

1. Introducción

Los sensores remotos en los últimos años se han convertido en una importante herramienta para estudiar la evolución espacio-temporal de los glaciares a nivel local y mundial.

A través del análisis multitemporal en imágenes satelitales, se puede observar la evolución de los nevados y glaciares y recolectar datos de gran importancia para determinar la influencia de los procesos de cambio climático sobre estos.

Las técnicas más usadas para el cálculo de cobertura glaciar a partir de imágenes de satélite son las clasificaciones, cocientes e índices entre bandas espectrales, técnicas que toman ventaja de la respuesta espectral del hielo y la nieve, al resaltarse las características de absorción y reflectancia propias de estos elementos en sus firmas espectrales y digitalización sobre la imagen satelital en falso color.

El nevado del Ampay se halla ubicado parcialmente dentro del Santuario Nacional de Ampay que se estableció el 23 de julio de 1987, mediante Decreto Supremo N° 042-87-AG en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, departamento de Apurímac; geográficamente se encuentra entre las coordenadas 13°33' Latitud Sur y 72°51' Longitud Oeste.

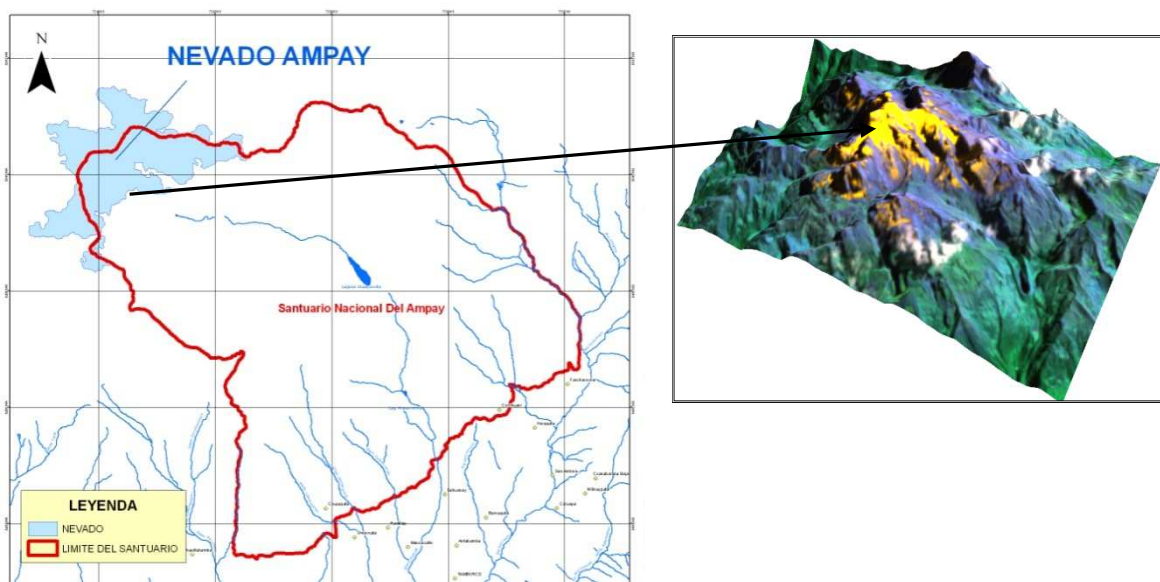


Figura1. Ubicación del Ámbito Estudio: Nevado Ampay – Nevado Ampay 3D

2. Marco Conceptual

2.1 Cambio climático

2.1.1 Cambio climático y variabilidad climática

Entendemos Variación estadísticamente significativa, fuera de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un periodo prolongado (generalmente durante decenios o más tiempo). El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos, a presiones externas, o a cambios antropógenos duraderos en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, define el cambio climático como: "cambio del clima atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables".

La CMNUCC hace, pues, una distinción entre "cambio climático", atribuible a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, y "variabilidad del clima", atribuible a las causas naturales.

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en 2001 considero a la variabilidad climática a variaciones en el estado promedio y a otras estadísticas (tales como desviaciones normales, la incidencia de extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de los eventos climáticos individuales. La variabilidad puede surgir a partir de procesos naturales internos dentro del sistema climático (variabilidad interna) o debido a variaciones en las fuerzas externas naturales o antropogénicas (variabilidad externa).

2.1.2 Efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero absorben la radiación infrarroja, emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera debido a los mismos gases, y por las nubes. La radiación atmosférica se emite en todos los sentidos, incluso hacia la superficie terrestre. Los gases de efecto invernadero atrapan el calor dentro del sistema de la troposfera terrestre. A esto se le

denomina ‘efecto invernadero natural.’ La radiación atmosférica se vincula en gran medida a la temperatura del nivel al que se emite. En la troposfera, la temperatura disminuye generalmente con la altura. En efecto, la radiación infrarroja emitida al espacio se origina en altitud con una temperatura que tiene una media de -19°C , en equilibrio con la radiación solar neta de entrada, mientras que la superficie terrestre tiene una temperatura media mucho mayor, de unos $+14^{\circ}\text{C}$. Un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero produce un aumento de la opacidad infrarroja de la atmósfera, y por lo tanto, una radiación efectiva en el espacio desde una altitud mayor a una temperatura más baja. Esto causa un forzamiento radiactivo, un desequilibrio que sólo puede ser compensado con un aumento de la temperatura del sistema superficie–troposfera. A esto se denomina ‘efecto invernadero aumentado.’ (*Definición obtenida de la página web: www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf*).

2.1.3 Glaciar

Es Masa de hielo que fluye hacia abajo (por deformación interna y deslizamiento de la base) limitada por la topografía que le rodea (por ejemplo, las laderas de un valle o picos alrededor); la topografía de la base rocosa es la principal influencia sobre la dinámica y la pendiente de superficie de un glaciar. Un glaciar se mantiene por la acumulación de nieve en altitudes altas, y se equilibra por la fusión de nieve en altitudes bajas o la descarga en el mar. (*Definición obtenida de la página web: www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf*).

2.1.4 Radiación infrarroja

Es la Radiación emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes. Es conocida también como radiación terrestre o de onda larga. La radiación infrarroja tiene una gama de longitudes de onda (‘espectro’) que es más larga que la longitud de onda del color rojo en la parte visible del espectro. El espectro de la radiación infrarroja es diferente al de la radiación solar o de onda corta debido a la diferencia de temperatura entre el Sol y el sistema Tierra-atmósfera. (*Definición obtenida de la página web: www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf*).

2.2 Sistema de Información Geográfica

El término **SIG** procede del acrónimo de **Sistema de Información Geográfica** (en inglés **GIS, Geographic Information System**).

Técnicamente se puede definir un SIG como una tecnología de manejo de información geográfica formada por equipos electrónicos (hardware) programados adecuadamente (software) que permiten manejar una serie de datos espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos con éstos siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (personal).

Son por tanto cuatro los elementos constitutivos de un sistema de estas características:

- Hardware
- Software
- Datos geográficos
- Equipo humano

(Definición obtenida de la página web: <http://www.gabrielortiz.com/>).

2.2.1 Los SIG Raster

Los Sistemas de Información Raster basan su funcionalidad en una concepción implícita de las relaciones de vecindad entre los objetos geográficos. Su forma de proceder es dividir la zona de afección de la base de datos en una retícula o malla regular de pequeñas celdas (a las que se denomina píxel) y atribuir un valor numérico a cada celda como representación de su valor temático. Dado que la malla es regular (el tamaño del píxel es constante) y que conocemos la posición en coordenadas del centro de una de las celdas, se puede decir que todos los píxeles están georreferenciados.

Lógicamente, para tener una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en la base de datos el tamaño del píxel ha de ser reducido (en función de la escala), lo que dotará a la malla de una resolución alta. Sin embargo, a mayor número de filas y columnas en la malla (más resolución), mayor esfuerzo en el proceso de captura de la información y mayor costo computacional a la hora de procesar la misma.

No obstante, el modelo de datos raster es especialmente útil cuando tenemos que describir objetos geográficos con límites difusos, como por ejemplo puede ser la dispersión de una nube de contaminantes, o los niveles de contaminación de un acuífero subterráneo, donde los contornos no son absolutamente nítidos; en esos casos, el modelo raster es más apropiado que el vectorial. *(Definición obtenida de la página web: <http://www.gabrielortiz.com/>).*

2.2.2 Los SIG Orientados a Objetos

No existe una definición clara ni un acuerdo general en la comunidad de usuarios acerca de la entidad de los modelos orientados a objetos, pero sí existe unanimidad en cuanto a las características que debe tener un S.I.G. de este tipo.

En primer lugar, los S.I.G. orientados a objetos plantean un cambio en la concepción de la estructura de las bases de datos geográficas; mientras los modelos de datos vectorial y raster estructuran su información mediante capas como ya hemos dicho anteriormente los sistemas orientados a objetos intentan organizar la información geográfica a partir del propio objeto geográfico y sus relaciones con otros. De este modo, los objetos geográficos están sometidos a una serie de procesos y se agrupan en clases entre las cuales se da la herencia.

En segundo lugar, los S.I.G. orientados a objetos introducen un carácter dinámico a la información incluida en el sistema, frente a los modelos de datos vectoriales y raster que tienen un carácter estático.

Por ello, el modelo orientado a objetos es más aconsejable para situaciones en las que la naturaleza de los objetos que tratamos de modelar es cambiante en el tiempo y/o en el espacio.

Para poner un ejemplo de organización de la información con este modelo de datos, pensemos en un subcompartimento forestal, dentro del cual se dan muchos árboles, cada uno de ellos sometido a unos procesos (por ejemplo el crecimiento); este crecimiento es heredado por el subcompartimento y da como resultado que la altura del mismo sea cambiante con el tiempo.

Por lo tanto, en este caso los atributos temáticos de cada objeto geográfico son el resultado de aplicar unas determinadas funciones que varían según las relaciones del objeto de referencia con su entorno.

Sin duda alguna, este modelo de datos es más aconsejable que cualquier otro para trabajar con datos geográficos, pero se encuentra con dificultades de implementación en los actuales Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD), y por lo tanto también con dificultades de implementación en los S.I.G. Hoy en día comienzan a verse implementaciones de este tipo de organización de datos en algunos GIS comerciales, si bien son a nuestro entender aproximaciones en cierto modo incompletas cuya su funcionalidad tiene que ser mejorada en los siguientes años.

La ventaja fundamental que permite esta estructura de datos frente a las demás es la dinamicidad de los datos. Es decir, a partir de una serie de parámetros establecidos en el comportamiento de los objetos geográficos, podemos simular su evolución futura, lo que constituye un gran avance si se trabaja en entornos en los que se requiere simulación de situaciones potenciales. *(Definición obtenida de la página web: <http://www.gabrielortiz.com/>).*

2.3 Teledetección Espacial

Las diferentes coberturas de la superficie terrestre (campos cultivados, roca desnuda, agua) reflejan la radiación electromagnética (REM) que les llega desde el sol, con distintas intensidades o niveles digitales (N.D.) de acuerdo a la región del espectro (firma espectral). Este fenómeno es el eje fundamental de la TELEDETECCIÓN.

Los datos son adquiridos en soporte digital y en formato numérico (N.D. para cada elemento de la superficie y para cada banda). Esto abre un enorme campo para la aplicación de la estadística a las ciencias de observación terrestre. Diversos métodos del análisis multivariado son utilizados en Teledetección.

Cualquier imagen puede pensarse como una matriz tridimensional, en la que cada una de las intersecciones de una fila y una columna corresponde a una posición geográfica discreta, y por lo tanto a un píxel, y la tercera dimensión está dada por la banda a la cual corresponde ese píxel. En otros términos, cada nivel digital asociado a un píxel puede denotarse como $ND_{i,j,k}$ donde i es el número de fila, j es el número de columna y k es la banda. Teniendo presente este carácter matricial de cualquier imagen numérica, se pueden realizar sobre ella transformaciones y operaciones estadísticas. Por ejemplo, con los datos de una imagen digital se pueden calcular medidas de tendencia central y dispersión en cada banda, aumentar el contraste, cambiar su orientación numérica (rotación de la matriz), realizar combinaciones aritméticas entre bandas, sintetizar varias bandas reduciendo la información redundante (componentes principales) o discriminar grupos con N.D. homogéneos dentro de la matriz (clasificación). *(Definición obtenida de la página web: <http://www.gabrielortiz.com/>).*

2.3.1 LandSat

Los **LandSat** son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. para la observación en alta resolución de la superficie terrestre.

Los LandSat orbitan alrededor de la Tierra en órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, con una inclinación de 98.2° respecto del Ecuador y un período de 99 minutos. La órbita de los satélites está diseñado de tal modo que cada vez que éstos cruzan el Ecuador lo hacen de Norte a Sur entre las 10:00 y las 10:15 de la mañana hora local. Los LandSat están equipados con instrumentos específicos para la teledetección multiespectral.

El primer satélite LandSat (en principio denominado *ERTS-1*) fue lanzado el 23 de julio de 1972. El último de la serie es el LandSat 7, puesto en órbita en 1999, y es capaz de conseguir una resolución espacial de 15 metros.

Serie de satélites LandSat y año de su lanzamiento:

- **Landsat 1:** 1972
- **Landsat 2:** 1975
- **Landsat 3:** 1978
- **Landsat 4:** 1982
- **Landsat 5:** 1985
- **Landsat 6:** 1993. Lanzamiento fallido.
- **Landsat 7:** 1999

En el año 2004 está plenamente operativo el **LandSat 7**. Los cuatro primeros satélites se encuentran fuera de servicio. (*Definición obtenida de la página web:* <http://es.wikipedia.org/wiki/LandSat>)

2.3.1.1 Landsat 7

LandSat 7 es el último de un grupo de satélites lanzados por Estados Unidos (ver Programa LandSat). Fue lanzado el 15 de abril de 1999. La meta fundamental del LandSat 7 es de actualizar la base de datos de imágenes de todo el planeta. Aunque el programa LandSat es controlado por la NASA, las imágenes recibidas por el LandSat 7 son procesadas por la Agencia Geológica de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés).

Especificaciones del satélite

Landsat 7 fue diseñado para que su vida útil fuese de 5 años, y tiene la capacidad de recolectar y transmitir hasta 532 imágenes por día. Se encuentra en una órbita Heliosincrónica, lo cual significa que siempre pasa a la misma hora por un determinado lugar. Tiene visión de toda la superficie terrestre en un tiempo de 15 días, realizando 232 órbitas. El peso del satélite es de 1973 Kilogramos, mide 4.04 metros de largo, y 2.74 metros en diámetro. A diferencia de sus antecesores, Landsat 7 posee una memoria sólida de 378 gigabytes capaces de almacenar alrededor de 100 imágenes. El instrumento esencial a bordo del satélite es el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). *(Definición obtenida de la página web: <http://es.wikipedia.org/wiki/LandSat7>)*

3. Materiales y métodos

Se utilizaron 13 Escenas LandSat como fuente para la observación del nevado Ampay:

Landsat TM 5	03 /7/1986
Landsat TM 5	03 /9/1991
Landsat TM 5	14/7/ 1996
Landsat TM 5	18/6/ 1998
Landsat TM 5	07/7/ 1999
Landsat TM 5	23/6/ 2000
Landsat ETM 7	08/8/ 2002
Landsat TM 5	05/8/ 2004
Landsat TM 5	26/5/ 2007
Landsat TM 5	29/6/ 2008
Landsat TM 5	18/7/ 2009
Landsat TM 5	21/7/ 2010
Landsat TM 5	24/7/ 2011

Escenas Landsat 5 TM / 7 ETM+ (Bandas 1-7; Path: 004; Row: 069) todas de la **estación seca** sin cobertura de nubes sobre el nevado Ampay, en esta época la probabilidad de detectar nieve en lugar de hielo es reducida. El nivel de tratamiento de las imágenes es Nivel 1T (precisión y la corrección del terreno) que fueron adquiridas de pagina web del sensor remoto Landsat.

Para el análisis se utilizo la aplicación del método de Índice de Diferencia Normalizada de Hielo y Nieve NDSI (por sus siglas en inglés: Normalized-Difference Snow Index, Hall et al., 1995). Esto con la finalidad de que el análisis sea sistemático y que no surjan incongruencias en las mediciones por usar otros métodos en el cálculo de cobertura de nieve y hielo. Este es un método robusto y fácil de aplicar. De esta manera se genera automáticamente una imagen con las áreas glaciares.

Cálculo:

$$NDSI = \frac{VIS-NIR}{VIS+NIR}$$

$$NDSI_{Landsat-4/5} = \frac{Banda\ 2 - Banda\ 5}{Banda\ 2 + Banda\ 5} \quad (1)$$

VIS = Luz Visible (380-780nm)

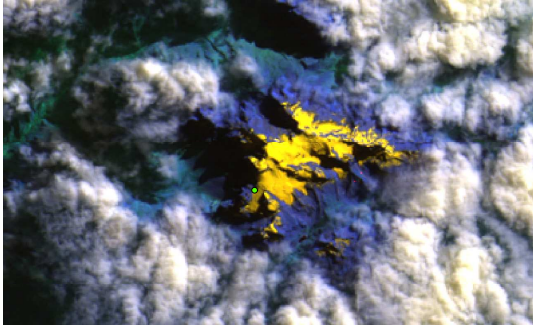
NIR = Infrarrojo cercano (780nm-2,5µm)

IMÁGENES LANDSAT ETM – TM

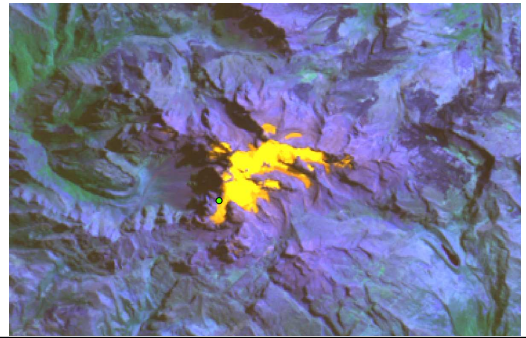
COMPOSICION FALSO COLOR

(R 5 Infrarrojo medio, G 4 Infrarrojo cercano, B 3 Rojo)

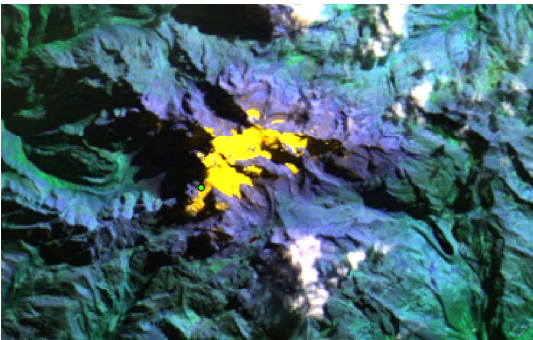
Años 1986 – 2011



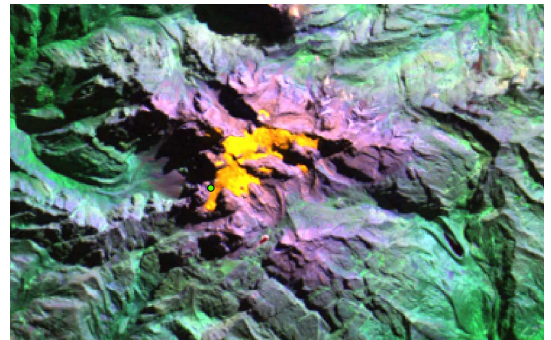
Fecha de toma 03 - 07 - 1986



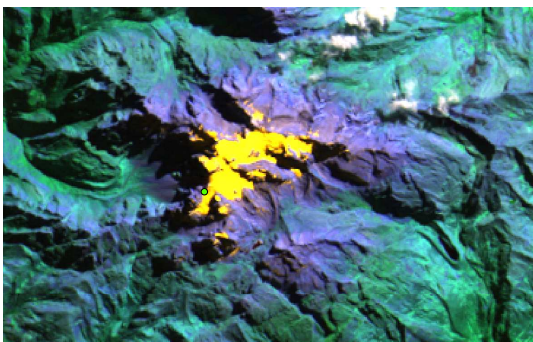
Fecha de toma 03 - 09 - 1991



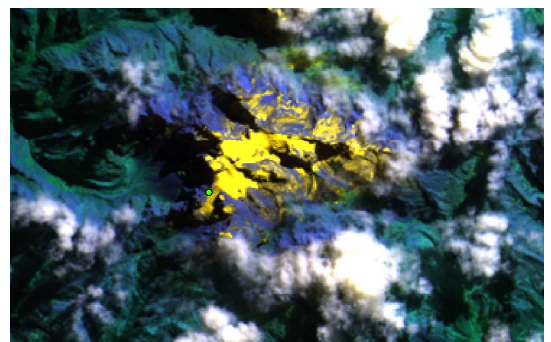
Fecha de toma 14 - 07 - 1996



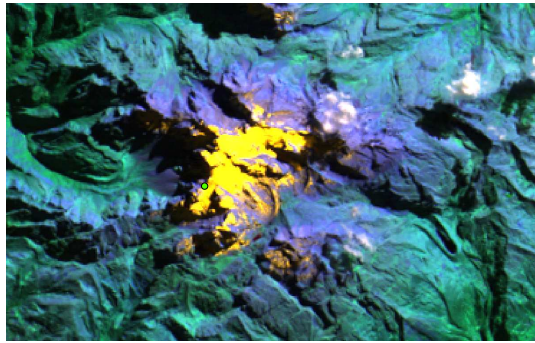
Fecha de toma 18 - 06 - 1998



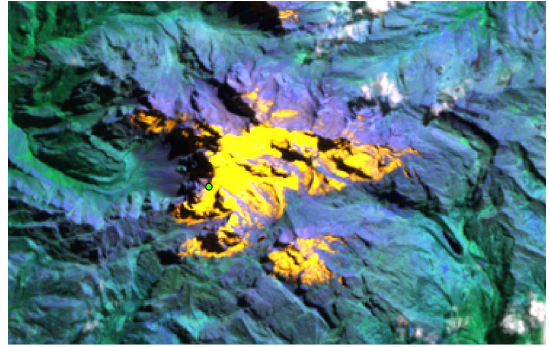
Fecha de toma 21 - 06 - 1999



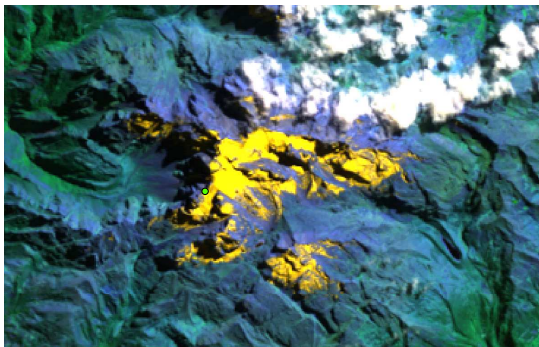
Fecha de toma 07 - 07 - 1999



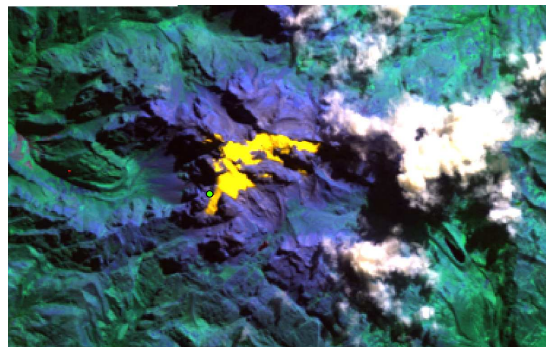
Fecha de toma 23 - 06 - 2000



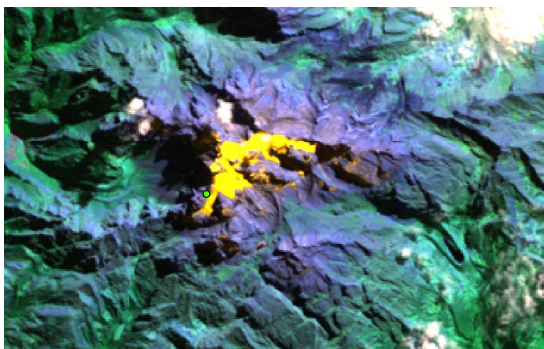
Fecha de toma 08 - 08 - 2002



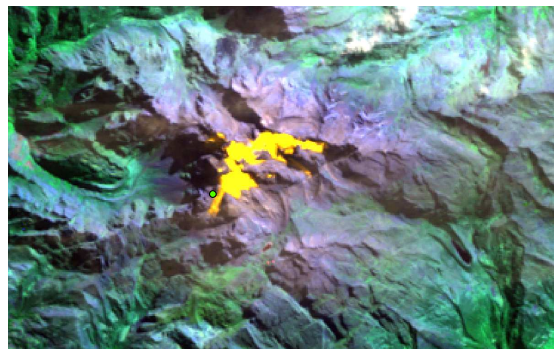
Fecha de toma 05 - 08 - 2004



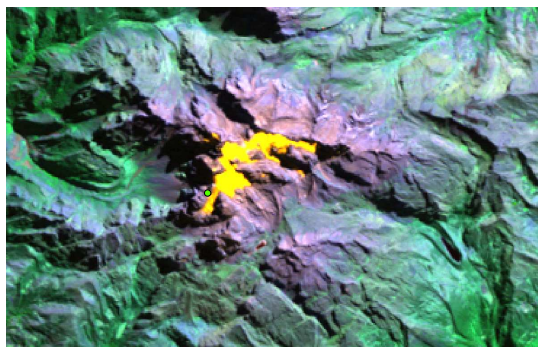
Fecha de toma 26 - 05 - 2007



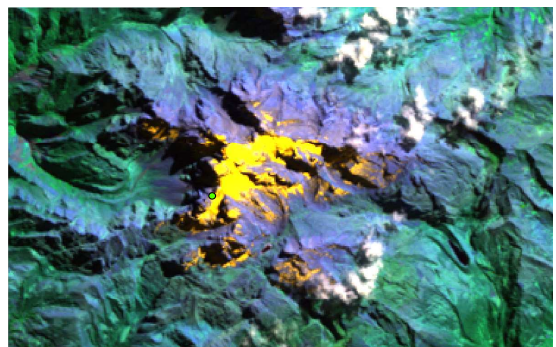
Fecha de toma 29 - 06 - 2008



Fecha de toma 18 - 07 - 2009



Fecha de toma 21 - 07 - 2010



Fecha de toma 24 - 07 - 2011

Figura 2 Evolución multitemporal del nevado Ampay a través de imagen satelital Landsat

Se realizó el cálculo del cociente de Bandas con la calculadora raster de la herramienta Spatial Analyst del Software ArcGis.

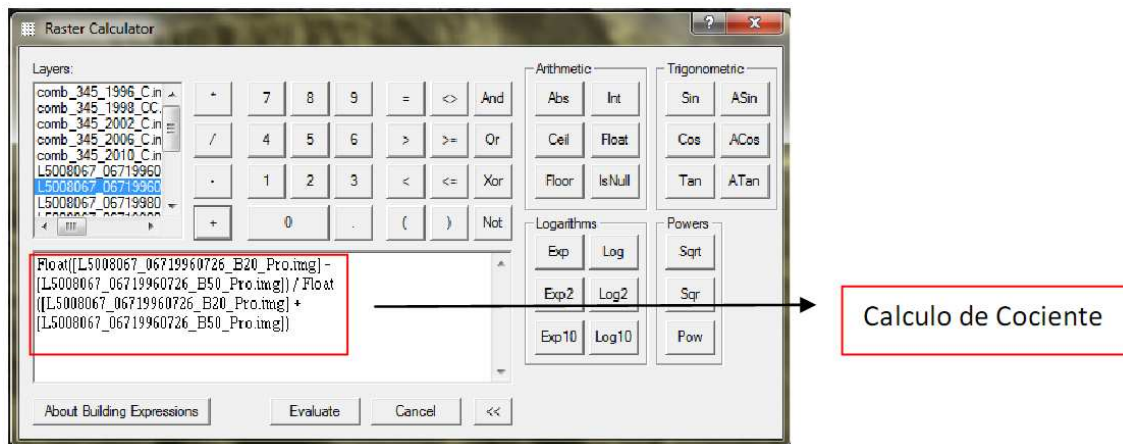


Figura 3. Calculadora Raster de Spatial Analyst

Se definió el Umbral teniendo como índice $NDSI \geq 0.60$ esto se definió mediante la visualización de la imagen satelital con la combinación de bandas en falso color (**R 5 Infrarrojo medio, G 4 Infrarrojo cercano, B 3 Rojo**) en el software ArcGis.

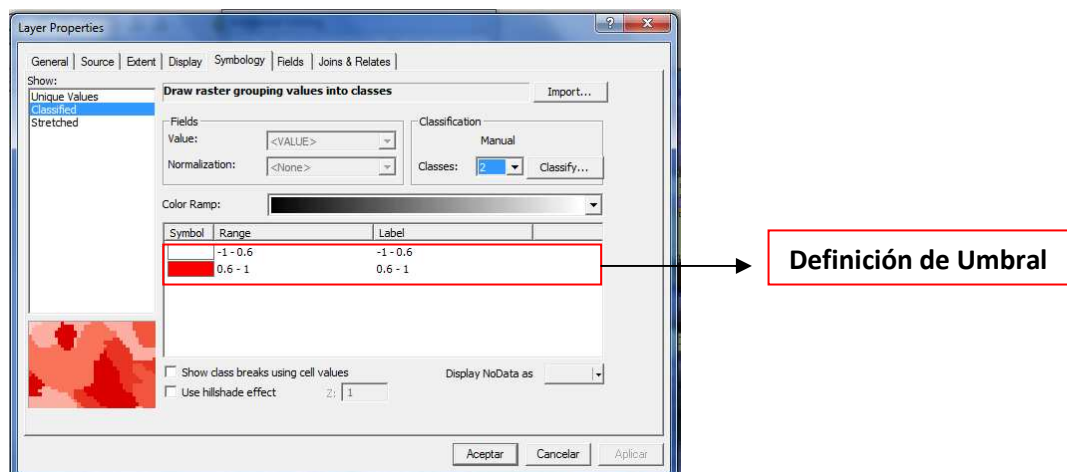


Figura 4. Definición de Umbral del NDSI

Este umbral se utilizo para toda las escenas LandSat.

Posteriormente se reclasifico el raster:

1=No Glaciar

2=Glaciar

Finalmente se realizó la conversión de Raster a Shape para realizar los cálculos de Superficie.

Estos procesos se automatizaron con la herramienta Model Builder

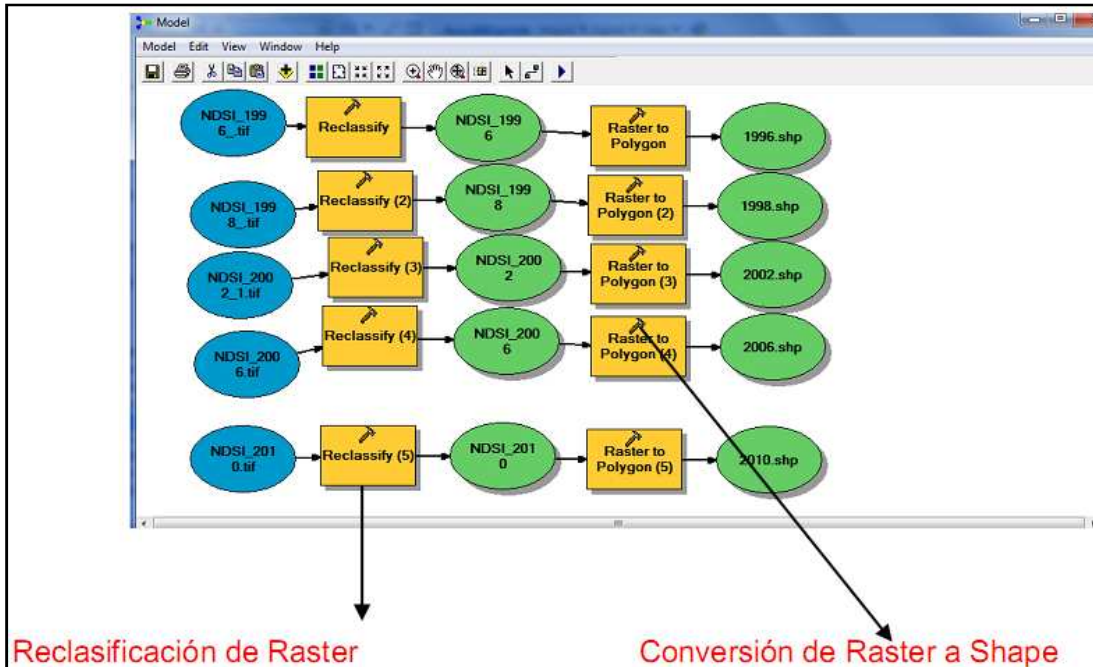


Figura 4. Procesos SIG en Model builder del software ArcGis 9.3

4. Resultados

El retroceso glacial del año 1986 a 2011 a disminuido en un 56% de su superficie, en este estudio se exhibió una tendencia lineal negativa en la pérdida glaciara entre los años 1986 a 1998 en 98.6 ha., posteriormente se observo un aumento significativo entre años 1999 a 2002 llegando a 270 has. que representa un 34% a comparación del año 1986, posteriormente continuó una tendencia lineal negativa en pérdida de glaciara hasta el año 2010. En este año 2011 se observo un incremento 12.8 ha. que representa un 15% a comparación del año 2010.

En este estudio multitemporal se pudo observar a mayor detalle el comportamiento de retroceso y aumento de la superficie del nevado por la cantidad y calidad de imágenes satelitales adquiridas en todo este periodo 1986 – 2011.

Sensor	Área Ha.	Fecha de Toma
Landsat TM 5	200.0	03 /7/1986
Landsat TM 5	143.8	03 /9/1991
Landsat TM 5	134.9	14/7/ 1996
Landsat TM 5	101.4	18/6/ 1998
Landsat TM 5	130.2	07/7/ 1999
Landsat TM 5	123.4	23/6/ 2000
Landsat ETM 7	277.7	08/8/ 2002
Landsat TM 5	145.9	05/8/ 2004
Landsat TM 5	99.9	26/5/ 2007
Landsat TM 5	90.0	29/6/ 2008
Landsat TM 5	90.1	18/7/ 2009
Landsat TM 5	79.2	21/7/ 2010
Landsat TM 5	92.0	24/7/ 2011

Tabla1. Área Glaciara en Hectáreas 1986 - 2011

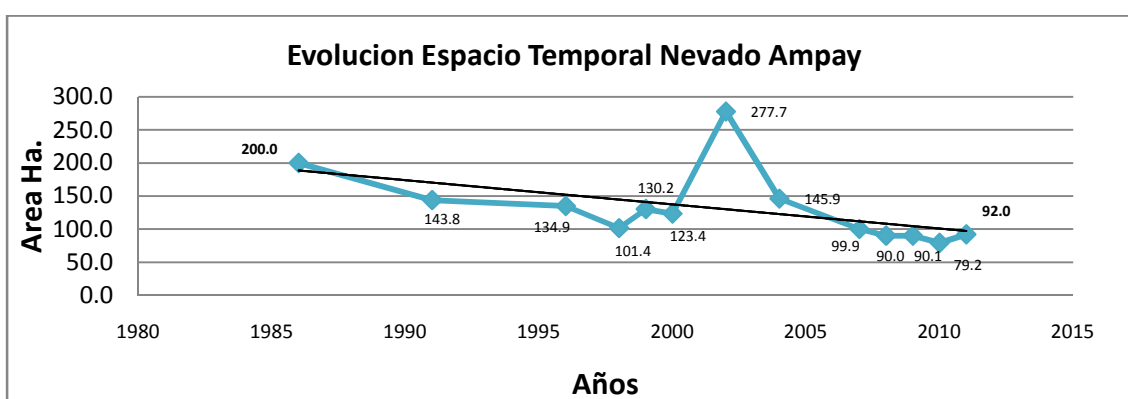
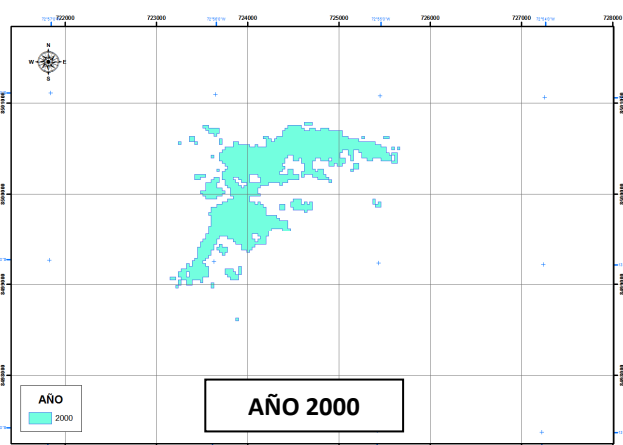
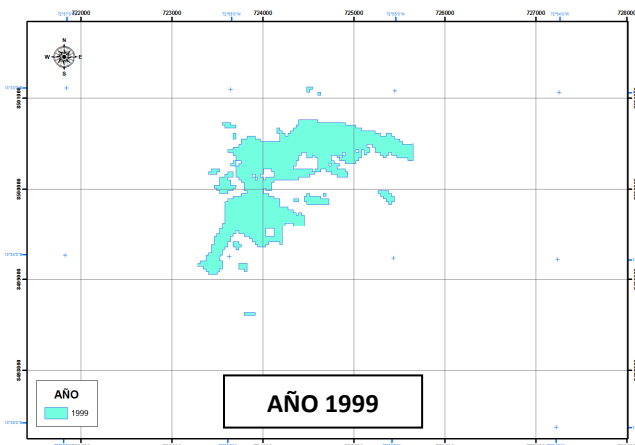
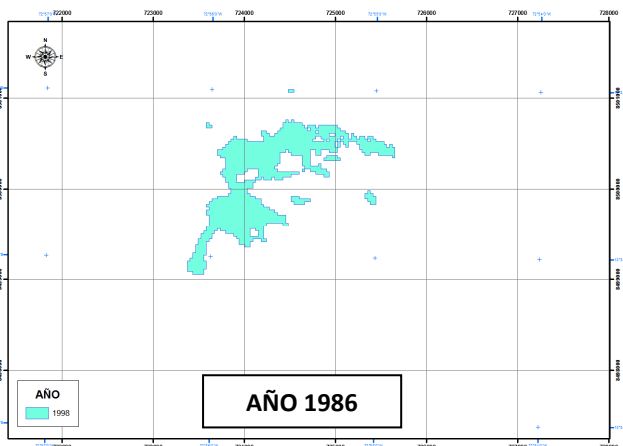
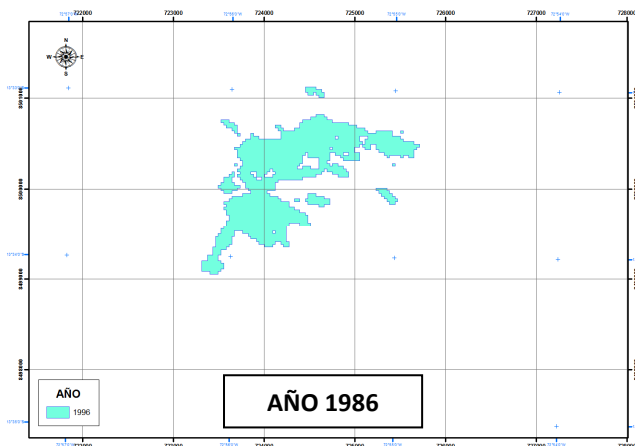
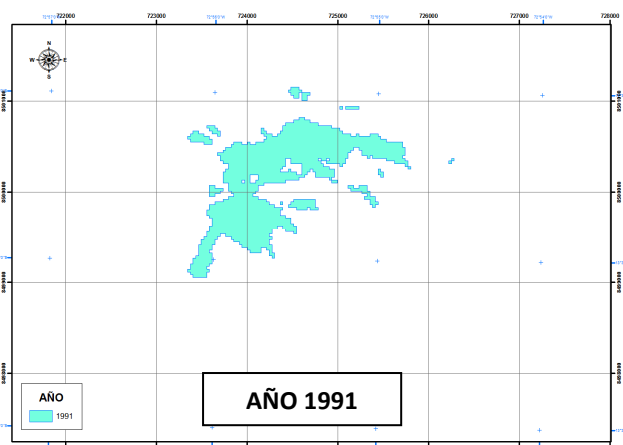
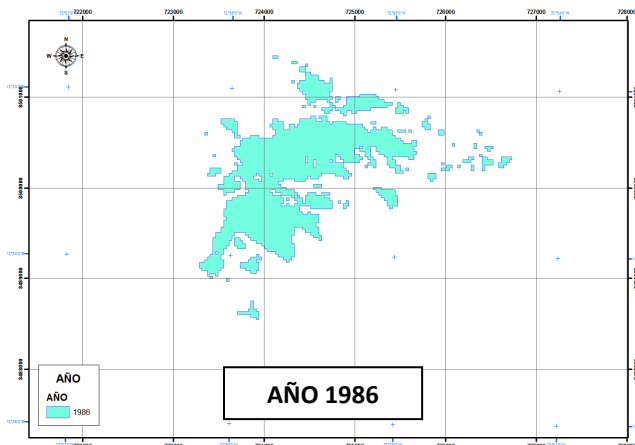
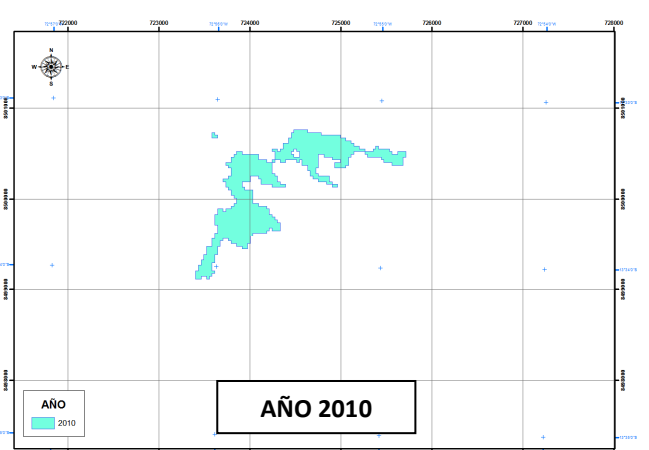
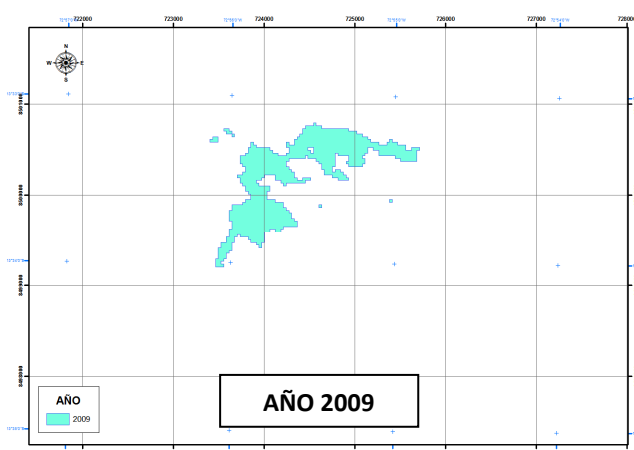
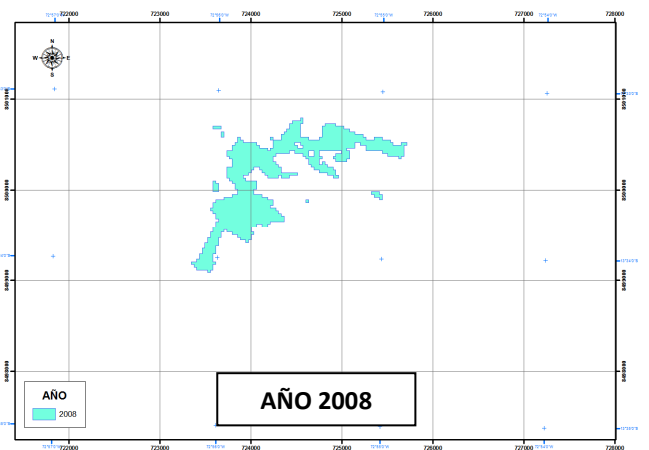
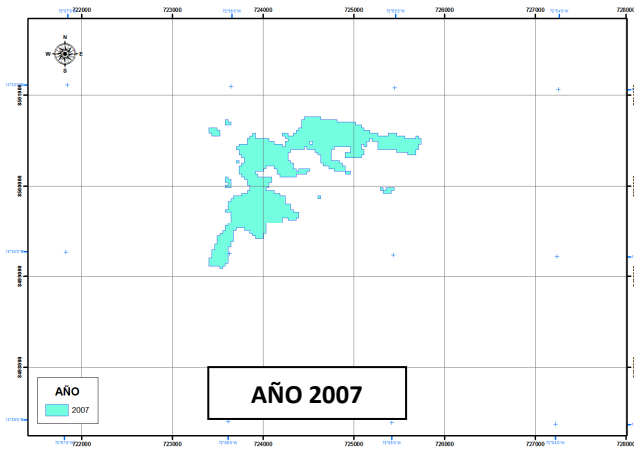
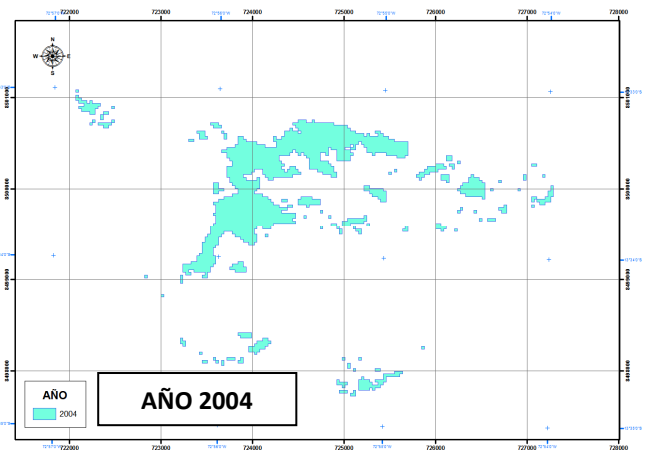
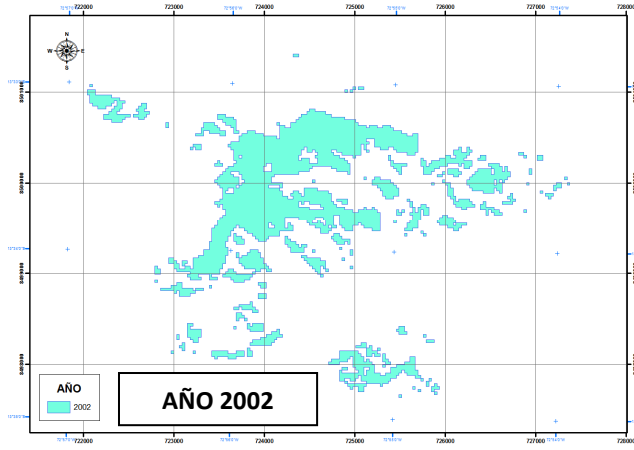


Figura 5. Evolución Espacio Temporal del Nevado Ampay

Evolución de Superficie Glacial del Nevado Ampay Periodo 1986 - 2011





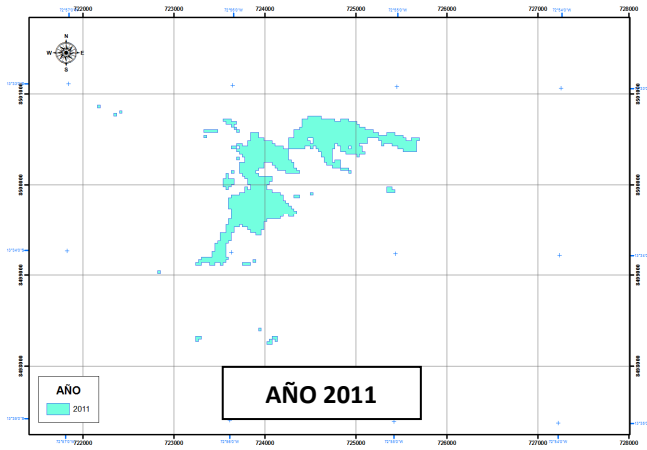


Figura 6. Superficies del Glacial de Nevado Ampay 1986 – 2011

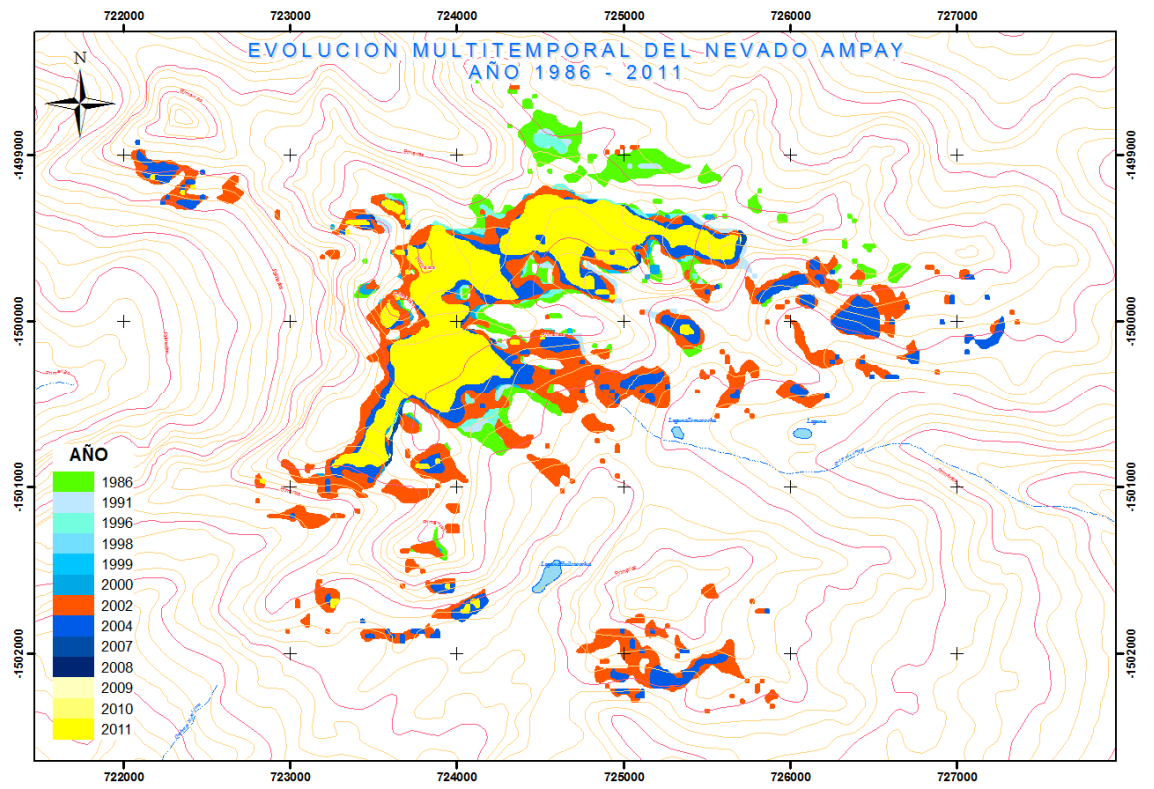


Figura 6. Mapa de Superficies del Nevado Ampay 1986 – 2011

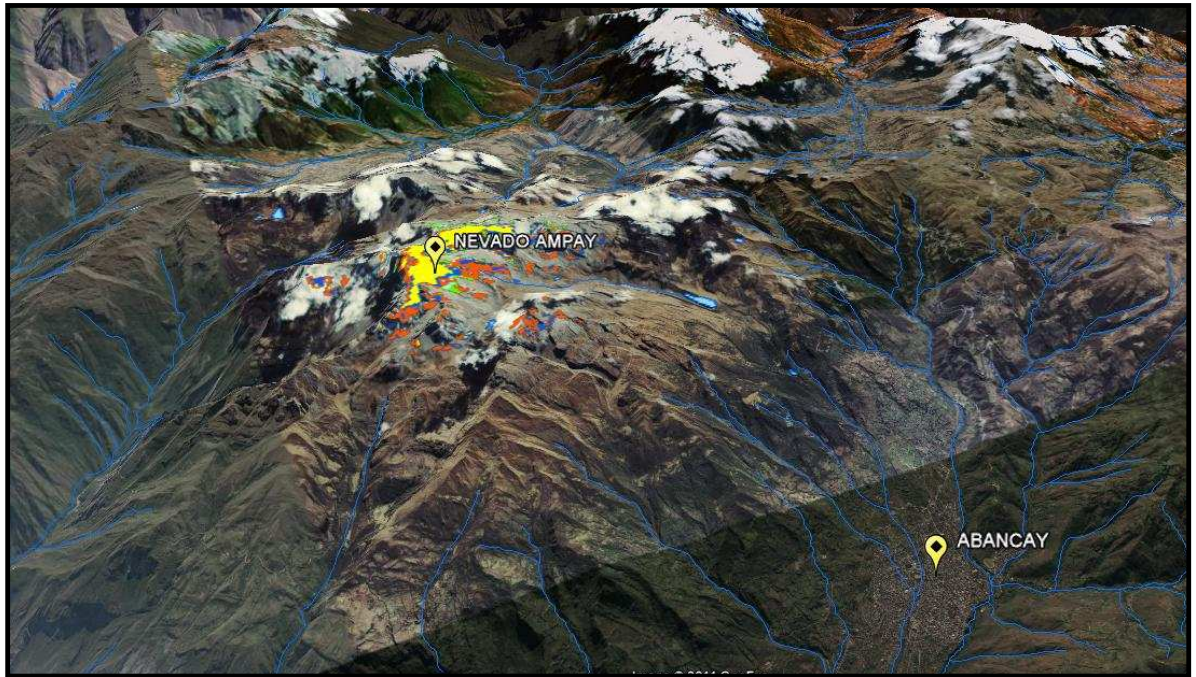


Figura 7. Visualización en 3D de Superficie del Nevado Ampay 1986 – 2011

5. Discusión de resultados

El retroceso glacial en el nevado Ampay es preocupante entre los años 1986 a 1999, se observó una disminución glacial significativa, posteriormente se observó un aumento en la superficie glacial entre el periodo 1999 a 2002 y observándose la precipitación pluvial de la estación meteorológica de Abancay (Ver Tabla 2), en este periodo hubo un incremento considerable, si bien es cierto la estación meteorológica está ubicada al noroeste de la periferia de la ciudad de Abancay a 2600 m.s.n.m. puede ser un indicador de este aumento de superficie glacial por la variabilidad climática (aumento de precipitación pluviométrica en época seca) que se dio en esos años.

Actualmente del 2002 a 2011 continuó el retroceso glacial y paralelamente una disminución de precipitación pluviométrica. Teniendo como resultado final de 1986 a 2011 una tendencia negativa.

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (m.m) ESTACION ABANCAY													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Precipitación anual total
1986								17.3	17.6		45.8	25.6	106.3
1987	90.9	60.9	39.9	17.1	15.9	12.2	16.3	6.2	0.0	39.8	62.3	83.0	444.5
1988	148.5	151.5	102.6	81.7		3.4	3.1	0.0	2.0	32.1			617.6
1989						7.9	0.0	12.7	1.4	46.2	37.5	49.7	155.4
1990	135.4	37.8	79.7	45.8	15.2	28.2	3.6	15.9	7.6	62.1	87.0	109.8	628.1
1991	51.4	48.8	94.4	0.9	14.3	8.7	0.0	0.0	8.7	45.4	32.0	16.6	321.4
1992	15.2	80.1	37.1	18.9	0.0	31.2	0.0	47.9	0.0	43.6	24.2	49.9	348.1
1993	126.6	92.3	77.9	49.2	5.0	0.0	11.0						362.0
1996	275.6	247.5	114.7	64.0	4.3	2.0	6.0	28.1	23.0	66.7	51.8	62.5	946.4
1997	226.0		180.4	56.6	21.2	2.7	0.0	35.0	25.6	25.4	85.2	86.9	745.0
1998	171.9	102.1	157.8	22.0	9.5	3.0	0.0	1.0	9.0	92.0	52.1	89.6	709.6
1999	203.3	291.6	162.0	77.9	12.2	9.3	3.4	0.0	71.1	80.6	73.6	132.8	1117.8
2000	213.5	299.2	115.3	49.9	7.1	18.9	19.5	28.8	16.9	92.9	51.2	196.1	1109.3
2001	256.2	180.0	193.8	37.7	51.2	1.1	29.5	24.6	10.6	32.6	33.1	102.6	953.2
2002	125.6	202.3	133.9	76.0	22.8	11.0	58.0	16.3	63.2	81.8			921.0
2003	208.2	182.9	199.6	20.5	6.7	0.0	1.6	35.8	35.7	94.9	35.5	136.6	958.0
2004	138.7	217.2	81.7		10.3	22.2	37.0	17.9	34.9	23.3	40.4	145.3	769.1
2005	78.7	150.6		57.1		0.0	16.3		24.8	83.4	69.2	137.0	617.1
2006	210.3	143.0	87.9	42.0	0.0	13.3	0.0	0.0	4.0		129.3	136.4	766.2
2007	153.1	125.5	177.0	17.8	16.3		17.9		1.3	69.4	46.1	200.0	824.6
2008	154.1	109.8	101.9		22.0		0.0	10.3					398.1

Tabla2. Precipitación total mensual (m.m) Año 1986 – 2008 Estación Abancay (Fuente SENAMHI)

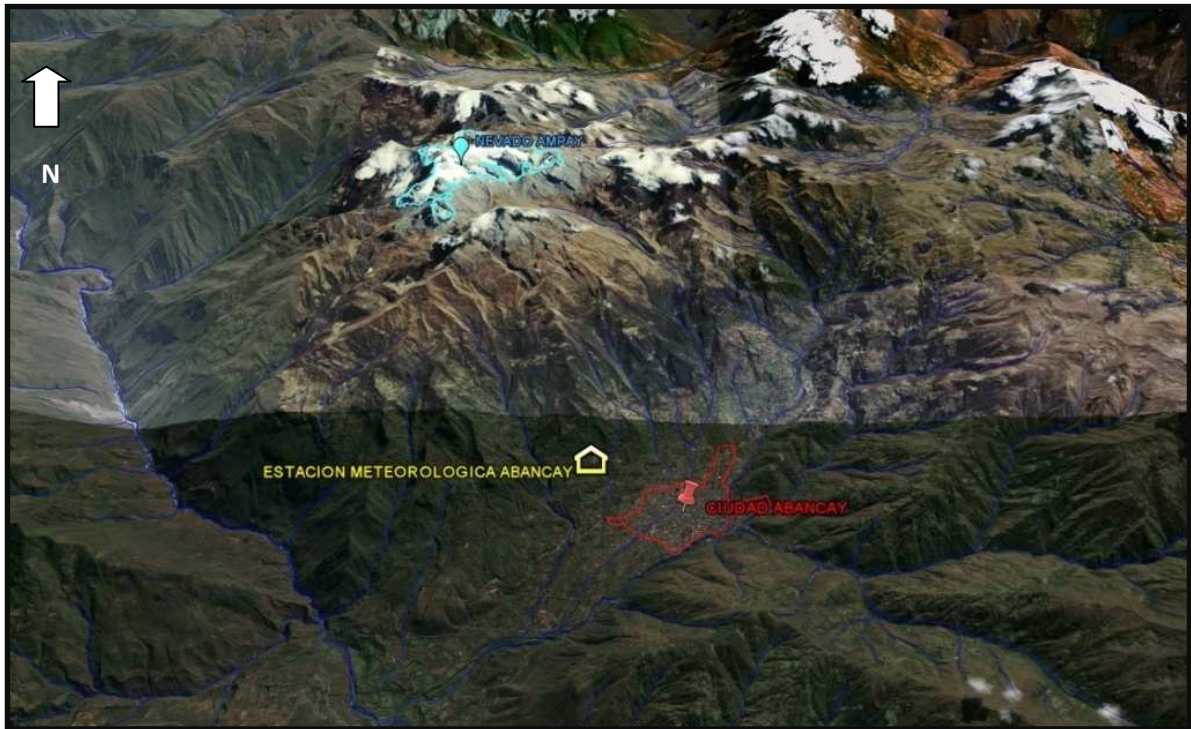


Figura 8. Ubicación de estación meteorológica Abancay

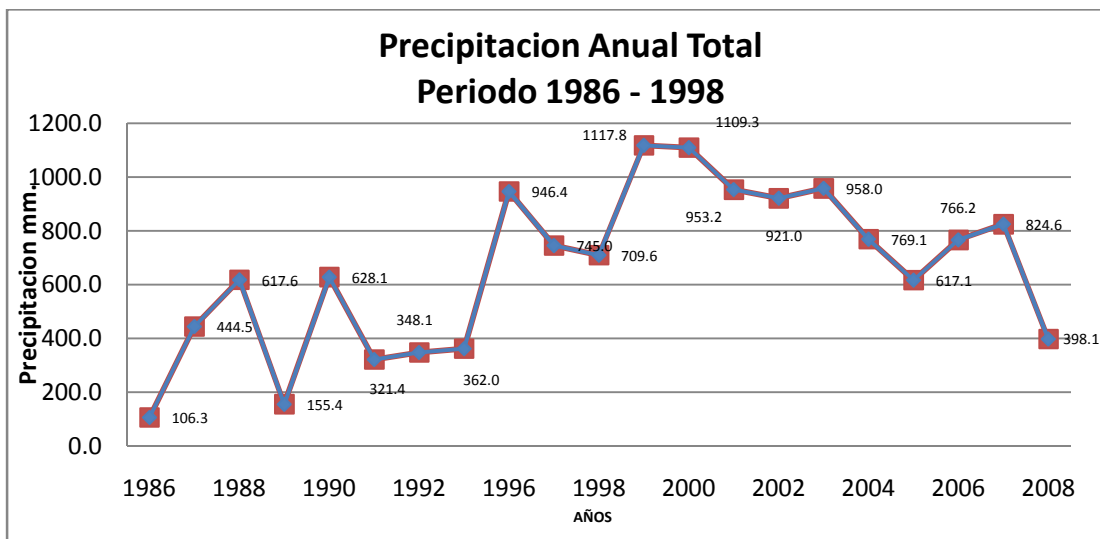


Figura 9. Precipitación anual total periodo 1986 - 1998

El retroceso del glaciar tiene varias implicaciones, bajo el prisma de la geografía aplicada. De un lado, el deshielo probablemente va a aumentar el riesgo de avalanchas. De otro lado la pérdida de esta reserva hídrica muy probablemente va a modificar el turismo, la disminución de cobertura vegetal, prácticas agrícolas y asentamientos humanos en pisos térmicos inferiores en este caso afectaría a la ciudad de Abancay.

6. Conclusiones

- El retroceso glacial es eminente con un pérdida de 108 ha. que representa el 56% desde el año 1986 a este año 2011.
- Se observo un aumento de superficie glacial entre los años 1999 a 2002 a consecuencia de la variabilidad climática (aumento de precipitación y posiblemente a temperaturas bajas en esos años) pero la tendencia continúa siendo negativa.
- Este estudio ejemplifica el potencial de los métodos de visualización espacial para monitorear las coberturas glaciares. Sin embargo, el trabajo aún está en progreso, si bien es un método de visualización dinámica bastante efectivo, aún se puede mejorar significativamente la comprensión y el seguimiento a los movimientos de la masa glacial.

7. Recomendaciones

- Realizar un levantamiento geomorfológico de los glaciares siguiendo el criterio de cuenca, destacando las siguientes unidades:
 - Circos glaciares.
 - Laderas con glaciares muy compactas.
 - Nivel de disección.

Con estos datos se pueden definir las áreas con mayor posibilidad de subsistir al retroceso glaciar.

- Instalar una estación hidrometeorológica en el nevado con la finalidad de tener un mejor conocimiento sobre la respuesta del nevado frente al cambio climático. La información meteorológica e hidrológica generada será de utilidad para la planificación y el diseño de medidas de adaptación al cambio climático, en especial con relación al uso y la gestión de los recursos hídricos.
- Se recomienda realizar mediciones con instrumentos especializados en el nevado Ampay para poder determinar el espesor del hielo.
- Se sugiere seguir actualizando el monitoreo del nevado Ampay mediante los sensores remotos para entender mejor el comportamiento de la variabilidad y cambio climático.

8. Referencia bibliográfica

Documentos y pagina web electrónicos consultados

- Descarga de Imágenes satelitales LandSat
<http://glovis.usgs.gov/>
- Gabriel Ortiz (pagina web de sistema de información Geográfica y Teledetección)
<http://www.gabrielortiz.com/>
- Glosario de términos IPCC
<http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- Wikipedia Enciclopedia libre (Historia de sensor remoto Landsat)
<http://es.wikipedia.org/wiki/LandSat>