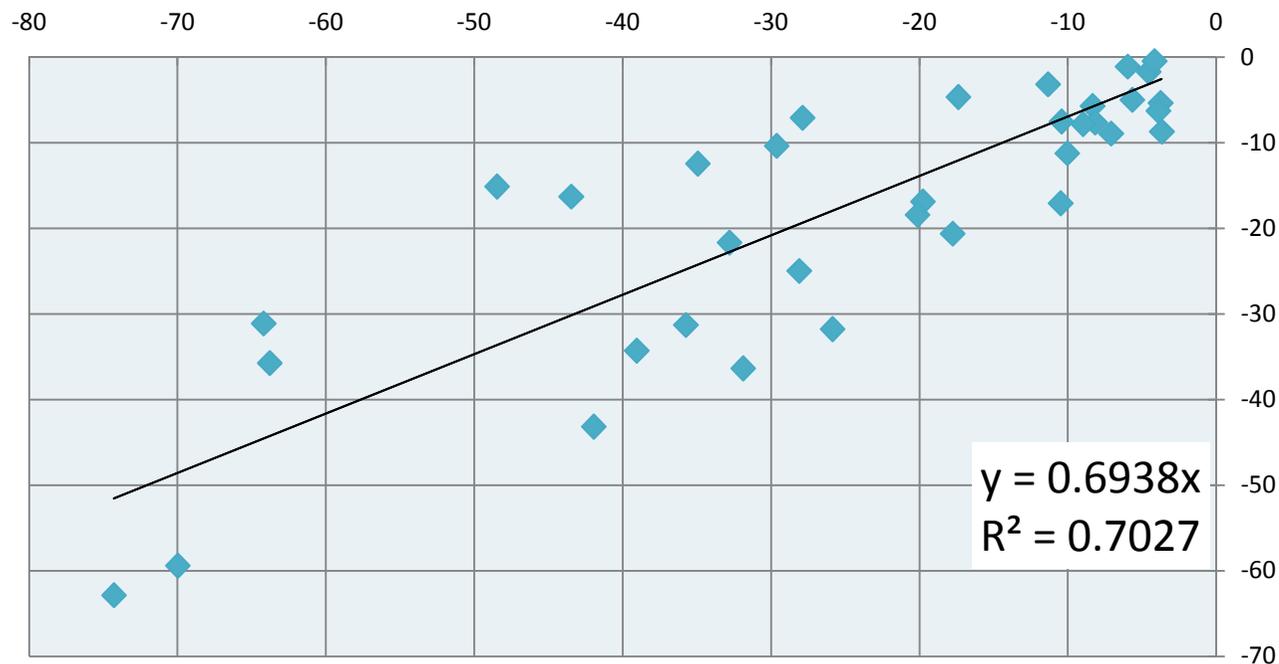
$\alpha$  = constante de homogeneidad (pendiente de la sublimación calculada y medida por los flujos turbulentos de calor latente)

$q$  = Humedad específica de la superficie in g Kg<sup>-1</sup> (Datos de re-análisis)

$q_s$  = Humedad específica de la superficie in g Kg<sup>-1</sup> (nieve/hielo en condiciones de fusión a 500hPa) = 7.598

$v$  = Velocidad promedio mensual del viento (m s<sup>-1</sup>)

Sublimation computed by turbulent latent heat fluxes



Sublimación constante de:  
170 mm w.e. a<sup>-1</sup>

1. INTRODUCCION

2. ÁREA DE ESTUDIO

3. METODOLOGÍA Y MATERIAL UTILIZADO

**4. RESULTADOS**

5. CONCLUSIONES

# COMPARACION CAUDALES MEDIDOS<sub>2000-2007</sub> VS CAUDALES CALCULADO<sub>1997-2006</sub>

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)**

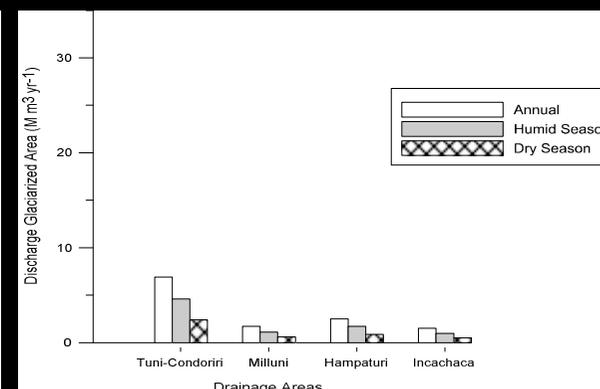
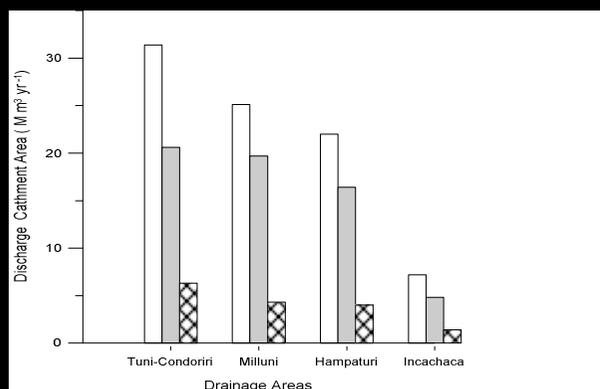
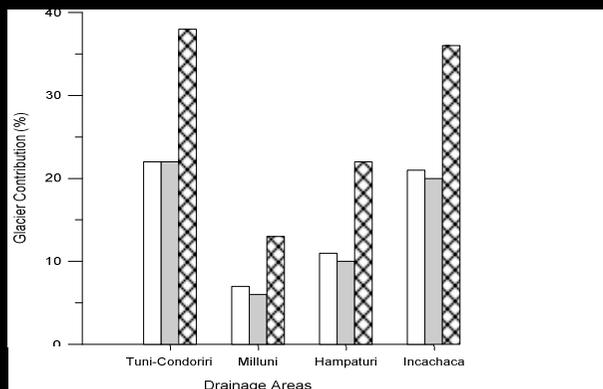
HÚMEDA	SECA
<b>66%</b>	<b>34%</b>

**PRECIPITACIÓN**

HÚMEDA	SECA
<b>84%</b>	<b>16%</b>

**SUBLIMACIÓN**

HÚMEDA	SECA
<b>27%</b>	<b>73%</b>



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%
<b>Caudal TOTAL</b>	<b>85.7</b>	<b>12.6</b>	<b>15%</b>	<b>61.5</b>	<b>8.4</b>	<b>14%</b>	<b>16.0</b>	<b>4.3</b>	<b>27%</b>

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)