

EL GLACIAR PIO XI: AVANCES Y RETROCESOS, EL IMPACTO SOBRE SU ENTORNO DURANTE EL PRESENTE SIGLO**

ANDRES RIVERA IBAÑEZ *

RESUMEN

El glaciar Pío XI se caracteriza por ser temperado, de gran dinámica y rodeado de un ecotono de gran biodiversidad. Al evaluar las fluctuaciones de su lengua terminal a nivel histórico se constata que tuvo un fuerte y repentino avance entre 1926 y 1928, embalsando el valle del río Greve. Posteriormente retrocedió unos 2,45 kms. a 1945. Desde dicha fecha y hasta 1976 ha avanzado continuamente, destacan fuertes movimientos de empuje poco antes de 1976. A dicha fecha volvió a embalsar el río Greve, formando un lago de 240.875 km² avanzando alrededor de 9 kms. desde su posición de 1945. Desde 1976 a 1985 se estabilizó registrando escasas fluctuaciones, en especial en su lengua norte (avance) y un leve retroceso de la sur. En 1992 se detectó un fuerte avance sobre el bosque, destruyéndolo inundando un "Trin Line" formado desde 1976. Los vectores de flujo y sus intensidades explican las tendencias de desplazamiento, todo lo cual fue analizado a partir de los patrones de sus morrenas centrales.

Es poco probable que su dinámica responda a una tendencia climática general. Más bien parece ser consecuencia de factores tectónicos provenientes del volcán Lautaro y/o factores locales de acumulación y consiguientes reacomodos de su perfil de equilibrio, similar a un "Surge". (Surge: movimiento de gran envergadura y velocidad de sobreacumulación y búsqueda del perfil de equilibrio del glaciar).

* Geógrafo, Departamento de Geografía, Universidad de Chile.

** Se agradece la colaboración en la realización de este documento de los señores Carlos Garín y Fernando Escobar de la Dirección General de Aguas; Sergio Gimpel del Ministerio de Relaciones Exteriores; Hugo Romero y Jorge Ortiz del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile; Charles Warren y Niel Garret del Departamento de Geografía de la Universidad de Edinburg y Miguel Martínez, Geógrafo.

ABSTRACT

The Pio XI glacier is characterized by being temperate, of great dynamics and surrounded by an ecosystem of great biodiversity. By evaluating the fluctuations of its terminal tongue through history it has been established that it had a strong and sudden advance between 1926 and 1928, damming up the Greve river valley. Later it retreated on 2,45 km by 1945. From that year to 1976 it continuously advanced, with strong movements just before 1976. That year the Greve river was once again dammed up, creating a 40,875 km² lake, moving forward approximately 9 kilometers from the 1945 position. From 1976 until 1985 it stabilized almost without fluctuations, especially in its Northern tongue (little advanced) and a slight retreat in the South tongue. In 1992 a strong advance over the neighboring wood was detected, destroying and flooding a "Trin Line" originated in 1976. The vector flows and its intensities explain the displacements trends, all analyzed from its central moraine patterns.

It is unlikely such dynamics would respond to a general climatic tendency (change). It seems more likely to be a consequence of tectonic factors originated from Lautaro volcano and/or local accumulative factors, and consequently readjustment of the equilibrium profile, similar to a Surge.

I. INTRODUCCION

El documento que a continuación se presenta se enmarca en la creciente necesidad de aportar al conocimiento de las características geocológicas del Campo de Hielo Sur (CHS), el que presenta una síntesis natural única en el mundo, debido a su condición no intervenida por proceso antrópico alguno, sin actividades económicas de importancia que debiliten su equilibrio natural, pero de gran fragilidad frente a cambios climáticos globales y locales. Posee, además, una amplia biodiversidad, principalmente, de especies declaradas en peligro de extinción, las cuales no cuentan con protección especial a pesar de tratarse de un parque nacional. Presenta una activa dinámica glaciaria, en especial del glaciar Pío XI o Brüggeren, el único en el mundo que encontrándose en estado de avance penetra actualmente en el bosque que lo rodea, destruyendo diversas formaciones vegetacionales, generando importantes morrenas de empuje.

Este documento es parte de un proyecto postulado por la Universidad de Edinburg, el Ministerio de Obras Públicas y el Departamento de Geografía de la Universidad de Chile.

II. EL AREA DE ESTUDIO, SUS CARACTERISTICAS CLIMATICAS Y GEOCRONOLOGICAS. EL PROBLEMA.

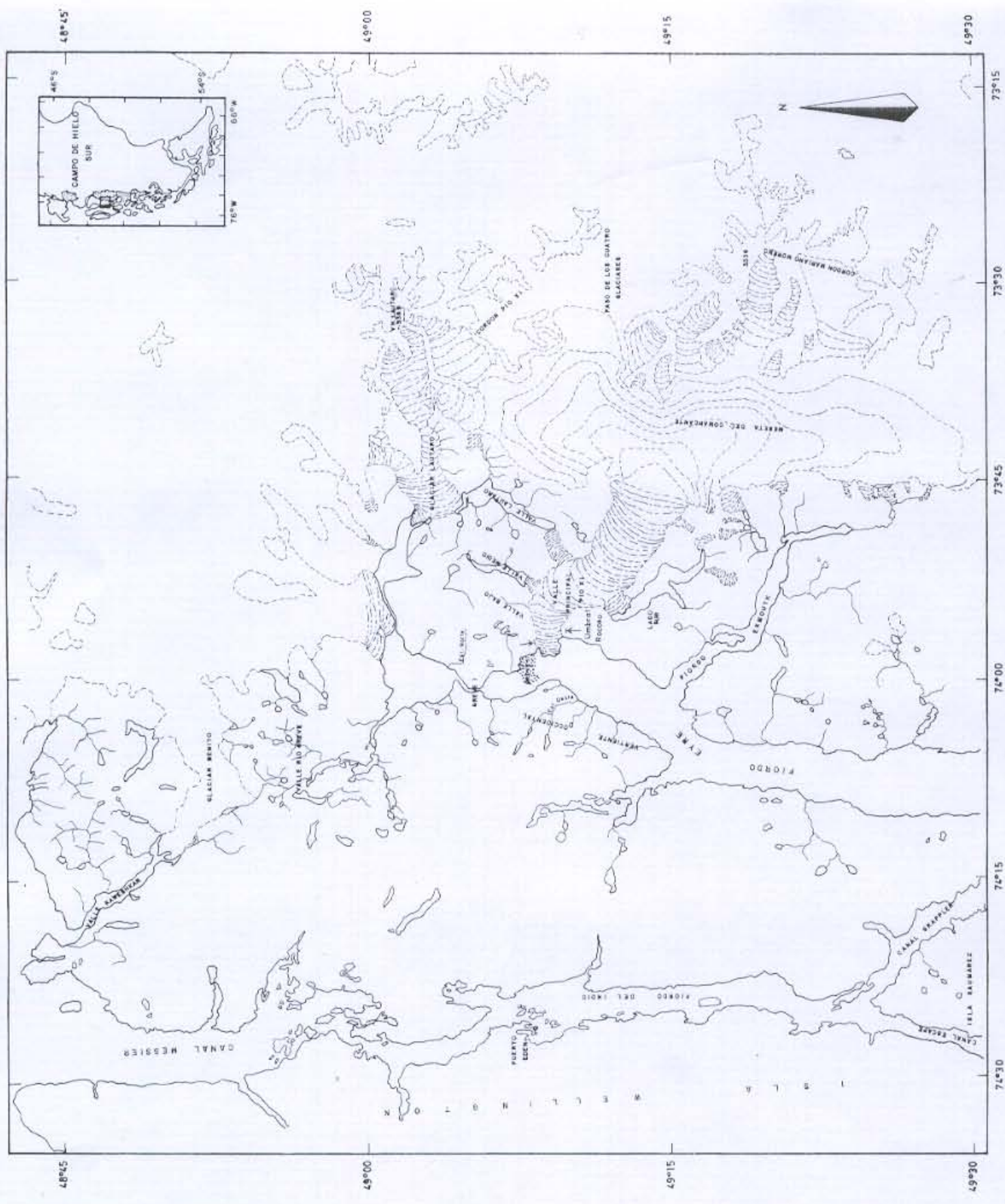
El glaciar Pío XI (49°13'S, 74°00'W) es definido como un glaciar subpolar húmedo (Marangunic,

1964) que drena el CHS, campo de hielo que se extiende desde los 48° 20'S a los 51°30'W con 350 kms. de largo, el que junto al Campo de Hielo Norte (CHN) constituyen el tercer casquete de hielo más extenso del mundo, con una superficie de 13.000 km² y 4.200 km² respectivamente (Naruse & Aniya, 1991).

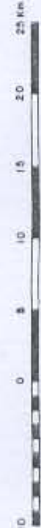
El Pío XI tiene su origen en el denominado paso de los cuatro glaciares, Cordón Pío XI y Cordón Mariano Moreno. Su lengua terminal se localiza en la cabecera de su fiordo Eyre, la cual, dependiendo de la fecha de su evaluación, se ha ubicado sobre el margen occidental del fiordo o ha penetrado sólo un par de kilómetros en el mismo (mapa 1).

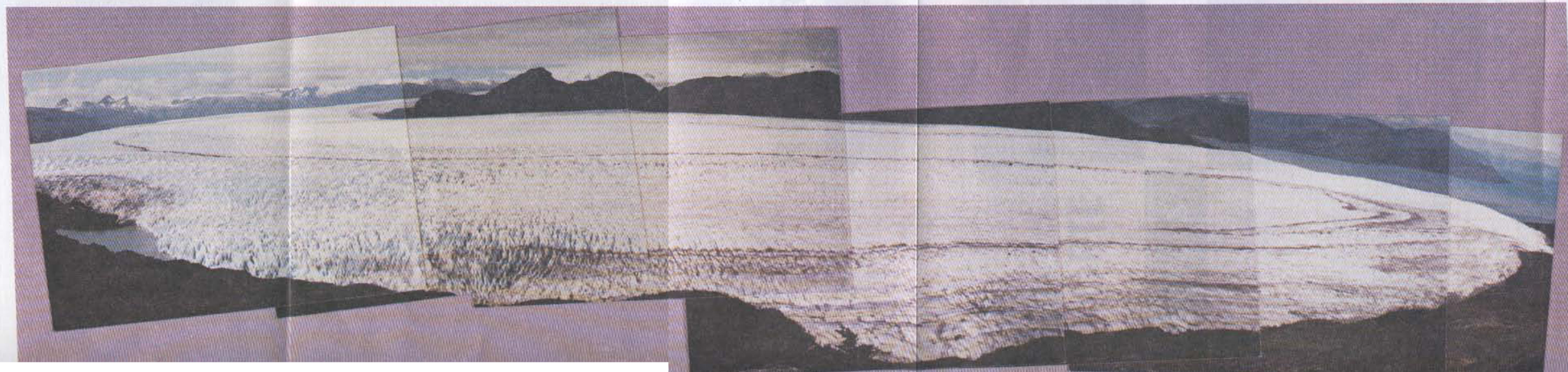
Los montos de precipitación en la parte alta del CHS y CHN no han sido analizados en detalle, pero fueron evaluados en más de 5.000 mm/a para ambos por la Dirección General de Aguas (DGA 1987) y en más de 10.000 mm/a por Fujiyoshi (1987) para el CHN.

Debido a que la temperatura del aire es relativamente temperada, los montos de ablación son muy altos, tanto como para que los glaciares de la Patagonia se caractericen como los más típicamente temperados del mundo (Naruse & Aniya, 1991) lo que no implica que durante el invierno, una onda polar penetre el hielo, manteniéndolo muy por debajo de 0°C en la zona de acumulación.



POSICION DEL GLACIAR 1945





LE 1.070 | 191 | 192 | 193 | 194 | 195 | 196 | 197 | 198 | 199 | 200 | 201 | 202 | 203 | 204 | 205 | 206 | 207 | 208 | 209 | 210 | 211 | 212 | 213 | 214 | 215 | 216 | 217 | 218 | 219 | 220 | 221 | 222 | 223 | 224 | 225 | 226 | 227 | 228 | 229 | 230 | 231 | 232 | 233 | 234 | 235 | 236 | 237 | 238 | 239 | 240 | 241 | 242 | 243 | 244 | 245 | 246 | 247 | 248 | 249 | 250 | 251 | 252 | 253 | 254 | 255 | 256 | 257 | 258 | 259 | 260 | 261 | 262 | 263 | 264 | 265 | 266 | 267 | 268 | 269 | 270 | 271 | 272 | 273 | 274 | 275 | 276 | 277 | 278 | 279 | 280 | 281 | 282 | 283 | 284 | 285 | 286 | 287 | 288 | 289 | 290 | 291 | 292 | 293 | 294 | 295 | 296 | 297 | 298 | 299 | 300 | 301 | 302 | 303 | 304 | 305 | 306 | 307 | 308 | 309 | 310 | 311 | 312 | 313 | 314 | 315 | 316 | 317 | 318 | 319 | 320 | 321 | 322 | 323 | 324 | 325 | 326 | 327 | 328 | 329 | 330 | 331 | 332 | 333 | 334 | 335 | 336 | 337 | 338 | 339 | 340 | 341 | 342 | 343 | 344 | 345 | 346 | 347 | 348 | 349 | 350 | 351 | 352 | 353 | 354 | 355 | 356 | 357 | 358 | 359 | 360 | 361 | 362 | 363 | 364 | 365 | 366 | 367 | 368 | 369 | 370 | 371 | 372 | 373 | 374 | 375 | 376 | 377 | 378 | 379 | 380 | 381 | 382 | 383 | 384 | 385 | 386 | 387 | 388 | 389 | 390 | 391 | 392 | 393 | 394 | 395 | 396 | 397 | 398 | 399 | 400 | 401 | 402 | 403 | 404 | 405 | 406 | 407 | 408 | 409 | 410 | 411 | 412 | 413 | 414 | 415 | 416 | 417 | 418 | 419 | 420 | 421 | 422 | 423 | 424 | 425 | 426 | 427 | 428 | 429 | 430 | 431 | 432 | 433 | 434 | 435 | 436 | 437 | 438 | 439 | 440 | 441 | 442 | 443 | 444 | 445 | 446 | 447 | 448 | 449 | 450 | 451 | 452 | 453 | 454 | 455 | 456 | 457 | 458 | 459 | 460 | 461 | 462 | 463 | 464 | 465 | 466 | 467 | 468 | 469 | 470 | 471 | 472 | 473 | 474 | 475 | 476 | 477 | 478 | 479 | 480 | 481 | 482 | 483 | 484 | 485 | 486 | 487 | 488 | 489 | 490 | 491 | 492 | 493 | 494 | 495 | 496 | 497 | 498 | 499 | 500 | 501 | 502 | 503 | 504 | 505 | 506 | 507 | 508 | 509 | 510 | 511 | 512 | 513 | 514 | 515 | 516 | 517 | 518 | 519 | 520 | 521 | 522 | 523 | 524 | 525 | 526 | 527 | 528 | 529 | 530 | 531 | 532 | 533 | 534 | 535 | 536 | 537 | 538 | 539 | 540 | 541 | 542 | 543 | 544 | 545 | 546 | 547 | 548 | 549 | 550 | 551 | 552 | 553 | 554 | 555 | 556 | 557 | 558 | 559 | 560 | 561 | 562 | 563 | 564 | 565 | 566 | 567 | 568 | 569 | 570 | 571 | 572 | 573 | 574 | 575 | 576 | 577 | 578 | 579 | 580 | 581 | 582 | 583 | 584 | 585 | 586 | 587 | 588 | 589 | 590 | 591 | 592 | 593 | 594 | 595 | 596 | 597 | 598 | 599 | 600 | 601 | 602 | 603 | 604 | 605 | 606 | 607 | 608 | 609 | 610 | 611 | 612 | 613 | 614 | 615 | 616 | 617 | 618 | 619 | 620 | 621 | 622 | 623 | 624 | 625 | 626 | 627 | 628 | 629 | 630 | 631 | 632 | 633 | 634 | 635 | 636 | 637 | 638 | 639 | 640 | 641 | 642 | 643 | 644 | 645 | 646 | 647 | 648 | 649 | 650 | 651 | 652 | 653 | 654 | 655 | 656 | 657 | 658 | 659 | 660 | 661 | 662 | 663 | 664 | 665 | 666 | 667 | 668 | 669 | 670 | 671 | 672 | 673 | 674 | 675 | 676 | 677 | 678 | 679 | 680 | 681 | 682 | 683 | 684 | 685 | 686 | 687 | 688 | 689 | 690 | 691 | 692 | 693 | 694 | 695 | 696 | 697 | 698 | 699 | 700 | 701 | 702 | 703 | 704 | 705 | 706 | 707 | 708 | 709 | 710 | 711 | 712 | 713 | 714 | 715 | 716 | 717 | 718 | 719 | 720 | 721 | 722 | 723 | 724 | 725 | 726 | 727 | 728 | 729 | 730 | 731 | 732 | 733 | 734 | 735 | 736 | 737 | 738 | 739 | 740 | 741 | 742 | 743 | 744 | 745 | 746 | 747 | 748 | 749 | 750 | 751 | 752 | 753 | 754 | 755 | 756 | 757 | 758 | 759 | 760 | 761 | 762 | 763 | 764 | 765 | 766 | 767 | 768 | 769 | 770 | 771 | 772 | 773 | 774 | 775 | 776 | 777 | 778 | 779 | 780 | 781 | 782 | 783 | 784 | 785 | 786 | 787 | 788 | 789 | 790 | 791 | 792 | 793 | 794 | 795 | 796 | 797 | 798 | 799 | 800 | 801 | 802 | 803 | 804 | 805 | 806 | 807 | 808 | 809 | 810 | 811 | 812 | 813 | 814 | 815 | 816 | 817 | 818 | 819 | 820 | 821 | 822 | 823 | 824 | 825 | 826 | 827 | 828 | 829 | 830 | 831 | 832 | 833 | 834 | 835 | 836 | 837 | 838 | 839 | 840 | 841 | 842 | 843 | 844 | 845 | 846 | 847 | 848 | 849 | 850 | 851 | 852 | 853 | 854 | 855 | 856 | 857 | 858 | 859 | 860 | 861 | 862 | 863 | 864 | 865 | 866 | 867 | 868 | 869 | 870 | 871 | 872 | 873 | 874 | 875 | 876 | 877 | 878 | 879 | 880 | 881 | 882 | 883 | 884 | 885 | 886 | 887 | 888 | 889 | 890 | 891 | 892 | 893 | 894 | 895 | 896 | 897 | 898 | 899 | 900 | 901 | 902 | 903 | 904 | 905 | 906 | 907 | 908 | 909 | 910 | 911 | 912 | 913 | 914 | 915 | 916 | 917 | 918 | 919 | 920 | 921 | 922 | 923 | 924 | 925 | 926 | 927 | 928 | 929 | 930 | 931 | 932 | 933 | 934 | 935 | 936 | 937 | 938 | 939 | 940 | 941 | 942 | 943 | 944 | 945 | 946 | 947 | 948 | 949 | 950 | 951 | 952 | 953 | 954 | 955 | 956 | 957 | 958 | 959 | 960 | 961 | 962 | 963 | 964 | 965 | 966 | 967 | 968 | 969 | 970 | 971 | 972 | 973 | 974 | 975 | 976 | 977 | 978 | 979 | 980 | 981 | 982 | 983 | 984 | 985 | 986 | 987 | 988 | 989 | 990 | 991 | 992 | 993 | 994 | 995 | 996 | 997 | 998 | 999 | 1000

LANDI

ENTRADA ARGENTINA
VIA SUROCCIDENTAL



En la Patagonia, Clapperton (1991) ha definido que el máximo avance glaciar se produjo en torno a los 20 a 19 mil años A.P. Dicho máximo avance cubrió la totalidad de la cordillera de los Andes Patagónicos, el piedmont oriental (los grandes lagos patagónicos), los archipiélagos occidentales e incluso la plataforma continental. A partir de los 18 mil A.P. los glaciares se retiraron a sus cuencas, registrándose un reavance cerca de los 14 mil A.P. aproximándose a sus límites del máximo avance.

En el estadio Tardi Glacial, 13 a 10 mil A.P., datos sedimentarios y paleontológicos demuestran convincentemente que hubo un mejoramiento de las condiciones climáticas. Turberas formadas en valles cercanos a los campos de hielo patagónicos datan de más de 12 mil A.P. La deglaciación fue con carácter catastrófico durante el milenio de 13.500 a 12.500 A.P. (Clapperton, 1991).

Poco después de los 12 mil A.P., se produjo una reversión climática, o serie de reversiones, indicadas por los perfiles de polen en los Andes tanto del norte como del sur de América. La múltiple naturaleza de las morrenas datadas sugieren que los glaciares avanzaron a lo menos en tres oportunidades.

Según Heusser (1960), en la Laguna de San Rafael, ubicada en la margen occidental del CHN, se han dado tres avances. El primero a los 4.000 A.P. (Témpanos 1), el segundo unos 200 o 400 años después (Témpanos 2) y el tercero, no fechado, pero probablemente de menor magnitud cerca del anterior.

Datos históricos afirman la idea que el glaciar San Rafael avanzó fuertemente entre 1675 y 1766. Morrenas de recesión han sido datadas para 1882, así como entre 1910 y 1935 el retroceso del hielo fue rápido (Brüggen, 1950). Pero a partir de 1940, la posición frontal no cambió sustancialmente excepto por un reavance durante el invierno de 1959 (Heusser, 1960). A partir de dicha fecha, el retroceso ha sido importante, unos 200 m/a desde 1974 a 1986 (Aniya, 1988 in Naruse y Aniya, 1991), salvo por una estabilización en el año 1991-92 (terreno 1991).

El glaciar Pío XI posee numerosos antecedentes históricos y científicos, que evidencian la alta variabilidad de la posición de su lengua terminal; desde una posición de máximo retroceso en 1830, un repentino avance en 1925, un retroceso importante a 1945, reavance entre dicho año y 1976 y estabilización e incluso ciertas manifestaciones de retroceso en algunos sectores y fuerte avance en otros a 1992.

Según Aniya y Naruse, 1991 (in Aniya y Skvarca, 1991), analizando el CHS con imágenes Landsat MSS y TM, se define para el glaciar Pío XI un avance de 140 m/a para su lengua norte y un retroceso de 60 m/a para la sur en el período 1976-1986.

Dadas las anteriores características de alta dinámica es dable suponer cambios direccionales y de velocidad importantes al interior del glaciar, lo cual puede ser explicado por distintos montos de acumulación o incluso los efectos del volcán Lautaro localizado en la divisoria del cordón Pío XI.

III. OBJETIVOS GENERALES

- Definir en detalle las fluctuaciones operadas en el frente del glaciar Pío XI durante el siglo veinte, caracterizando el entorno englaciado.
- Aproximar modelos explicativos de la dinámica operada.

IV. METODOLOGIA.

A partir de los mejores y más representativos vuelos para el área se realizó un levantamiento cartográfico preliminar, más preciso que la única carta preliminar del IGM disponible, a escala 250.000, la escala de las fotos aéreas bordea los 50.000 y 60.000 por lo que el levantamiento detallado posee dicha escala aproximada.

Se fotointerpretó la posición del frente de hielo, la estructura de grietas, las morrenas mediales y se definió la geomorfología general de la zona de contacto.

Se midieron las diferencias interanuales en función de calcular los montos de avance y/o

retroceso, las velocidades aproximadas y las tendencias generales de flujo.

A base de los antecedentes recopilados en el terreno de 1992, se intenta dar una explicación del flujo, dirección y tendencias futuras del glaciar.

V. RESULTADOS

Los primeros antecedentes fueron aportados por la expedición del H.M.S Beagle, quienes definieron el frente del glaciar en la cabecera del fiordo Eyre para el año 1830 (in. Iwata, 1983). Según Mercer (1964), la posición señalada por el Beagle coincide con la parte interior del brazo este del fiordo Eyre.

ANALISIS PERIODO 1925-1928

Agostini (1941), expuso la aventura de un colono noruego de nombre Samsing, el cual intentó fundar una estancia inmediatamente al norte del frente glaciar, sector que reconoció en noviembre de 1924, describiéndolo como un extenso valle con abundantes pastos, que crecían sobre un terreno de aluvión y sobre morrenas de un antiguo glaciar. En febrero de 1925 comenzó el transporte de los enseres y materiales, con los que edificó tres casitas, galpones y depósitos, con los cuales pensaba administrar las 200 ovejas, algunos equinos y bovinos que allí logró introducir.

En el siguiente otoño, la nieve y el hambre diezmaron su hacienda, la cual pensó podría recuperar durante la primavera. Pero un repentino avance del Pío XI que se ubicaba más al sur, al este de la desembocadura del río Greve lo obligó a suspender su empresa. En los primeros meses de 1925 el trecho entre el glaciar y la orilla occidental del fiordo medía 1 km. no dificultando la salida del valle del río Greve (que desembocaba libremente en la cabecera del fiordo Eyre). En septiembre de 1926 comenzó el avance, que fue descrito como sorprendente, puesto que se podía apreciar día tras día. Este avance auguraba cortar la salida del río Greve e inundar el valle que el noruego intentó transformar en estancia. Sin otra alternativa, Samsing dispuso evacuar el área,

embarcando unos pocos enseres en su cúter, cruzando el ahora estrecho y peligroso canal entre la pared de hielo y las rocas, que sólo poseía unas decenas de metros.

A las pocas semanas, el glaciar, continuando su avance, siguió hasta quebrar su colosal frente, de cien metros de alto, sobre una barrera rocosa de la costa opuesta (occidental), aplastando la selva que revestía dicha vertiente.

Se puede concluir, a la luz de la narración precedente, que Samsing detectó el avance del glaciar en septiembre de 1926 y dado que "inmediatamente" evacuó (llevando una pequeña parte de sus bienes, perdiendo el ganado e infraestructura), es dable suponer que lo hizo en el mismo mes. Dado que a las pocas semanas el frente de hielo cerró el pasó, se puede concluir que el glaciar avanzó 1.000 metros en unos 2 ó 3 meses. Esto es ratificado por una fotografía tomada al canal pocos días antes que el glaciar cerrara el paso. En ella se aprecia una importante acumulación dentrítica (parecen sedimentos finos) en el frente del hielo, evidenciando un fuerte avance sobre la cabecera del fiordo, que en dicha posición debió tener profundidad. Se ven además los depósitos del río Greve, el cual aparece torrencioso y encauzado contra la vertiente occidental del fiordo.

El mismo Agostini visitó el área en 1928 (Agostini, 1949), describiendo el frente del glaciar posado sobre los cerros del margen occidental del fiordo, generando una lago más al norte. También hizo un bosquejo de la posición del glaciar.

Desde septiembre de 1926 a diciembre de 1928 el glaciar avanzó unas escasas decenas o cientos de metros. Lo que podría ser interpretado como una relativa estabilización o, mejor aún, como el inicio del proceso de deformación de la lengua terminal, por efecto de la oposición progresiva de la ladera opuesta al avance del hielo. Se aprecia del bosquejo de Agostini que el glaciar embalsaba el río Greve, por medio de una estrecha franja de 1,5 kms de contacto de hielo con la vertiente occidente del fiordo. Destaca, además, el esbozo de una prolongación al sur y norte de la lengua terminal. (Figura 1a).

..... 183
--- EN
- - - SE
— DI

1951

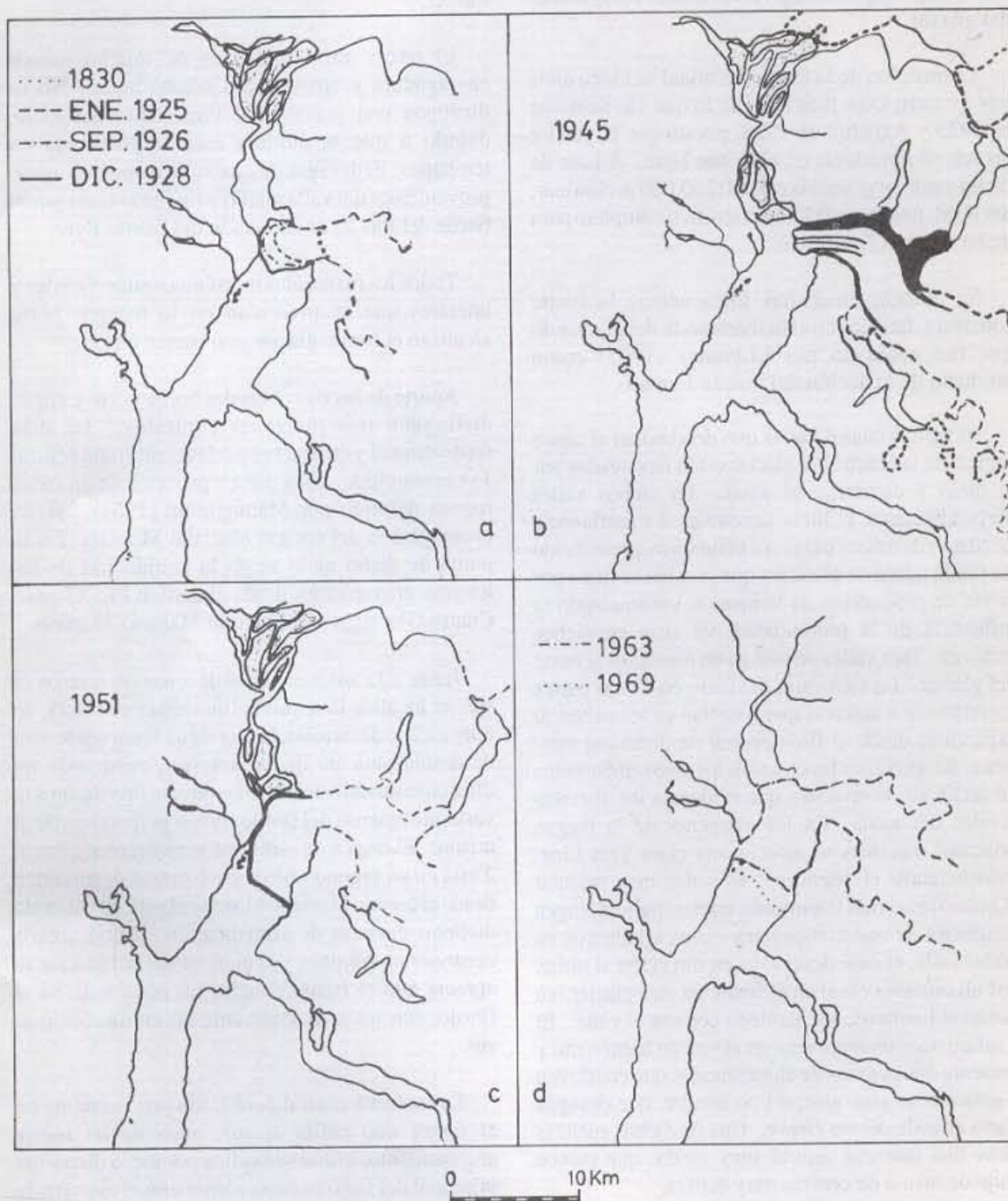


Fig. 1. Cambios de posición del frente del glaciar Pio XI en el período 1830 – 1969.

ANALISIS 1945

En el verano 1944-45 se realizó el vuelo Trimetrogón, que entregó las primeras fotos aéreas del glaciar.

La posición de la lengua terminal se ubica unos tres a cuatro kms. más atrás de lo que vio Samsing en 1925 y Agostini en 1928, puesto que el glaciar apenas se introducía en el fiordo Eyre. A base de dicho vuelo se generó la carta 1:250.000 preliminar, del IGM, único material cartográfico completo para dicha región (Figura 1b).

Se aprecia en dichas fotos aéreas la fuerte cobertura detrítica en el margen norte del glaciar, lo que fue evaluado por Lliboutry (1965) como producto de la acción del volcán Lautaro.

Al menos cuatro valles que descendían al cauce central de la lengua del glaciar están taponeados por el hielo y cubiertos de agua. En dichos valles perpendiculares, el hielo penetra cual transfluencia de cientos de metros o algunos kilómetros, presentando un frente típico de glaciares que pierden su masa por la vía de producción de témpanos, evidenciando la influencia de la profundidad del agua en dichos sectores. Tres valles se ubican en dirección al norte del glaciar. La estructura del hielo en dichas partes corresponde a aureolas que penetran en los valles, al expandirse desde el flujo central de dirección este-oeste. Se aprecia en las costas de los lagos embalsados un sector sin vegetación, que evidencia los distintos niveles del agua. En las márgenes de la lengua principal, también se aprecia una clara Trin Line, evidenciando el retroceso. El valle más oriental (Lautaro) es el más importante, puesto que una lengua recubierta de material penetra varios kilómetros en dicho valle, el cual desagüaba en dirección al norte, por un estrecho canal en el frente de otro glaciar (en adelante Lautaro), que también cerraba el valle. El Lautaro nace directamente en el volcán homónimo y presenta dos cuencas de alimentación, que confluyen y generan un gran glaciar tipo lobular, que desagua hacia el valle del río Greve. Una de dichas cuencas tiene una morrena central muy nítida, que parece flujo de lava o de cenizas muy densas.

En el valle central (medio), el hielo penetra algunos cientos de metros. También está recubierto,

pero con menor densidad de materiales. La aureola de expansión es nítida. El desagüe del valle es en dirección al sur, por el borde de la lengua central del Pío XI.

El tercer valle (bajo) es de mucho menor envergadura y aparece con escasa agua. No se distingue una penetración importante del hielo, debido a que la aureola está fragmentada en témpanos. El desagüe de este valle recoge las aguas provenientes del valle medio y fluyen al oeste por el borde del Pío XI en dirección del fiordo Eyre.

Todos los materiales morrénicos superficiales y laterales que se presentan en la margen norte alcanzan el frente glaciar con franca nitidez.

Aparte de las morrenas del borde norte y sur se distinguen tres morrenas centrales. La más septentrional y central (en adelante morrena central 1) es más nítida. Esta parece provenir de un molo rocoso definido por Maranguinic (1964), como prolongación del cordón Mariano Moreno. En la punta de dicho molo se da la conjunción de las lenguas provenientes desde el cordón Pío XI-paso Cuatro Glaciares y del cordón Mariano Moreno.

Junto a la anterior, unas decenas de metros al sur, se localiza la segunda (morrena central 2), de muy escaso desarrollo, la que sigue igual tendencia de desplazamiento que la anterior, mostrando un direccionamiento del flujo en directa oposición a la vertiente opuesta del fiordo Eyre y perpendicular al mismo. El origen de este cordón morrénico central 2 está en un segundo filo rocoso que se desprenden desde el cordón Mariano Moreno al este, dividiendo distintas cuencas de alimentación. Entre ambos cordones morrénicos y el margen sur del glaciar se aprecia que el frente penetra un poco más en el fiordo, con un leve arqueamiento en dirección al sur.

La morrena central 3, ubicada precisamente en el sector que enfila al sur, presenta un fuerte arqueamiento, lo que se explica porque la dirección principal del flujo es coincidente con el eje sureste-oeste, pero cuando el glaciar sale del umbral rocoso, que hasta dicho punto ha encauzado al glaciar, el frente tiende a expandirse, al estilo de un glaciar

lobular. El origen de esta morrena está en un tercer filo rocoso del cordón Mariano Moreno.

En el borde sur de la lengua principal del Pío X aparece un último recubrimiento morrénico superficial lateral, que tiene su origen a menor altura que los anteriores, en el punto donde la lengua central, proveniente de la parte sur de la meseta del Comandante, dobla al oeste y se encauza por el valle en dirección del fiordo Eyre. Estas morrenas laterales corren paralelas a un abrupto escarpe de rocas, que en aquella época separaba la lengua principal de un lago embalsado marginal. Un poco más al oeste del término del escarpe rocoso mencionado, el hielo logra penetrar por un extinguido valle algunos kilómetros, formando un frente muy activo con producción de témpanos. El hielo que penetra en el lago mencionado no logra desviar completamente las morrenas que en dicha posición lo cubren, por lo que una parte, luego de adquirir una desviación tipo aureola de forma convexa hacia el valle embalsado, sigue al oeste hasta terminar en el frente del Pío XI, en el fiordo Eyre. Al final de su trayecto, estas morrenas son completamente desviadas al sur, no superando más que algunos cientos de metros el umbral rocoso que define al fiordo. En la punta norte de dicha superficie rocosa constituyente del umbral mencionado se aprecia un "Trin Line" de decenas de metros, denotando el retroceso. (Trin Line.: superficie rocosa desvegetada, que separa el borde del glaciar del límite del bosque. Se produce por el retroceso reciente del glaciar. Sobre dicha superficie comienzan a aparecer progresivas formaciones generacionales, que permiten aproximar la data de la posición del glaciar sobre el límite actual del bosque.

Dicha curvatura se ve favorecida porque la lengua central viene encauzada en el valle del eje sureste-oeste. El hielo pasa de la meseta del Comandante a un estrecho valle sureste-noreste, hasta que a la altura del valle bajo el cambio de eje es ostensible. Los flujos empiezan a curvarse al oeste, producto de la oposición de la ladera norte del valle principal. Dicho rechazo podría favorecer una tendencia progresiva de curvación al sur.

El arqueamiento no se da con igual énfasis en dirección al norte porque es en dicha posición donde se ubicaban importantes sedimentos

morrénicos de empuje, depositados, sin duda, en el avance del glaciar, durante el período anterior (1925-28), lo que se gráfica en la inexistencia de vegetación y las muestras de reciente remoción. Se denominará en lo sucesivo a dichas morrenas Greve II.

Además de dichas morrenas de empuje (que a dicha fecha ya habían sido trabajadas por el oleaje y la desembocadura del río Greve, por lo que sólo quedaba la porción norte del arco morrénico), importantes depósitos de sedimentos finos, provenientes del desagüe del río Greve, cubrían la cabecera norte del fiordo, transformándose este sector en uno con mayores obstáculos para el avance del glaciar.

Poco más al norte del cordón Greve II se destaca un segundo cordón morrénico de mayor envergadura y escasa vegetación (en lo sucesivo se denominará a este cordón Greve I) Este cordón aparece disectado por el río Greve en su parte central, tramo por donde escurría con gran caudal. El cordón Greve I está a los pies de un valle lateral de morfología glaciar que desemboca en el fiordo. A los pies de dicho valle, se aprecian numerosos depósitos morrénicos, con una vigorosa cobertura vegetal. Dichas morrenas tienen forma de colinas bajas con dirección norte-sur, las cuales desvían el desagüe del río que drena dicho valle lateral, en dirección al norte. El contacto de dichas morrenas laterales con el macizo cordillerano es abrupto, puesto que este último posee un farellón de varios cientos de metros.

El cordón Greve I no ha sido datado, pero muestra la posición de avance máximo postglacial.

ANÁLISIS 1951

El Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile (IHA), en octubre de 1951 publicó la carta hidrográfica del área, la cual muestra evidencias de un nuevo avance del glaciar, con gran preeminencia en dirección al sur, no siendo suficiente dicho avance como para cerrar el paso del río Greve, el cual aparece con gran torrencialidad fluyendo al sur en dirección del fiordo (Figura 1c).

En el texto donde se narra la expedición que delimitó la carta de la Armada (IHA, 1972), hay

cierta contradicción con respecto a lo mostrado en la cartografía. Si consideramos, que a la fecha aún no se publicaba la carta preliminar del IGM, que data de 1954, es dable suponer errores en lo referente a la zona terrestre del fiordo Eyre. Sin embargo, la aparición del río Greve y unos islotes entre el hielo y la vertiente occidental del fiordo indican que el río aún desaguaba por un estrecho canal al sur. El glaciar giró completamente al sur, con mayor avance en su lado oriental.

Las sondajes del fondo del fiordo registran escasa profundidad 8 y 35 metros, desde el frente del glaciar hasta la boca del fiordo Exmouth, distante unas 7 a 8 millas al sur. A partir de dicha boca, la profundidad aumenta progresivamente en dirección al sur, siendo muy difícil advertir, a partir de sus montos, posibles depósitos morrénicos submarinos, coincidentes con el estado de avance Greve I, salvo en un promontorio submarino unas 14 millas al sur del frente glaciar.

Entre el año 1945 y 1955, el glaciar avanzó 4.250 metros en el margen oeste del frente sur y 6.500 metros en el margen este, tocando la vertiente occidental del fiordo, desviándose al sur, con gran fuerza, debido en parte al rechazo producido en la parte norte de la lengua por las morrenas Greve II. Al parecer el glaciar no tiene desviación septentrional.

Hasta el año 1951, la fuerza de avance no era suficiente para cerrar el desagüe del río, por lo que es dable suponer menor intensidad que en el repentino avance de 1925, donde el lago se generó al cabo de 3 años. Esta menor fuerza de avance puede explicar la desviación al sur de la lengua, puesto que al ser menor la aceleración de la lengua central, la deformación y la expansión al sur no tuvo mayor contrapeso, el cual se establece al chocar el vector de intensidad mayor con la vertiente occidental del fiordo.

De existir mayor aceleración en el eje central, el hielo hubiese atacado la vertiente occidental del fiordo y el hielo se hubiese encaramado en la ladera, cerrando el paso al río Greve y formando el lago. Además se hubiese curvado al sur, pero la mayor intensidad y velocidad del avance se hubiese dado en oposición directa a dicha ladera occidental.

El promedio de avance en el lado oeste del frente sur puede ser evaluado en 708,3 m/a y de 1.083,3 m/a en el lado este, para el período 1945-1951.

ANÁLISIS PERIODO 1963 y 1969

En enero de 1963, C. Marangunic definió el frente unos 5,3 kms. más al sur de la posición señalada por el IGM para 1945 (Figura 1d) lo que arrojó un promedio de avance de 295 m. al año (Marangunic, 1964).

En dicha expedición Marangunic no trabajó sobre la zona de ablación, puesto que ascendió al CHS por el fiordo Exmouth, en búsqueda del paso Cuatro Glaciares. Sin embargo, dibujó la posición del hielo y las morrenas de recubrimiento. Allí se aprecian las dos morrenas laterales antes descritas.

La morrena lateral norte se prolonga a lo largo del frente norte, en contacto con la vertiente occidental, hasta desembocar en el fiordo Eyre.

La morrena lateral sur también desemboca en el fiordo, luego de un drástico arqueamiento al sur.

Se detallan tres morrenas mediales, cuya disposición no varía mayormente con las detalladas para 1945 ni en su posición ni origen. Todas se curvan al sur y desembocan en el fiordo.

Cabe destacar que el avance graficado en 1963 no ha generado mayores cambios en los valles laterales del lado norte (Lautaro, Medio y Bajo), sin embargo, en el valle del flanco meridional se aprecia una lengua que logra superar el escarpe rocoso que separaba el hielo del lago embalsado.

El lago Greve, de 1963, correspondía a la mayor parte del fondo del río Greve. No aparecen los depósitos torrenciales graficados en 1945 para esta zona (entre las morrenas Greve I y II). De hecho las morrenas Greve II han desaparecido bajo el agua, estimándose que el frente norte de la lengua glacial está sobre dichos depósitos. El cordón Greve I todavía es distinguible, llegando el agua unos pocos metros más arriba que en 1945. El río lateral sobre Greve I sigue desviado al norte.

Es dable suponer que entre 1951 y 1963, el avance adquirió mayor fuerza, en contra de la vertiente occidental, por lo que el desagüe del río Greve se cerró y empezó a formarse el lago.

Del documento elaborado por Marangunic (1964), se destaca que la línea de equilibrio fue determinada en 800 metros, la que, comparada con la del año 1945, evidencia un descenso de 50 u 80 metros. La ablación es proporcionalmente mayor bajo los 300 metros, siendo la fusión el principal factor de pérdida de masa. Esto se favorece por las mayores temperaturas y las continuas precipitaciones líquidas que lavan la superficie del glaciar, empapando su capilaridad a mayor profundidad, aumentando su aptitud a la fusión. El frente sur del glaciar presentaba unos 50 metros de alto y 6 kms. de ancho. Por último deduce un espesor del hielo en su frente de unos 120 metros, con una sección cercana a los 0,55 km².

Del mapa de Marangunic (1964) se desprende que entre 1951 y 1963 el glaciar avanzó 1.050 metros en el flanco oeste del frente sur y unos 200 metros en el costado oriental. El promedio para el período es de 87,5 m/a (lado oeste) y 17 m/a (flanco oriental).

En enero de 1969, Iwata 1983 cruzó el campo de hielo desde el fiordo Exmouth al glaciar Upsala en Argentina. En dicha travesía no logró apreciar una pequeña isla detectada por Marangunic en 1963, por lo que estimó un leve avance de 1 a 2 kms, siendo mucho más destacado el avance en el margen oriental del glaciar.

ANALISIS IMAGEN LANDSAT MSS 1976

El 25 de febrero de 1976, el satélite Landsat MSS tomó una imagen de la mitad norte del CHS. Una combinación de los canales 4, 5 y 7 en falso color fue publicada a escala 1:500.000 por Iren-Corfo en 1978 (figura 2a).

Se aprecia en estas imágenes que el glaciar ha avanzado considerablemente, tanto al norte como al sur, desde la posición de 1969. Según Iwata (1983), el avance fue de 2 a 3 kms. al sur respecto de su posición (1969). En la lengua norte del

glaciar, el hielo superó las morrenas Greve II y avanzó 1.250 metros.

Destaca la gran formación del lago embalsado (en adelante lago Greve), el cual desagua por el norte en el frente del glaciar Benito, a través del valle Kaweshkar. En el lago formado se aprecian otros aportes glaciares que caen a él directamente, produciendo témpanos, tales como el glaciar efloente del Pfo XI que corre al norte por el valle Lautaro con gran cantidad de material superficial y ha avanzado algunos kilómetros; el glaciar Lautaro, que se aprecia reducido en tamaño puesto que la lengua norte que hasta dicha fecha lo alimentaba, está separado de la lengua principal que posee las grandes morrenas centrales del volcán Lautaro. Otros glaciares sin nombre y con gran cobertura morrénica superficial también desembocan en el lago, el cual adquiere una superficie aproximada de 240,875 km².

Destaca el avance de lenguas marginales laterales, tales como la ya mencionada del valle Lautaro. La lengua del valle medio también ha avanzado, pero no lo suficiente como para cambiar la vía de su desagüe. La lengua del valle bajo ha adquirido mayor fuerza y penetra, al estilo de una aureola de expansión, unos 2,2 kms. en el valle.

La mayor parte de las morrenas de recubrimiento del margen norte (con origen en el volcán Lautaro) se pierden por los tres valles anteriores, impidiendo su salida al que ahora es el lago Greve.

En el margen sur de la lengua central, el hielo ha superado casi completamente el escarpe rocoso que lo separaba del lago marginal allí ubicado, el cual se ha reducido considerablemente de tamaño y ha elevado su cota varios cientos de metros. La lengua que penetra en el antiguo valle embalsado lo hace tanto por el antiguo paso de 1945, como por sobre el farellón, el que sólo se aprecia por una coloración alargada, tipo morrena superficial con forma circular, en la punta oeste del antiguo escarpe rocoso, y una prolongación lineal hacia el este, sobre el antiguo escarpe. Se nota que el hielo tiene una fuerte pendiente en ese sector y que no todo el escarpe está recubierto.

Sobre el hielo que penetra en el lago del lado sur, las morrenas superficiales laterales penetran como

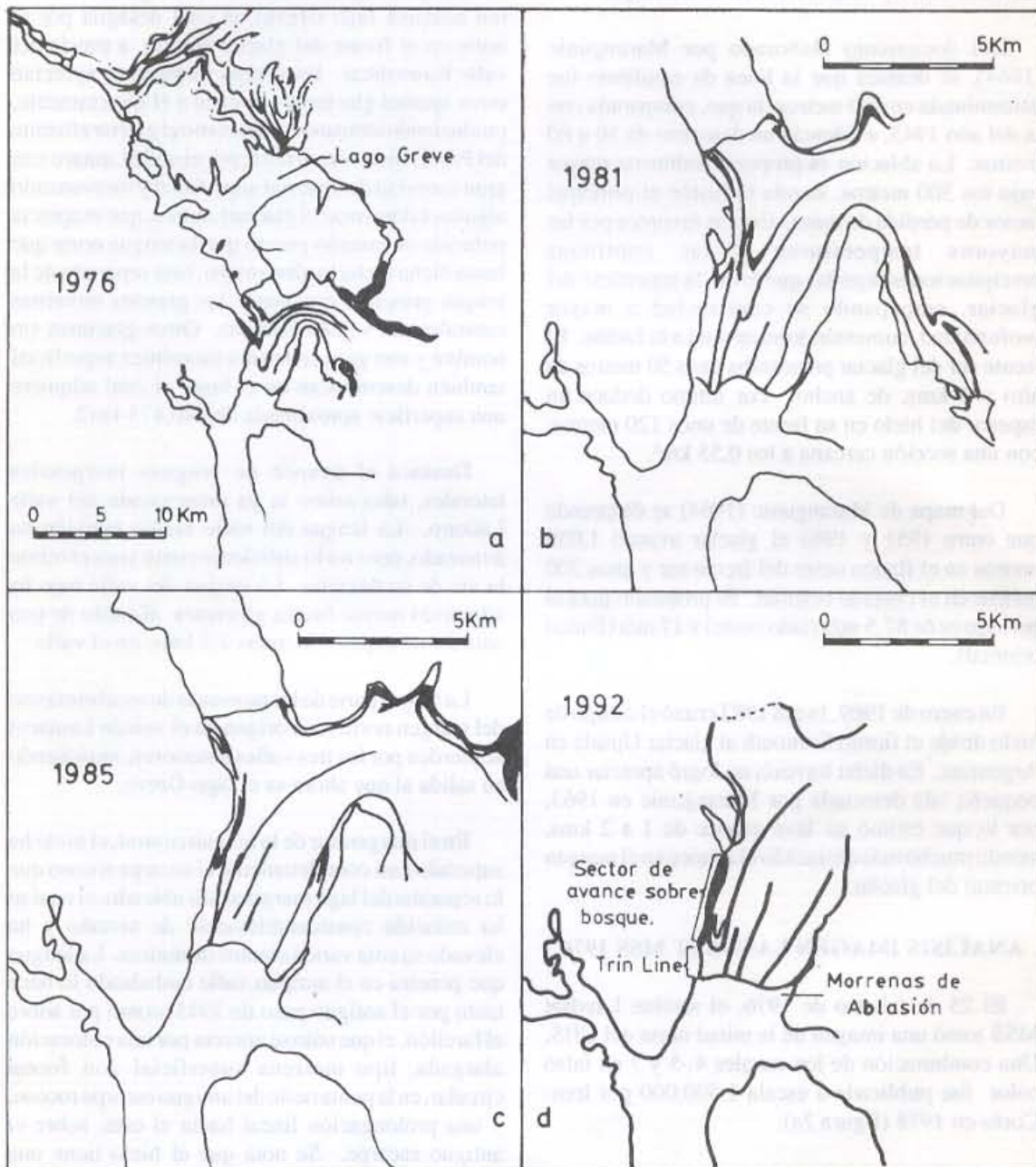


Fig. 2. Cambios de posición de los frentes del glaciar Pio XI en el período 1976 – 1992.

aureolas de expansión con punta de flecha, para luego devolverse al cauce central y continuar por el borde del Pío XI, hasta superar el umbral rocoso que da paso al antiguo lecho del fiordo Eyre. A partir de este punto, la morrena lateral se expande hasta cubrir casi un tercio de la lengua sur del glaciar e incluso parece que recubre todo el frente del hielo hasta ponerse en contacto con la vertiente occidental del fiordo.

Las tres morrenas centrales detectadas en 1945 y 1963 son apreciables aproximadamente desde el valle Lautaro al poniente y luego del umbral rocoso, al norte y sur.

La imagen de la morrena central 1 sigue siendo muy nítida, puesto que luego de superar el umbral rocoso presenta una pequeña inflexión al sur, para luego doblar bruscamente al norte, formando una especie de flecha, y luego doblar bruscamente al sur hasta perderse. Una línea morrénica menos nítida se desprende de la anterior, esta vez con dirección norte hasta desembocar en el frente norte de la lengua glaciar en el lago Greve. La traza total de esta morrena, por las inflexiones que experimenta, es similar a una letra "M" vista desde el sur, muy alargada y curvada al noreste.

La morrena central 2, definida un poco más al sur que la anterior, tiene mayor nitidez que en 1945 (y 1992), siguiendo una tendencia similar a la morrena antes descrita. Esta vez los quiebres no son tan bruscos. La dirección principal antes de acceder al umbral rocoso es suroeste. Accediendo al plano del antiguo fiordo adquiere una pequeña inflexión convexa en dirección al sur, justo en la parte central de la lengua. De allí vira suavemente hacia el norte, para luego inclinarse decididamente hacia el sur. Dos puntas de flechas son distinguibles, las cuales pueden ser descritas como formando una letra "W" miradas desde el sur.

Dicha "W" es coincidente con la "M" anterior, tanto en su posición (una al sur, la W, y la otra al norte, la M) y se postula que pueden corresponder a repentinos y veloces avances del hielo, que comprimieron las morrenas centrales contra la vertiente occidental, inflectando las curvas. Es dable suponer que a lo menos dos fuertes impulsos (¿Surges ?) debieron ocurrir para dejar en dichas

posiciones los lineamientos morrénicos. En estos dos casos de deslizamiento fuerte es dable un vector de direccionamiento perpendicular al eje del fiordo (norte-sur).

La morrena central 3 sólo se manifiesta sobre el hielo que cubre el antiguo fondo del fiordo (de eje norte-sur). Su tendencia es relativamente paralela a las márgenes del fiordo, pero posee una fuerte curva que la prolonga al norte, pocos kilómetros antes del frente terminal sur.

Es probable que la fuerte curvatura de la morrena 3 sea equivalente a un avance posterior en dirección al sur, sin mucho contrapeso de la vertiente occidental (sería un movimiento menos acelerado y de menor potencia que los que zigzaguearon las morrenas 1 y 2), movimiento que también se refleja en las otras dos morrenas; en la pequeña e incipiente primera flecha de la morrena 1 y en la primaria pequeña curvatura al de la 2, ambas apuntando al sur. En este contexto el flujo se habría concentrado entre las morrenas 2 y lateral sur. Es probable que con posterioridad a los dos fuertes movimientos, el hielo haya reducido su velocidad, tendiendo a detenerse en búsqueda de su posición de equilibrio, lo que implicó un flujo accionado más por gravedad y pendiente, que por aceleración frontal.

Aparte de los lagos embalsados ya mencionados, se han formado dos nuevos, esta vez al cerrarse la salida de dos ríos menores, nacidos en la vertiente occidental que hasta 1969 alcanzaba directamente al mar en el fiordo. En 1976, sus salidas aparecen tapadas, y muy probablemente, desagüen a nivel subglacial en dirección sur.

Analizando la textura de la imagen se aprecian las ondulaciones del hielo sobre la superficie rocosa. Es claro el salto que une la meseta del Comandante con la lengua central. También lo es un segundo obstáculo superado, entre el valle Lautaro y el Medio. Luego se aprecia que el hielo tiene un mayor abultamiento en la parte central norte sobre el umbral rocoso. Desde allí al sur, la pendiente es mayor, por lo que el hielo se curva con facilidad. En la parte más alta, el hielo se desplaza en dirección al WSW, en oposición a la vertiente oponente, que lo obliga a desviarse al norte y sur.

Se aprecia que el hielo una vez llegado al antiguo lecho del fiordo sufre una fuerte compresión contra la vertiente occidental, facilitando las expansiones norte y sur. Sin embargo, el flujo tiende a concentrarse al sur, en especial entre las morrenas centrales 2 y la lateral sur. El flujo principal en el momento de tomar la imagen explica el arqueamiento de la morrena central 3, presentando una elongación al sur, un efecto del roce con el margen occidental y del rechazo que genera el hielo, que fluyendo al norte, se ha estancado, producto de las morrenas Greve II y I, así como de los depósitos morrénicos marginales allí localizados. En términos temporales puede especularse con la presencia de dos movimientos muy bruscos y de gran intensidad, con vectores perpendiculares al fiordo para generar luego uno de menor intensidad que va produciendo un progresivo arqueamiento al sur.

Entre 1969 y 1976, el glaciar avanzó 2.450 metros en el lado poniente del frente sur y 2.350 metros en el lado oriental. El promedio es de 350 m/a en el lado oeste y de 335,7 m/a en el costado este.

ANÁLISIS 1981

En 1981 el Servicio Aéreo Fotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile (SAF) realizó un vuelo de gran cobertura en el CHS a escala 1:60.000.

Se logra visualizar con mayor detalle la estructura del hielo y de sus morrenas superficiales (figura 2b).

Dentro de la lengua central, la morrena superficial del margen norte se ve fuertemente comprimida contra la ladera de los cerros. Incluso se pueden apreciar ciertas evidencias de hielo pasivo, tales como pequeñas lagunas de fusión, escasez de grietas e indicios de escurrimiento superficial, todo lo cual se ratifica cuando se consta de que dichos sectores (a partir de la caída desde la meseta del Comandante hasta el valle Lautaro) están detenidos por un codo del relieve que les impide avanzar (figura 3).

En el valle Lautaro destaca la penetración de una lengua marginal muy recubierta con una

variación respecto de los años anteriores de menos de 1 km. En el contacto de la lengua central con la del Lautaro a lo menos dos lenguas de hielo limpio tienden a penetrar en el valle, sin lograrlo.

En el valle medio, una lengua se introduce 2,4 kms. con escaso recubrimiento. En el lago formado se aprecia gran cantidad de témpanos.

En el valle bajo se destaca una profunda penetración de 1.680 metros, formando un lago pequeño a una gran cota. Las morrenas superficiales tienen forma convexa hacia el interior del valle marginal, no tocando el frente del hielo.

Esta morrena marginal norte logra acceder al lago Greve, luego de torcer al norte, siempre pegada a la ladera, pero con muy escaso desarrollo.

Cabe mencionar que en el contacto del hielo limpio con las morrenas del lado norte hay dos y posiblemente tres zonas de hielo limpio intercaladas entre las líneas morrénicas. Estas prolongaciones limpias corresponden a avances menores que han sucumbido por el mayor ímpetu en el avance del flujo central. Es probable que desde la zona de acumulación norte, algunos avances hayan afectado las morrenas allí localizadas inflectándolas y generando las flechas de hielo limpio, con posterioridad a lo cual el avance por la parte central (más vigoroso desde la zona de acumulación sur) comprimió dichas lenguas marginales contra la ladera septentrional.

Las morrenas centrales se aprecian con claridad una vez que sobrepasan el umbral rocoso.

La morrena central I de orientación WSW fluye sobre la parte más alta del umbral rocoso (sección central norte) hasta que en la parte central del extinto lecho del fiordo dobla al sur generando una muy bien formada semiflecha. Desde su ápice y hacia el norte se genera una nueva flecha, muy aguda y estrecha, desde allí toma dirección sur, formando una semi W, vista desde el sur. Una tenue línea morrénica se desprende de una de las flechas que apunta al norte, prolongándose paralela a la vertiente occidental, hasta desembocar en el lago Greve.



Fig. 3. Posición del glacier Pro XI en 1981.

La morrena central 2 también gira al sur una vez que llega a la parte central del antiguo fiordo. Avanza sin mayores oscilaciones, hasta que más al sur sufre una pequeña inflexión al norte, para luego retornar al sur hasta desembocar en el frente glaciar. Se advierte que más al oeste una prolongación de la misma morrena que constituye el otro lado de la flecha, cae al mar.

La morrena central 3 prácticamente no se aprecia, salvo por una tenue línea próxima al frente sur, al que apunta directamente.

En el margen meridional del valle principal, el hielo ha superado completamente el escarpe rocoso que aún podía verse en 1976, elevando el antiguo lago allí embalsado y dividiéndolo en tres porciones muy reducidas. Sobre el antiguo escarpe rocoso sólo se distingue una línea morrénica, que delimita la antigua cima del escarpe. No se distinguen aureolas de expansión en dicha zona.

La morrena lateral superficial sur puede ser vista sólo después del umbral rocoso, a partir del cual se dirige al sur, ocupando casi un cuarto del frente sur, donde desemboca.

La tendencia definida en 1976, de una progresiva desviación del flujo del hielo en dirección al sur, por menor intensidad en el movimiento, se ve ratificada por la anterior descripción de las tres morrenas centrales de 1981. La pequeña inflexión que se avizoraba en 1976, como una incipiente desviación al sur, en 1981 genera la principal semiflecha que apunta al sur. Las otras partes de la morrena 1 de 1976, que formaba una "M", están comprimidas contra la vertiente occidental y la antigua punta sur de dicha morrena ahora aparece completamente desplazada al sur.

La morrena central 2 en 1976 también tenía una incipiente elongación primaria hacia el sur, antes de formar la "W". Dicha elongación se postula como la misma pequeña inflexión de 1981. El resto de la morrena 2 de 1976 ahora figura perdiéndose en el mar, agudizando su punta.

La textura del hielo, sus grietas y morrenas muestran que en 1981 el hielo supera el umbral

rocoso, con un abultamiento importante similar al perfil de un cono, pero con mayor pendiente al sur. Los flujos se concentran por dicha zona, aparte de los que pasando por la parte alta del umbral, también se dirigen al sur, salvo una ínfima proporción que se dirige al norte.

La posición del frente sur del glaciar no ha tenido mayores oscilaciones. En el cuarto occidental del frente se registra un pequeño avance respecto de 1976 y la parte central acusa pérdida de masa por producción de témpanos. En el costado oriental hay indicios de que hubo un pequeño avance desde 1976, pero a 1981 se aprecia un leve retroceso por fusión superficial y la producción de morrenas de ablación.

En ambos márgenes de la lengua terminal sur, sendos ríos drenan las laderas y socavan el hielo, produciendo algunos pequeños lagos marginales.

La posición del frente sur ratifica la hipótesis que el máximo avance, se produjo antes de 1976, siendo ésta su posición máxima neoglacial (Clapperton y Sudgen, 1988). Posteriormente han operado leves oscilaciones de avance y retroceso en el hielo.

La posición del frente sur avanzó sólo 1.000 metros en el flanco poniente del frente sur y retrocedió unos 200 metros en el costado oriental.

La posición del frente norte de la lengua terminal, en el lago Greve, muestra cierto estancamiento en la mitad oriental, donde se aprecia una isla ubicada justo en el borde del hielo. Dicha isla corresponde a colinas intermedias entre las morrenas Greve II y I.

La mitad occidental del frente norte ha avanzado 1.250 metros, tal vez como producto de una progresiva deformación en dicho lado.

ANÁLISIS 1984-85

En 1984 y 1985 el SAF realizó otro levantamiento aerofotogramétrico del área a escala 1:60.000 (figura 2c).

La morrena lateral norte mantiene las características generales de 1981. El sector comprimido contra la vertiente norte muestra mayores indicios de inactividad. Un lineamiento estructural divide el hielo limpio de la morrena. Una de las lenguas menores del hielo limpio, entre la morrena norte, ha avanzado unos 800 metros hasta curvarse un poco al norte e insinuar una penetración en el valle Lautaro. Morrenas con evidencias de inactividad se aprecian en la superficie de la lengua del valle, sin embargo su frente, muy recubierto, ha avanzado unas decenas de metros. Otras de las lenguas de hielo limpio allí localizadas, entremedio de la morrena norte, también se han expandido al norte, hacia el interior del valle Lautaro. El flujo de hielo se ha concentrado por el costado oeste de dicho valle.

Un poco más al norte, donde el glaciar Lautaro taponea la salida de las aguas del valle por medio de un angosto canal, se ve que las dos lenguas que lo alimentan están separadas por gruesos depósitos y/o hielo intersticial, con evidencias de estancamiento (figura 4).

En torno al valle medio, los avances han movilizad las morrenas norte y las lenguas de hielo limpio intercaladas, evidenciándose un mayor curvamiento de las mismas hacia el valle. El frente de hielo en el lago embalsado ha retrocedido levemente. Se mantienen las grandes cantidades de témpanos en la superficie del lago. La forma de las morrenas que penetran en este valle son más típicamente aureolas que en 1981, donde estaban más ramificadas.

En el valle del río bajo no hay mayores modificaciones a la situación de 1981, salvo por una simplificación de las curvas morrénicas, evidenciando un mayor flujo de compresión en dirección al norte.

Desde el valle bajo, las morrenas norte prosiguen pegadas a la vertiente hasta desembocar en el frente norte, en el lago Greve.

La morrena central 1 ha ampliado su curvatura de giro al sur. No presenta ninguna inflexión particular en la parte central de la lengua, en la confluencia con

el antiguo lecho del fiordo y han desaparecido las detectadas en 1976 y 1981. La morrena adopta una disposición de arco sin interrupción hasta que a la altura del valle embalsado proveniente de la vertiente occidental se aprecia un engrosamiento de la morrena justo en una leve inflexión de la curva, la que sin embargo mantiene la tendencia lineal hasta llegar al frente sur con forma de flecha aguda, cuya punta toca el frente mismo. El lado este de dicha flecha se prolonga desde la punta en dirección al norte, paralela a la vertiente occidental del antiguo fiordo, hasta terminar en el frente norte en el lago Greve. Algunas líneas morrénicas de menor envergadura se aprecian al este de la flecha mencionada, todas las cuales se presentan comprimidas contra la vertiente poniente, adoptando formas zigzagueantes.

La morrena central 2, una vez que sale del umbral rocoso que da paso al fiordo, también se inflecta al sur, con una suave curva, sin mayores distorsiones a la tendencia general, hasta que desemboca en el frente sur.

La morrena central 3 prácticamente no se divisa, salvo unos kilómetros antes del frente sur, donde muestra una tendencia lineal, sin inflexiones, paralela a las márgenes y apuntando al frente sur, donde termina.

El margen sur del valle principal no muestra mayores variaciones, manteniéndose los lagos embalsados. Las morrenas superficiales siguen la tendencia de 1981, ocupando ahora un cuarto del frente sur.

La posición del frente sur acusa un retroceso de 1.250 metros, en particular en su cuarto oeste. Allí los lagos marginales descritos para 1981 están en contacto con el fiordo. Una prolongación de la lengua se da pegada al margen occidental hasta la misma posición frontal de 1981, de allí al este, el frente ha retrocedido.

La posición del frente sur, en su flanco oriental, evidencia un leve retroceso de 50 ó 100 metros, siendo más evidentes las morrenas de ablación. También lo son, sedimentos de la desembocadura del río que corren por el margen este del glaciar y que allí desemboca en el mar.

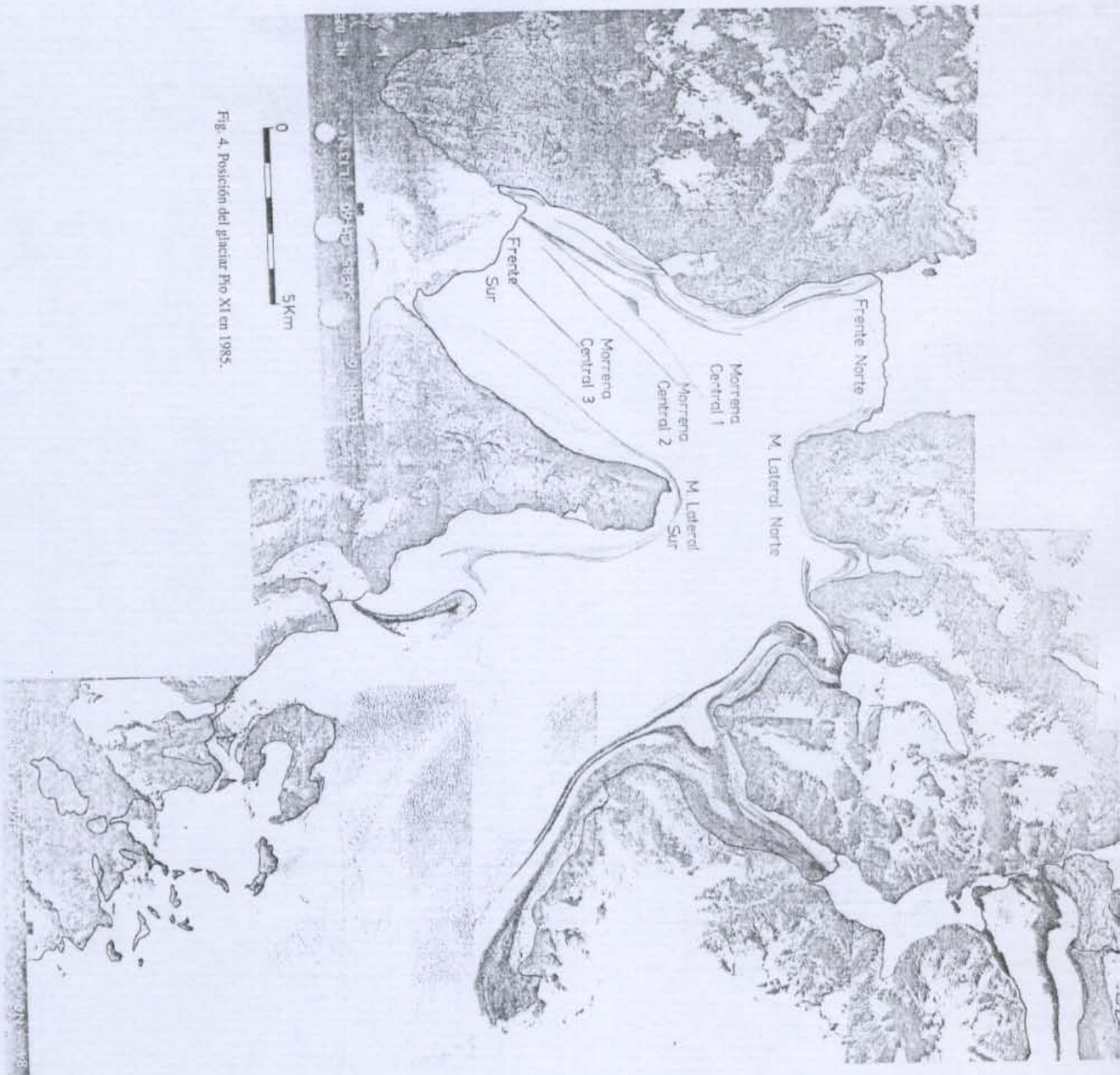


Fig. 4. Posición del glaciar Pío XI en 1985.

El frente norte muestra una posición similar a 1981. Un leve avance puede distinguirse en el extremo oeste del frente. Sin embargo, en la parte central y oriental no hay mayores modificaciones. De hecho, la isla ubicada justo en la parte este del frente norte aún se mantiene.

Al parecer la tendencia descrita en 1981 se ha mantenido y acentuado. Todo el flujo de hielo se ha concentrado en dirección al sur. Las líneas de flujo elongadas en tal dirección, junto a la compresión de las más zigzagueantes contra la vertiente occidental y la desaparición de las morrenas 2 y 3, son evidencias de una gran concentración del flujo, más que por impulsos repentinos y violentos por un deslizamiento dirigido principalmente por la gravedad, la pendiente y los espesores del hielo en esa dirección.

ANÁLISIS 1992

En el verano de 1992, el autor junto a integrantes del Depto. de Geografía de la Universidad de Edimburgo (Escocia) visitaron el glaciar, realizando un levantamiento fotográfico y topográfico primario, constatando una importante variación de los estados dinámicos del glaciar, en su margen occidental y frontal sur (figura 2d).

No fue posible penetrar en el valle principal para alcanzar la parte alta del CHS, del cual sólo se tomaron fotografías.

El reconocimiento de terreno evidenció la gran biodiversidad existente en el ecotono del glaciar. Una gran colonia de lobos marinos, toninas y algunas ballenas, fueron avistadas en el fiordo Eyre. Una fuerte cobertura vegetal se da en las partes bajas de las laderas. Las principales especies leñosas avistadas son ciprés de Las Guaitecas, coigüe de Magallanes y otras coníferas y notofagus. Una gran cobertura herbácea y de musgos genera un tapiz continuo, al estilo de un verdadero colchón suave.

En la margen occidental del frente sur se observaron numerosos huemules, los que tienen su hábitat precisamente en los sectores bajos, entre el bosque denso y las formaciones herbáceas densas, las que están en contacto con el hielo.

POSICIÓN Y DINÁMICA DEL HIELO

En el cuarto este del frente sur se detectaron depósitos morrénicos de ablación que evidencian un retroceso de unos 300 metros. Numerosas marmitas y otras formas típicas de fusión glaciar fueron analizadas.

Desde el borde oriental del frente sur, en la desembocadura del río marginal hasta unos 500 metros en dirección oeste, el hielo está sobre tierra y posee un perfil hacia el interior, muy suave con evidencias de ablación in situ, incluso es posible distinguir los depósitos morrénicos superficiales. La tierra, sobre la cual está posado el hielo, está compuesta de sedimentos negros y grises finos. Algunos pequeños hilos de agua subglacial fueron avistados.

En el tercio central del frente sur se aprecia que el hielo tiene su frente en el agua de mar. La pendiente interior del hielo no es distinguible, puesto que el murallón frontal tiene alturas entre 15 y 50 metros. La profundidad del agua fue evaluada por el equipo británico de 17 a 22 metros. La producción de témpanos es escasa e infrecuente.

El tercio oeste del frente sur está en parte sobre sedimentos no consolidados, algunos de los cuales muestran formas típicas de morrenas de empuje. Otros sectores están sobre el agua, que es poco profunda. Muchos cursos de agua de fusión subglacial fueron detectados, algunos fluyendo con gran potencia.

En todo el frente se ve la acción de las mareas (oscilación de 2,5 a 3 metros en febrero de 1992) puesto que bajo la línea de pleamar, el hielo está socavado en 1,5 metros.

En el borde del frente sur con el margen occidental se aprecia mayor actividad de empuje sobre los sedimentos frontales. Asimismo se destacan los aportes del río que por allí desagua, los cuales embancan el frente hasta unos 150 metros de distancia con bajamar.

La posición del frente sur en el contacto occidental es completamente coincidente con el máximo avance del hielo, lo cual se constata en

que un "Trin Line" de unos 50 a 100 metros de espesor bordea dicho frente, pero sobre el agua la línea frontal coincide con el término del "Trin Line".

Dicho "Trin Line" tiene unos 800 metros de longitud, paralela al margen occidental del hielo. En el borde y bajo el hielo se localiza el río marginal. El "Trin Line" está cortado en un par de puntos, donde el hielo entra nuevamente en contacto con el bosque denso.

El "Trin Line" puede ser descrito como una superficie lisa (estuvo cubierta por agua constituyente de lagos marginales en 1981 y 1985), con escasa vegetación herbácea y algunas formaciones morrénicas laterales, paralelas al hielo. Dichas morrenas alargadas evidencian un pequeño empuje durante los últimos meses. El hielo está separado de dichos cordones morrénicos por algunos metros, mostrando la fuerte fusión estival.

El borde del "Trin Line" con el bosque es abrupto y está constituido por una línea de árboles muertos, sedimentos y bloques. Su forma es la de una típica morrena de empuje recién formada, sin mayores atisbos de erosión. Dicha línea morrénica posee alturas variables entre 1 y 10 metros; lo que prima en ella es materia orgánica (árboles sobre todo) en descomposición, los sedimentos en cambio tienen escasa presencia.

El "Trin Line" evidencia el máximo avance del glaciar, que puede ser datado en torno a 1976. Con posterioridad a dicha fecha, los lagos marginales han suavizado su fondo, 1981 y 1985, hasta que en 1992 aparece descubierta, angostada por el avance del hielo y poblada por huemules.

Internándose por el margen occidental se detectó un hecho nuevo y sorprendente. En efecto, a unos 1.000 metros del frente el hielo aparece en contacto con el bosque. La fuerza del avance es formidable, el suelo, toda la vegetación, incluidos los grandes árboles, son desgajados de la superficie y empujados contra el bosque denso. En algunos sectores boscosos, pequeños esteros se internan entre los árboles producto de la fusión

del hielo. Otros están anegados por agua y otros están con sus raíces completamente al descubierto (Foto 1).

El inicio del sector que muestra gran tendencia de avance coincide con el término de la morrena central 1. Desde dicho punto hasta el lago marginal formado en la vertiente occidental, las evidencias de avance son notorias (Foto 2).

La morrena central 1 sigue similar tendencia que la descrita para 1985, pero está mucho más próxima a la ladera occidental que en los años precedentes. En tanto la cercanía, que a unos 1.000 metros del frente toca el margen occidental luego se dobla completamente en esa dirección. Las morrenas marginales que aparecían comprimidas contra la vertiente occidental en 1981 y 1985 prácticamente han desaparecido en 1992, presentándose entre el borde del hielo con la ladera (Foto 3) con escasa magnitud.

La morrena central 2 no es muy clara, localizándose un poco al sur de la 1, con orientación paralela hasta caer directamente en el frente sur, sin ninguna inflexión notoria.

La morrena central 3 y la del margen sur no son muy nítidas.

Viendo el glaciar desde la vertiente occidental en dirección al levante, justo frente al valle principal, se aprecia que el hielo tiene mayor altura en la parte centro norte del umbral rocoso. De allí al sur la pendiente es mayor, favoreciendo la curvatura hacia el sur. Sin embargo, el hielo que fluye por la parte más alta se enfrenta con la ladera occidental, desviando la mayor parte al sur y una menor proporción al norte (Foto 3).

El frente norte no fue analizado en detalle, pero se observó gran cantidad de témpanos, los cuales provienen tanto del Pío XI como de las otras lenguas glaciares que desembocan en el lago Greve.

VI. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Como se ha podido analizar, la fluctuación de los frentes terminales es compleja, si bien es posible establecer la siguiente secuencia de alteraciones:



Foto 1: Sector de avance del Glaciar Pio XI sobre el bosque. A la derecha Dr. Ch. Warren de la Universidad de Edinburg.



Foto 2: Lengua terminal del Glaciar Pio XI. Vista en dirección al sureste. Se aprecia al fondo el Fjordo Eyre. Sobre el hielo, la parte final de la Morrena Central I, sobre la vertiente occidental, en el inicio del sector de avance sobre el bosque.



Foto 3: Vista del Glaciar Pio XI en dirección este. En primer plano lago marginal sobre la vertiente occidental. Nótese la posición de Morrena Central 1, proveniente del valle principal, la cual se curva al sur. La Morrena Central 2, un poco a la derecha, es menos nítida. Se aprecian, en el umbral rocoso que da paso al antiguo lecho del fiordo, las alturas diferenciales del hielo, con mayor pendiente a la derecha (que gira al sur) y mayor altura a la izquierda, con una clara difluencia al norte (izquierda) y al sur.

Enero 1925 a septiembre 1926 rápido e intempestivo avance de 1.000 metros.

Septiembre 1926 a diciembre 1928, estabilización y deformación lateral, avance de 300 a 500 metros, formación incipiente del lago Greve y formación de la morrena Greve II.

1928 a 1945, retroceso de 2.450 a 2.650 metros. Apertura del desagüe del río Greve.

1945 a 1951, avance de 4.250 metros en el flanco occidental y de 6.500 metros en el ala oriental del frente sur, sin que se aprecie embalsamiento del río Greve.

1951 a 1963, avance leve de 1 km. en el costado poniente y de 200 metros en el lado oeste.

1963 a 1969, avance leve de 1 km. en el flanco occidental y escaso en su constituyente oriental.

1969 a 1976, avance generalizado al norte y al sur, fuerte compresión de líneas morrénicas centrales, embalsamiento de gran magnitud del río Greve y de los ríos de la vertiente occidental.

1976 a 1981, avance de menor magnitud en costado poniente de los frentes sur y norte, leve retroceso en el flanco oriental del frente sur.

1981 a 1985, retroceso leve de todo el frente sur, con mayor magnitud en el lado oeste, frente norte estable con leve avance.

1985 a 1992. Avance en el ala oeste del frente sur, estancamiento y leve retroceso del flanco oriental. El frente norte no fue evaluado (figura 5).

Como se puede apreciar, el primer gran avance se presentó entre 1925 y 1928, período en el cual no existía hielo en el lecho del fiordo Eyre, por lo que el avance tuvo su mayor magnitud en directa

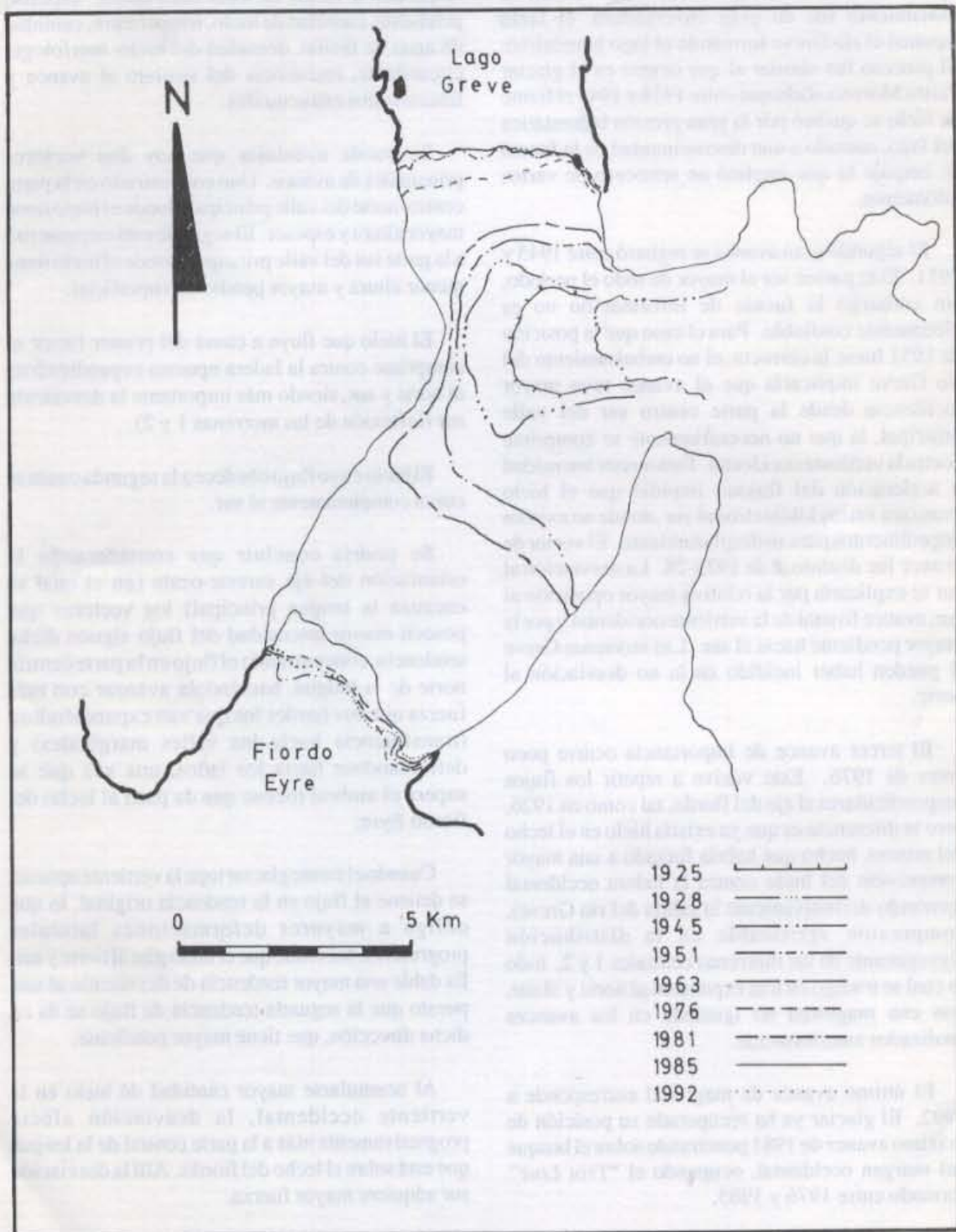


Fig. 5. Posiciones del glaciar Pio XI entre 1925 y 1992.

oposición a la vertiente occidental. Como el movimiento fue de gran envergadura, el hielo taponeó el río Greve formando el lago homónimo. El proceso fue similar al que ocurre en el glaciar Perito Moreno, dado que entre 1928 y 1945 el frente de hielo se quebró por la gran presión hidrostática del lago, sumado a una discontinuidad de la fuerza de empuje lo que implicó un retroceso de varios kilómetros.

El segundo gran avance se registró entre 1945 y 1951. Este parece ser el mayor de todo el período, sin embargo la fuente de información no es plenamente confiable. Para el caso que la posición de 1951 fuese la correcta, el no embalsamiento del río Greve implicaría que el avance tuvo mayor incidencia desde la parte centro sur del valle principal, la que no necesariamente se comprime contra la vertiente occidental. Esta menor intensidad o aceleración del flujo no impidió que el hielo avanzara varios kilómetros al sur, donde no existen impedimentos para su desplazamiento. El vector de avance fue distinto al de 1925-28. La desviación al sur se explicaría por la relativa mayor oposición al sur, avance frontal de la vertiente occidental y por la mayor pendiente hacia el sur. Las morrenas Greve II pueden haber incidido en la no desviación al norte.

El tercer avance de importancia ocurre poco antes de 1976. Este vuelve a repetir los flujos perpendiculares al eje del fiordo, tal como en 1926, pero la diferencia es que ya existía hielo en el lecho del mismo, hecho que habría forzado a una mayor compresión del hielo contra la ladera occidental (cerrando definitivamente la salida del río Greve), compresión verificable en la distribución zigzagante de las morrenas centrales 1 y 2, todo lo cual se tradujo en una expansión al norte y al sur, con una magnitud no igualada en los avances analizados anteriormente.

El último avance de magnitud corresponde a 1992. El glaciar ya ha recuperado su posición de máximo avance de 1981 penetrando sobre el bosque del margen occidental, ocupando el "Trin Line" formado entre 1976 y 1985.

Al parecer, los cambios de posición resultan de las direcciones de flujo diferenciales, que a su vez

responden a varios factores tales como: espesor, pendiente, cantidad de hielo, temperatura, cantidad de agua de fusión, densidad del hielo, morfología circundante, resistencia del sustrato al avance y lineamientos estructurales.

Se puede aventurar que hay dos vectores principales de avance. Uno concentrado en la parte centro-norte del valle principal, donde el hielo tiene mayor altura y espesor. El segundo está circunscrito a la parte sur del valle principal, donde el hielo tiene menor altura y mayor pendiente superficial.

El hielo que fluye a causa del primer factor se comprime contra la ladera opuesta expandiéndose al norte y sur, siendo más importante la desviación sur (inflexión de las morrenas 1 y 2).

El hielo cuyo flujo obedece a la segunda causa se curva completamente al sur.

Se podría concluir que considerando la orientación del eje sureste-oeste (en el cual se encauza la lengua principal) los vectores que poseen mayor intensidad del flujo siguen dicha tendencia, concentrando el flujo en la parte central norte de la lengua, haciéndola avanzar con más fuerza que sus bordes los que van expandiéndose (transfluencia hacia los valles marginales) y deformándose hacia los lados, una vez que se supera el umbral rocoso que da paso al lecho del fiordo Eyre.

Cuando el frente glaciar topa la vertiente opuesta se detiene el flujo en la tendencia original, lo que obliga a mayores deformaciones laterales progresivas, haciendo que el hielo gire al norte y sur. Es dable una mayor tendencia de desviación al sur, puesto que la segunda tendencia de flujo se da en dicha dirección, que tiene mayor pendiente.

Al acumularse mayor cantidad de hielo en la vertiente occidental, la desviación afecta progresivamente más a la parte central de la lengua que está sobre el lecho del fiordo. Allí la desviación sur adquiere mayor fuerza.

La desviación al norte se ve impedida por el fondo del fiordo (las morrenas Greve II, Greve I y

masa por la producción de témpanos que el frente sur, hecho constatado en el terreno de 1992.

En el contexto de menores magnitudes de avance (que en 1926), el hielo no se comprimirá tanto contra la vertiente occidental por lo que la desviación sur se acentúa. A mayor intensidad del flujo central, mayor compresión contra la vertiente occidental y por consiguiente, mayor desviación al norte y sur.

Hasta aquí la probable distribución de fuerza en el hielo y las posiciones resultantes, siendo imposible, por ahora, aventurar el origen de las intensidades de flujo diferenciales.

Dado que la mayor parte de los glaciares patagónicos muestra una tendencia al retroceso, es dable suponer condiciones climáticas progresivamente menos favorables para la acumulación y transformación de la nieve en hielo. Sin embargo las condiciones locales, de las interfases de las lenguas terminales con el océano, ríos, atmósfera y morfología cumplen un rol gravitante en el balance de cada glaciar.

En el caso del Pío XI las condiciones climáticas parecen progresivamente más favorables, lo mismo ocurre con las condiciones locales sobre las que se asienta la lengua terminal, también proclives a la mantención del hielo, en particular la escasa

profundidad del agua del fiordo Eyre. Sin embargo, los violentos y repentinos avances semejan más efectos derivados de factores tectónicos y/o a condiciones locales de mayor alimentación, lo que implica fuertes reajustes en búsqueda del perfil de equilibrio, proceso similar a un "Surge" (Paterson, 1981).

No es posible hasta aquí augurar tendencias de cambios climáticos generales. No debe olvidarse que si bien la tendencia global al calentamiento de la atmósfera es un hecho indesmentible, las respuestas locales pueden ser muy distintas, tal como ocurre en este glaciar.

Atendidas las características ecosistémicas que se dan en torno al CHS, es necesario continuar con estas investigaciones, por cuanto no debe descartarse riesgo potencial de gran magnitud, como un debilitamiento de la lengua terminal del Pío XI y consiguiente evacuación del lago Greve en dirección al sur, con todos los impactos ambientales que esto podría acarrear.

Nota: Pág. 34 ABSTRACT 6ª línea.

Dice: 40.875 Km².

Debe decir: 240 Km².

Foto: Pág. 37 Visión panorámica del glaciar Pío XI, tomada desde el oeste.

BIBLIOGRAFIA

- AGOSTINI, A. de 1941: Andes Patagónicos. B. Aires, pág. 52-63. Argentina.
- AGOSTINI, A. de 1949: Andes Patagoniche. Milan. Italia.
- ANYIYA Y SKVARCA 1991: Characteristics and Variations of Upsala and Moreno Glacier southern Patagonia. Bulletin of Glacier research 10 (1992) 39-53. Data Center of Glacier research, Japanese Society of Snow and Ice, Tokyo, Japón.
- BRÜGGEN, J. 1950: Fundamentos de Geología de Chile. IGM 374 p. Stgo.
- CLAPPERTON, C.M. & Sugden, D.E. 1988: Holocene Glacier Fluctuations in South America and Antarctica. Quat.Sci.Rev., 7: 185-198.
- CLAPPERTON, C.M. 1991: Glacier fluctuations of the last glacial-interglacial cycle in the Andes of South America. Bamberg Geographische Schriften Bd. 11, pág. 183-207, Bamberg, Germany.

- DGA 1987: Balance Hídrico Nacional. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- FUJIYOSHI, Y. et al. 1987: Characteristics of precipitation and vertical structure of air temperature in northern Patagonia. Bulletin of Glacier Research, N°4, 1987, Tokyo, Japón.
- HEUSSER, C. 1960: Late-Pleistocene environments of the Laguna de San Rafael area, Chile. The Geographical Review, vol. I N° 4 October 1960.
- IHA 1972: Derrotero de la costa de Chile. Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile. Vol III pág. 321.
- IWATA, S. 1983: Further advance of Pio XI Glacier. In R. Naruse (ed) Glaciological and Meteorological studies in Patagonia, Chile, by Japanese Research Expeditions in 1967-82. Data Center for Glacier Research, Japanese Society of Snow and Ice: 14-17.
- LLIBOUTRY, L. 1965: Traité de Glaciologie. Tomo I y II. 1040 págs. Ed. Masson & Cie. Editeurs. París, Francia.
- MARANGUNIC, C. 1964: Observaciones glaciológicas y geológicas de la zona del paso de los cuatro glaciares. Memoria de título, Depto. Geología, Universidad de Chile.
- MERCER, J.H. 1964: Advance of Patagonia Glacier. J. of Glaciolo. 5 (38): 267-268.
- NARUSE Y ANIYA, 1991: Outline of Glacier Research Project in Patagonia, 1990. Bulletin of Glacier research 10 (1992) 31-38. Data Center of Glacier research, Japanese Society of Snow and Ice, Tokyo, Japón.
- PATERSON, W.S.B. 1981: The Physics of Glaciers. 2nd ed. Pergamon Press UK.