

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
INGENIERÍA GEOLÓGICA**



TRABAJO DIRIGIDO

**IDENTIFICACIÓN DE GEOSITIOS POTENCIALES PARA LA PROPUESTA DE
PATRIMONIO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE MILLUNI, DPTO. LA PAZ**

POSTULANTE : UNIV. LUIS MARIO JIMENEZ HUANCA
TUTORA : ING. ELENA GORINOVA DE MAREÑO

La Paz – Bolivia

2022

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a las personas que me acompañaron a lo largo de la vida, dándome los mejores consejos, guiándome y haciéndome una persona de bien, con todo el afecto dedico el presente trabajo:

A Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres Martha y Mario quienes con su paciencia, esfuerzo y apoyo incondicional me han permitido llegar y cumplir hoy un objetivo más en la vida, pues sin ellos no lo habría logrado.

A los docentes de la Carrera Ingeniería Geológica de la Universidad Mayor de San Andrés, por el conocimiento transmitido, su tiempo y el apoyo durante la formación académica, en especial al Ing. Neomecio Choque (†), por su sabiduría transmitida durante el desarrollo de mi formación académica.

A mis amigas y amigos, compañeros de clase y de la vida por permitirme aprender más de la geología y de la vida a su lado.

A todos con quienes compartimos aula en las clases prácticas de diferentes materias en las gestiones 2015, 2016, 2017 y 2018.

A esa persona quien me dijo que la vida es un regalo, una oportunidad para alcanzar los sueños y hacerlos realidad.

A todos quienes siempre confiaron en mí.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por estar siempre presente en cada momento y permitirme continuar mi formación profesional.

A mis padres, por todo lo que soy en el presente.

A la tutora del presente trabajo, Ing. Elena Gorinova de Mareño por el apoyo, paciencia, dedicación y los conocimientos brindados.

A la carrera Ingeniería Geológica de la Universidad Mayor de San Andrés por darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

Agradecer al Colegio de Geólogos de Bolivia por permitirme desarrollar el Trabajo Dirigido.

Al PhD. Wilfredo Ramos Collorana, Presidente del Colegio de Geólogos de Bolivia, por su apoyo, los conocimientos y principalmente la confianza para desarrollar el presente trabajo.

A mis docentes y tribunales: Ing. Víctor Ismael Ramírez Fabiani, Ing. Raúl García Duarte y el MSc. Ing. Félix Daniel Espinoza Rubin de Celis por el apoyo para la realización de este trabajo.

A todas las personas que me apoyaron e hicieron posible que este trabajo se realice con éxito.

Y por último y no menos importante, quiero agradecer al autor del presente trabajo, por creer en mí y por nunca renunciar.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

Capítulo I. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Problemática del estudio.....	2
1.2.1. Identificación del problema	2
1.2.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Metodología de trabajo	4
1.5. Ubicación y accesibilidad del área de estudio.....	6
1.5.1. Ubicación.....	6
1.5.2. Accesibilidad	6
Capítulo II. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Definiciones.....	8
2.1.1. Patrimonio geológico	8
2.1.2. Geositio	8
2.1.3. Geodiversidad	10
2.1.4. Geoconservación	10
2.1.5. Geo - recurso	10
2.1.6. Geoturismo.....	11
2.2. Parámetros de geoconservación	11
2.2.1. Estado de conservación.....	11
2.2.2. Vulnerabilidad – fragilidad.....	12
2.2.2.1. Vulnerabilidad natural	12

2.2.2.2. Vulnerabilidad por causas antrópicas.....	12
2.2.3. Degradación	12
2.2.4. Amenazas	12
2.2.5. Protección	12
2.2.6. Vulnerabilidad, susceptibilidad de degradación y riesgo de degradación	12
2.2.7. Gestión del patrimonio geológico	13
2.3. Legislación vigente.....	14
2.3.1. Ley 1333 del Medio Ambiente	14
2.3.2. Reglamento General de las Áreas Protegidas	15
2.3.3. Ley 530 del Patrimonio Cultural Boliviano.....	15
2.4. Estudio del Patrimonio Geológico.....	15
2.4.1. Inventario de geositos	15
2.4.1.1. Tipos de inventario.....	16
2.4.2. Inventario de puntos de interés geológico – geositos	16
2.5. Inventario español de Geositos – Lugares de Interés Geológico – Puntos de Interés Geológico.....	19
2.5.1. Modelo de inventario.....	19
2.5.2. Parámetros de valoración de los geositos (PIGs y/o LIGs)	19
2.5.3. Valoración de la susceptibilidad de degradación y riesgo de degradación	23
2.5.3.1. Valoración de la vulnerabilidad.....	23
2.5.3.2. Valoración de la susceptibilidad de degradación	23
2.5.3.3. Valoración del riesgo de degradación	26
2.5.3.4. Rangos de susceptibilidad y riesgo de degradación.....	27
Capítulo III. MARCO GEOLÓGICO.....	28
3.1. Geomorfología.....	28
3.1.1. Procesos endógenos	28
3.1.2. Procesos exógenos.....	29
3.1.2.1. Procesos de meteorización	29

3.1.2.2. Procesos glaciares.....	29
3.1.2.3. Procesos periglaciares.....	36
3.1.2.4. Procesos fluviales	37
3.1.2.5. Procesos gravitacionales.....	39
3.1.2.6. Procesos poligenéticos	40
3.1.2.7. Procesos antrópicos	41
3.2. Estratigrafía	43
3.2.1. Paleozoico.....	45
3.2.1.1. Ordovícico Superior - Formación Amutara.....	45
3.2.1.2. Silúrico Inferior - Formación Cancañiri	46
3.2.1.3. Silúrico Inferior - Formación Llallagua	46
3.2.1.4. Silúrico Medio - Formación Uncía	47
3.2.1.5. Silúrico Superior - Formación Catavi.....	49
3.2.2. Mesozoico	49
3.2.2.1. Triásico - Formación Tiquina	49
3.2.3. Cenozoico	50
3.2.3.1. Pleistoceno - Depósitos de la glaciación Sorata	50
3.2.3.2. Pleistoceno - Glaciación de la Choqueyapu.....	51
3.2.3.3. Holoceno – Depósitos fluviales.....	52
3.2.3.4. Holoceno – Depósitos coluviales.....	53
3.3. Magmatismo.....	54
3.3.1. Plutón Huayna Potosí	54
3.3.2. Pórfido granítico de Chacaltaya.....	57
3.4. Geología estructural.....	60
3.4.1. Pliegues.....	61
3.4.2. Fallas	65
3.5. Geología económica	67
3.5.1. Recursos metálicos.....	67

3.5.2. Recursos no metálicos.....	67
3.6. Geología histórica	68
Capítulo IV. IDENTIFICACIÓN DE GEOSITIOS POTENCIALES EN EL ÁREA DE MILLUNI 70	
4.1. Introducción.....	70
4.2. Inventario de geositios	71
4.2.1. Geositio – 01: Glaciar Charquini Sur	71
4.2.2. Geositio – 02: Glaciar Italia.....	72
4.2.3. Geositio – 03: Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí	72
4.2.4. Geositio – 04: Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi	74
4.2.5. Geositio – 05: Glaciar de Roca.....	74
4.2.6. Geositio – 06: Morrenas Charquini.....	75
4.2.7. Geositio – 07: Morrenas y lagunas glaciares de colores	76
4.2.8. Geositio – 08: Laguna Esmeralda	79
4.2.9. Geositio – 09: Laguna Negra – Ayllaica	80
4.2.10. Geositio – 10: Plutón Huayna Potosí.....	81
4.2.11. Geositio – 11: Anticlinal Poposani	82
4.2.12. Geositio – 12: Anticlinal Chacaltaya	82
4.3. Evaluación de los geositios – lugares de interés geológico según “Modelo de inventario de Español de Lugares de Interés Geológico”	84
4.3.1. Distribución geográfica	84
4.3.2. Áreas temáticas	84
4.3.3. Cuantificación del valor patrimonial.....	85
4.3.3.1. Valor científico.....	98
4.3.3.2. Valor didáctico y potencial educativo	99
4.3.3.3. Valor turístico	99
4.4. Evaluación de parámetros de geoconservación	100
4.4.1. Riesgo de degradación por causas naturales	100
4.4.1. Riesgo de degradación por causas antrópicas	102

4.5. Bases para la propuesta de integración turística de los geositios	105
4.5.1. Ley Nro 777 del Sistema de Planificación Integral del Estado – SPIE	105
4.5.2. Planes Territoriales de Desarrollo Integral - PTDI	105
4.5.3. Gestión del patrimonio geológico	105
4.5.3.1. Inventario.....	106
4.5.3.2. Legislación	106
4.5.3.3. Geoconservación	107
4.5.3.4. Divulgación.....	107
4.5.4. Bases para el desarrollo territorial del área de Milluni a partir de la gestión del patrimonio geológico.....	108
4.5.4.1. Acciones realizadas en el área de Milluni	115
Capítulo V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117
5.1. Conclusiones.....	117
5.2. Recomendaciones	121
REFERENCIAS.....	122
ANEXOS	

Índice de figuras

Figura 1. Etapas de la metodología de trabajo.....	5
Figura 2. Mapa generalizado de ubicación del área de Milluni	6
Figura 3. Imagen satelital Lansat - 8 TM., bandas (6,5,4) correspondiente al área de estudio. ...	7
Figura 4. Puzzle de acciones principales para la geoconservación y gestión del patrimonio geológico (Carcavilla, 2014)	14
Figura 5. Etapas de trabajo para el estudio de geositios y el patrimonio geológico.....	18
Figura 6. Representación de los tipos de valor para los geositios	22
Figura 7. Vista panorámica del Nevado Huayna Potosí.....	30
Figura 8. Vista del glaciar Charquini Sur ubicado al Noreste de la región de Milluni	31
Figura 9. Morrenas laterales y frontales del sector de la Laguna Milluni (Imagen satelital Google Earth).....	32
Figura 10. Cresta de la morrena frontal que limita la Laguna Milluni Chico	32
Figura 11. Antiguo circo glaciar ubicado en el sector del cerro Chacaltaya	33
Figura 12. Vista panorámica del glaciar Charquini, las aristas y horn.	34
Figura 13. Rocas aborregadas al Sur de la Laguna <i>Pata Khota</i>	34
Figura 14. Valle glaciar colgado ubicado al Noroeste de la laguna Jankho khota	35
Figura 15. Laguna <i>Ayllaica</i> ubicada al Noroeste del Cerro <i>Chacaltaya</i> , Tarn	35
Figura 16. Suelos estriados formado por procesos periglaciares en laderas del <i>Cerro Visuyo</i> ..	36
Figura 17. Campos de bloques de rocas graníticas en el sector Norte de la cuenca	37
Figura 18. Glaciar de roca en el sector Sur del nevado Huayna Potosí	37
Figura 19. Abanicos aluviales ubicados al pie de los cerros de la parte occidental de la cuenca de Milluni.	38
Figura 20. Geoformas fluviales, valle en V y abanicos aluviales	39
Figura 21. Conos de detritos en las laderas del <i>Cerro Khala Cruz</i>	40
Figura 22. Bofedales en el sector de Milluni.....	41
Figura 23. Instalaciones del antiguo campamento minero y sus pasivos ambientales	41
Figura 24. Construcción de una presa para contener las aguas de la laguna Milluni Grande....	42
Figura 25. Cuadro cronoestratigráfico de las unidades presentes en la región de Milluni	43
Figura 26. Columna estratigráfica generalizada del área de Milluni	44
Figura 27. Afloramiento de la Fm. Amutara en el sector Norte de Milluni	45
Figura 28. Afloramientos de la Fm. Cancañiri, niveles masivos sin estratificación (slump)	46
Figura 29. Afloramientos de la Fm. Llallagua, alternancia de areniscas y pelitas en capas delgadas.....	47

Figura 30. Afloramiento de la Fm. Uncía, la base constituida por niveles de limolitas.....	48
Figura 31. Afloramientos de la Fm. Uncía sector laguna <i>Jankho Khota</i> , contacto con la Fm. Catavi	48
Figura 32. Afloramientos de la Fm. Catavi en el sector de <i>Jacha Milluni</i>	49
Figura 33. Afloramientos de la Fm. Tiquina, areniscas y arcillitas rojizas	50
Figura 34. Depósitos de till de la Glaciación Sorata y Choqueyapu.	51
Figura 35. Bloque errático que corresponde a los depósitos de till Choqueyapu.....	52
Figura 36. Depósitos fluviales que forman los abanicos aluviales sector Milluni.	53
Figura 37. Muestra de mano del plutón Huayna Potosí	54
Figura 38. Microfotografía del granito con textura hipidiomorfogranular y ocurrencia de ortosa, microclina y biotita (aumento del objetivo 10x, nicoles X)	55
Figura 39. Muestra de granito con xenolito monzonítico tomado del plutón Huayna Potosí	55
Figura 40. Microdique de aplita en el plutón granítico Huayna Potosí.....	56
Figura 41. Muestra de mano del pórfido granítico del Chacaltaya donde se observan mega - fenocristales de ortosa.....	57
Figura 42. Abundante presencia de muscovita y cuarzo formados debido al hidrólisis de feldespatos de roca ígnea.	58
Figura 43. Ocurrencia de agregados de "soles de turmalina" en el cuerpo de roca greisenizada.....	58
Figura 44. Afloramiento de brechas aledañas al pórfido granítico.....	59
Figura 45. Diagrama de rosas, define la dirección preferencial de la estratificación y estructuras geológicas del área de Milluni.	60
Figura 46. Proyección estereográfica del sinclinal Laguna Milluni.....	61
Figura 47. Proyección estereográfica del anticlinal Churu Khanca.....	62
Figura 48. Proyección estereográfica del sinclinal Churu Khanca.....	62
Figura 49. Proyección estereográfica del anticlinal Poposani.....	63
Figura 50. Vista panorámica del sector occidental de Milluni donde se aprecia el anticlinal Poposani	63
Figura 51. Proyección estereográfica del sinclinal Tajlla Willkhi.....	64
Figura 52. Proyección estereográfica de los pliegues menores del sector Noreste del Cerro Tajlla Willkhi	64
Figura 53. Proyección estereográfica del anticlinal Chacaltaya.....	65
Figura 54. Vista panorámica del sector oriental de Milluni donde se aprecia el anticlinal Chacaltaya	65

Figura 55. Vista a la base del glaciar Charquini Sur. Fotografía del año 2018.	71
Figura 56. Glaciar Italia ubicado al Noroeste de la región de Milluni	72
Figura 57. Vista panorámica del Nevado Huayna Potosí.....	73
Figura 58. Valle glaciar colgado ubicado por el sector Noroeste de la laguna <i>Jankho Khota</i>	74
Figura 59. Vista del glaciar de roca ubicado al Noroeste de la región de Milluni	75
Figura 60. Depósitos glaciares recientes que forman morrenas en el sector de Charquini	76
Figura 61 Esquema morfoestratífico de las 10 morrenas en el sector de Charquini (Tomado y modificado de Rabatel, 2005).....	76
Figura 62. Imagen satelital de la laguna Milluni Grande (Google Earth)	77
Figura 63. Imagen satelital de la laguna Milluni Chico (Google Earth)	78
Figura 64. A. Vista de la laguna Jankho Khota. B. Vista de la laguna Jankho Khotha en los años 60 donde tiene coloración blanca.....	78
Figura 65. Vista de la laguna Pata Khota	79
Figura 66. Laguna Esmeralda ubicada en el sector de Charquini	80
Figura 67. Laguna Negra – Ayllaica.....	80
Figura 68. A. Vista panorámica del Intrusivo Huayna Potosí B. Muestra de mano del granito ...	81
Figura 69. Anticlinal formado en rocas silúricas (sector Poposani)	82
Figura 70. Vista panorámica del anticlinal Chacaltaya.....	83
Figura 71. Distribución de geositos potenciales por área temática en el área de Milluni	85
Figura 72. Diagrama de valoración general del geosito Glaciar Charquini.....	86
Figura 73. Valoración científica del geosito Glaciar Charquini.....	86
Figura 74. Diagrama de valoración general del geosito Glaciar Italia.....	87
Figura 75. Valoración científica del geosito Glaciar Italia.....	87
Figura 76. Diagrama de valoración general del geosito Glaciar Zongo	88
Figura 77. Valoración científica del geosito Glaciar Zongo – Nevado Huayna Potosí	88
Figura 78. Diagrama de valoración general del geosito Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi	89
Figura 79. Valoración científica del geosito Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi	89
Figura 80. Diagrama de valoración general del geosito Glaciar de Roca.....	90
Figura 81. Valoración científica del geosito Glaciar de Roca.....	90
Figura 82. Diagrama de valoración general del geosito Morrenas Charquini.....	91
Figura 83. Valoración científica del geosito Morrenas Charquini	91
Figura 84. Diagrama de valoración general del geosito Morrenas y lagunas de colores	92
Figura 85. Valoración científica del geosito Morrenas y lagunas glaciares de colores	92
Figura 86. Diagrama de valoración general del geosito Laguna Esmeralda	93

Figura 87. Valoración científica del geosítio Laguna Esmeralda	93
Figura 88. Diagrama de valoración general del geosítio Laguna Negra Ayllaica	94
Figura 89. Valoración científica del geosítio Laguna negra Ayllaica	94
Figura 90. Diagrama de valoración general del geosítio Plutón Huayna Potosí.....	95
Figura 91. Valoración científica del geosítio Plutón Huayna Potosí.....	95
Figura 92. Diagrama de valoración general del geosítio Anticlinal Poposani	96
Figura 93. Valoración científica del geosítio Anticlinal Poposani	96
Figura 94. Diagrama de valoración general del geosítio Cerro Chacaltaya	97
Figura 95. Valoración científica del geosítio Cerro Chacaltaya.....	97
Figura 96. Propuesta de modelos de paneles informativos de los geosítios potenciales	113
Figura 97. Visita a la ruta Glaciar Italia	115
Figura 98. Trabajo comunitario realizado en el sector Charquini.....	116

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas de los vértices del área de estudio.....	6
Tabla 2. Parámetros de valoración de los geositos del Modelo de Inventario Lugares de Interés Geológico (García Cortés et al., 2018)	20
Tabla 3. Resumen de los coeficientes de ponderación utilizados para cada parámetro en función del tipo de valor que se calcule (García Cortés et al., 2018).....	21
Tabla 4. Valoración cuantitativa de los geositos (García Cortés et al., 2018).....	22
Tabla 5. Valores del factor de tamaño (Ef), fragilidad (F) y amenazas naturales (An) (García Cortés et al., 2018)	24
Tabla 6. Parámetros de valoración de la vulnerabilidad por amenazas antrópicas de los geositos y coeficientes de ponderación (García Cortés et al., 2018).....	25
Tabla 7. Valores umbrales para la separación de los rangos bajo, medio, alto y muy alto de la susceptibilidad de degradación y riesgo de degradación (García Cortés et al., 2018).....	27
Tabla 8 Resultados del análisis estereográfico de los pliegues del área de Milluni	66
Tabla 9. Tipologías de los geositos potenciales del área de Milluni.....	70
Tabla 10. Resultados de la valoración cuantitativa de los geositos potenciales.....	85
Tabla 11. Valoración científica de los geositos potenciales del área de Milluni.....	98
Tabla 12. Valoración didáctica - potencial educativo de los geositos potenciales del área de Milluni.....	99
Tabla 13. Valoración turística de los geositos potenciales en el área de Milluni	100
Tabla 14. Valores del riesgo de degradación por causas naturales.....	102
Tabla 15. Valores del riesgo de degradación por causas antrópicas.....	104
Tabla 16. Recomendaciones para el diseño de paneles interpretativos (tomado y modificado de Carcavilla et al., 2007).....	112

RESUMEN

Las ciencias geológicas durante las últimas décadas han permitido incluir al patrimonio de la humanidad las características geológicas. El área de Milluni resalta por sus cualidades paisajísticas debido a la existencia de elementos geológicos que manifiestan su historia geológica del área. Los estudios de los geositos y el patrimonio geológico permiten reconocer el valor de los elementos geológicos para una adecuada gestión y planificación del territorio.

La administración pública y la sociedad aún desconoce el valor intrínseco de los elementos geológicos, por lo tanto, los elementos geológicos están en riesgo porque son vulnerables a las amenazas naturales y antrópicas, que condicionan incluso su desaparición ante la falta de políticas de una adecuada planificación territorial y normativas legales que garanticen la gestión del patrimonio geológico del área de Milluni.

El presente estudio tiene como objetivo identificar geositos potenciales para la propuesta de patrimonio geológico en el área de Milluni, en el departamento de La Paz a partir de la caracterización de la geología, geodiversidad y la aplicación del Modelo de Inventario Español de Lugares de Interés geológico (IELIG), para la valoración cuantitativa de los geositos, además de la evaluación de los parámetros de geoconservación.

Los geositos identificados son elementos geológicos cuya temática son la geomorfología glaciar, tectónica – geología estructural y petrología. Estos geositos son el glaciar Charquini, glaciar Italia, glaciar Zongo – Nevado Huayna Potosí, el valle glaciar colgado, el glaciar de roca, las morrenas Charquini, morrenas y lagunas glaciares de colores, las lagunas Esmeralda y Negra, el plutón Huayna Potosí y los anticlinales Poposani y Chacaltaya. Los geositos propuestos son calificados como lugares modélicos, lugares relacionados con la geología ambiental y procesos geológicos activos y lugares representativos de la geología del área de Milluni.

La valoración cuantitativa determinó que los geositos propuestos son clasificados como geositos de alto y muy alto valor, por lo tanto, estos constituyen el patrimonio geológico del área de Milluni debido al valor intrínseco y su alto potencial de uso para actividades educativas y recreativas, principalmente el geoturismo como una actividad estratégica en la gestión del patrimonio geológico. Asimismo, las amenazas naturales y antrópicas ponen en riesgo a estos elementos geológicos, por lo tanto, muestran la necesidad de implementar planes a corto plazo para la geoconservación del medio natural en base a los Planes Territoriales de Desarrollo Integral.

PALABRAS CLAVE: Geositos Milluni, Patrimonio geológico, Geodiversidad, geoconservación

ABSTRACT

Geological sciences in recent decades have made it possible to include geological features in the heritage of humanity. The Milluni area stands out for its landscape qualities due to the existence of geological elements that show the geological history of the area. The studies of the geosites and the geological heritage allow us to recognize the value of the geological elements for an adequate management and planning of the territory.

The public administration and society are still unaware of the intrinsic value of geological elements, therefore, geological elements are at risk because they are vulnerable to natural and man-made threats, which even condition their disappearance in the absence of adequate planning policies of the territory and legal regulations that guarantee the management of the geological heritage of the Milluni area.

The objective of this study is to identify potential geosites for the geological heritage proposal in the Milluni area, in the department of La Paz, based on the characterization of geology, geodiversity and the application of the Spanish Inventory Model of Places of Geological Interest (IELIG), for the quantitative assessment of geosites, in addition to the evaluation of geoconservation parameters.

The identified geosites are geological elements whose themes are glacial geomorphology, tectonics - structural geology and petrology. These geosites are the Charquini glacier, Italia glacier, Zongo glacier - Nevado Huayna Potosí, the hanging glacier valley, the rock glacier, the Charquini moraines, moraines and colored glacial lakes, the Emerald and Black lakes, the Huayna Potosí pluton and the Poposani and Chacaltaya anticlines. The proposed geosites are qualified as model places, places related to environmental geology and active geological processes, and representative places of the geology of the Milluni area.

The quantitative assessment determined that the proposed geosites are classified as high and very high value geosites, therefore, they constitute the geological heritage of the Milluni area due to their intrinsic value and their high potential for use for educational and recreational activities, mainly the geotourism as a strategic activity in the management of geological heritage. Likewise, natural and anthropic threats put these geological elements at risk, therefore, they show the need to implement short-term plans for the geoconservation of the natural environment based on the Territorial Plans for Integral Development.

KEY WORDS: Milluni Geosites , Geological Heritage, Geodiversity, Geoconservation

Capítulo I. GENERALIDADES

1.1. Introducción

La consciencia sobre el cuidado de los recursos naturales ha permitido incluir como parte del patrimonio de la humanidad las características geológicas y la historia de la evolución de la Tierra a lo largo de los millones de años. En 1991 en Digne Francia, se celebró la Primera Reunión Internacional de Geoconservación “PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL DE CONSERVACIÓN DE NUESTRO PATRIMONIO GEOLÓGICO”. En el mismo se redactó la “DECLARACIÓN INTERNACIONAL SOBRE LOS DERECHOS DE LA MEMORIA DE LA TIERRA”, hecho que marca un precedente para impulsar el desarrollo de esta nueva temática en las ciencias de la Tierra y así generar políticas de gestión en la identificación, conservación y promoción de los sitios de interés geológico o geositios. La geología de Bolivia es variada en sus paisajes y ámbitos geológicos. Las diversas características litológicas, estructurales, paleogeográficas y morfológicas, entre otras, son el resultado de la evolución tectónica que experimentó el territorio del país a lo largo del tiempo geológico. Si bien, Bolivia es un país dedicado a la explotación de materias primas en los sectores tradicionales de la minería e hidrocarburos, el turismo es un rubro económico con impacto positivo para la sociedad por la generación de ingresos y empleo.

El área de Milluni se encuentra ubicado en la Cordillera Oriental de Bolivia, presenta características geológicas particulares y es un entorno propicio para el desarrollo didáctico de la enseñanza de la geología en la sociedad. Esta área cuenta con estudios geológicos en diferentes temáticas debido a su facilidad de acceso, cercanía e influencia de las ciudades de El Alto y La Paz, además de los diversos recursos naturales presentes. Asimismo, se estableció que el reconocimiento del patrimonio geológico y minero es un elemento esencial para generar una nueva dinámica turística en el sector (Miranda et al., 2010), donde se resalta las cualidades paisajísticas y su historia minera. No obstante, en el área mencionada aún no se han desarrollado de forma sistemática y metodológica los aspectos geológicos como valor para contribuir al desarrollo turístico sustentable. Estos elementos sumarían al valor turístico de la zona y permitirían la difusión de la geología del entorno a la sociedad. Además, se deben trazar lineamientos de geoconservación sostenidos en una adecuada gestión de los geositios que son parte del patrimonio geológico de una determinada región.

El presente trabajo se desarrolla en materia del patrimonio geológico y cuya finalidad es aplicar una metodología basada en el análisis del contexto geológico del área desde diferentes temáticas

geológicas para identificar y evaluar de forma cualitativa y cuantitativa los geositos potenciales presentes en el área. El valor patrimonial de los geositos se evaluó mediante el Modelo de Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG), asimismo, se determinó los parámetros de geoconservación de los geositos identificados en el área de Milluni para finalmente proponer la incorporación de los mismos para el desarrollo del turismo geológico bajo el marco del desarrollo sostenible y cuidado del Medio Ambiente.

1.2. Problemática del estudio

1.2.1. Identificación del problema

“Porque solo se protege y conserva lo que se conoce”

Carcavilla et al. (2014), menciona que el patrimonio geológico es una de las materias de reciente estudio dentro de las Ciencias Geológicas. Asimismo, durante los últimos años en países vecinos se fueron realizando esfuerzos por parte de geólogos y la administración pública para promover las actividades para el desarrollo turístico, difusión y protección de los valores geológicos patrimoniales en la sociedad (Moreira et al., 2009).

En Bolivia son escasos los trabajos enfocados a la temática de la identificación de geositos y el estudio del patrimonio geológico. Sin embargo, Bolivia cuenta con diferentes sitios de visita turística que tienen esencia geológica por sus cualidades paisajísticas y las cuales no están siendo aprovechadas con todo su potencial debido a la falta de políticas orientadas a la gestión de los mismos. Este hecho muestra el desconocimiento del valor intrínseco de los elementos geológicos en una determinada región y este es el caso del área de Milluni. De los escasos trabajos, se destacan aquellos dedicados a la geomorfología y también se menciona la historia minera de la zona para el desarrollo de un turismo alternativo sostenible (Torrez, 2010). De la misma manera, el reconocimiento del patrimonio geológico y minero del área es un elemento esencial para consolidar el desarrollo turístico de la región que demandan los habitantes de la zona (Miranda et al., 2010). Esta situación pone en evidencia la falta de identificación de los geositos potenciales presentes y su correspondiente caracterización.

Otro aspecto es la desconsideración en la planificación territorial administrativa (municipios y gobernación) de los geositos potenciales del área que sean vulnerables a las actividades antrópicas y amenazas naturales, pudiendo incluso desaparecer con el tiempo. La desaparición de los geositos o elementos geológicos es irreversible debido a que los procesos geológicos no pueden recrearse en sus diferentes dimensiones.

La administración pública y los entes relacionados al estudio aun no contemplan esta nueva temática, razón por el cual no existen políticas de gestión orientadas a identificar los elementos geológicos como recursos. Por lo tanto, la parte administrativa aun no reconoce los valores patrimoniales de los diferentes elementos geológicos, entonces, los mismos se encuentran en riesgo por diferentes amenazas. El área de Milluni no cuenta con estudios respecto a la caracterización de los geositos potenciales para su adecuada gestión y aprovechamiento los cuales permitirían iniciar proyectos en el marco de la legislación en los diferentes niveles administrativos.

Finalmente, dentro de la normativa nacional vigente solo se tienen a la Ley 1333 (1992) del Medio Ambiente y la Ley 530 (2014) del Patrimonio Cultural Boliviano. La primera mediante el Reglamento General de las Áreas Protegidas se hace mención a la categoría de Monumento Natural, que es la única que reconoce aspectos geológicos de manera general. En la Ley 530 se define el patrimonio paleontológico, siendo estos dos instrumentos legales los únicos destinados a reconocer y gestionar el patrimonio geológico.

1.2.2. Justificación

Se espera que el presente estudio permita reconocer el valor intrínseco de los elementos geológicos presentes en el área de Milluni y los mismos podrán ser integrados a los recursos turísticos para promover un turismo alternativo sostenible. Además, de plantear medidas orientadas a la gestión y conservación de los mismos. La identificación de los geositos del área mostrará la necesidad de una adecuada planificación territorial de los municipios para la implementación y desarrollo de futuros proyectos, permitirá promover normativas dentro de la legislación nacional, departamental y municipal para la gestión de conservación y promoción de los mismos con el objeto de generar proyectos que involucren a la comunidad con enfoque del cuidado del medio ambiente. Identificar geositos potenciales del área, permitirá sumar a los recursos turísticos que son ofertados en el lugar, incrementando el valor turístico de la zona donde el geoturismo se convierte en alternativa para el desarrollo económico de los habitantes y otros actores involucrados en estas actividades. El desarrollo del geoturismo permitirá promocionar a la zona incluyendo aspectos geológicos desde su esencia científica, didáctica y recreativa.

La identificación de los geositos potenciales en el área de Milluni permitirá contribuir al conocimiento del patrimonio geológico de la región. Mostrando la necesidad de una adecuada gestión de los mismos por parte de la administración pública e instituciones relacionadas con el sector, se procura promover estudios similares en otras regiones. Se destacarán los elementos

geológicos de la zona permitiendo involucrar a la sociedad para tomar consciencia y decisiones respecto a su importancia y conservación bajo el marco del desarrollo sostenible.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Identificar geositios potenciales para la propuesta de patrimonio geológico del área de Milluni, Dpto. de La Paz.

1.3.2. Objetivos específicos

- **Analizar** el contexto geológico general del área de Milluni para proponer los sitios geológicos atractivos desde el punto de vista científico, didáctico y turístico – recreativo.
- **Aplicar** el “Modelo de Inventario Español de Lugares de Interés Geológico” para la valoración y calificación de los geositios del área de Milluni.
- **Evaluar** los parámetros de geoconservación (vulnerabilidad, susceptibilidad y riesgo de degradación) de los geositios potenciales del área de Milluni.
- **Proponer** la incorporación del área de Milluni para el desarrollo del turismo geológico.

1.4. Metodología de trabajo

El presente trabajo dirigido es de tipo descriptivo – analítico, entonces se realizaron los trabajos de campo correspondientes para el levantamiento de información y respectivo análisis. La metodología aplicada para alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo se la describe a continuación y se resumen en la figura 1, la misma fue dividida en tres etapas de trabajo las cuales son:

- *Etapa 1. Recopilación de información:* Esta etapa se contempló la búsqueda de información bibliográfica de la geología del área de estudio, así como de áreas adyacentes e información regional. Todo esto mediante la revisión de artículos científicos de revistas nacionales e internacionales, tesis de pregrado, reportes, informes técnicos y mapas geológicos. Posteriormente se analizó la información obtenida y se procedió a la planificación del trabajo de campo y la estrategia de trabajo.
- *Etapa 2. Trabajo de campo:* Esta etapa consistió en realizar la caracterización geológica del área de estudio en el terreno e identificación los geositios preliminares, estudiarlos y valorarlos cualitativamente.
- *Etapa 3. Análisis de resultados y generación de productos:* En esta etapa se realizó la calificación y valoración de los geositios potenciales mediante la aplicación del “Modelo de inventario español de Lugares de Interés Geológico”, así como la compilación y análisis de los resultados, la generación del inventario de geositios potenciales y mapas temáticos,

además, el análisis de los parámetros de geoconservación para los diferentes geositios potenciales identificados en el área.

La información generada se compila en el presente documento, tablas, bases de datos y mapas temáticos sobre el inventario resultante del área de estudio. Finalmente se dan las conclusiones sobre las características del patrimonio geológico del área. Los productos finales fueron los siguientes:

- Inventario de geositios
- Bases de datos de los geositios
- Mapas temáticos

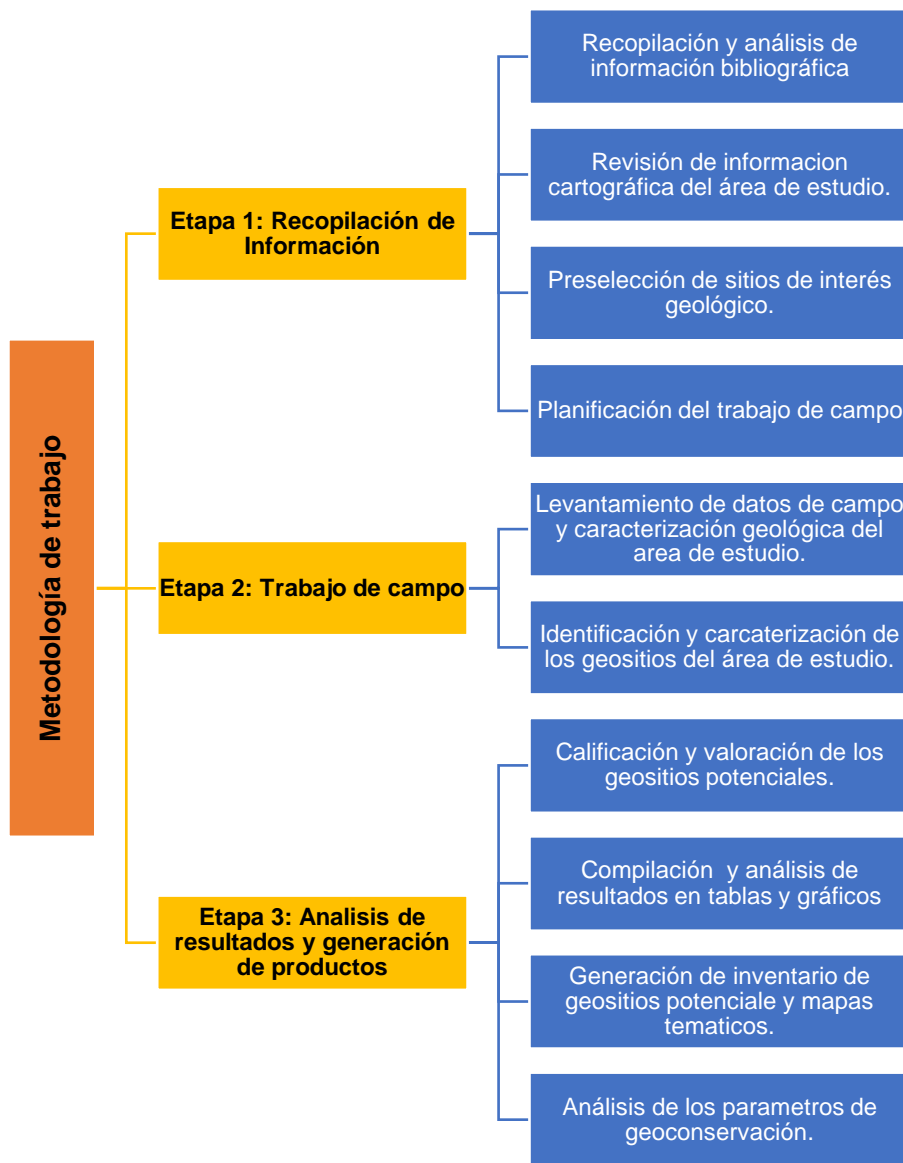


Figura 1. Etapas de la metodología de trabajo

1.5. Ubicación y accesibilidad del área de estudio

1.5.1. Ubicación

Geográficamente el área de estudio se encuentra ubicado en el departamento de La Paz, en la provincia Murillo, en los municipios de Nuestra Señora de La Paz y El Alto. La zona de interés corresponde al sector Norte de la cuenca de Milluni (figura 2 y 3). En la tabla 1 se indican las coordenadas de los vértices del área de estudio.

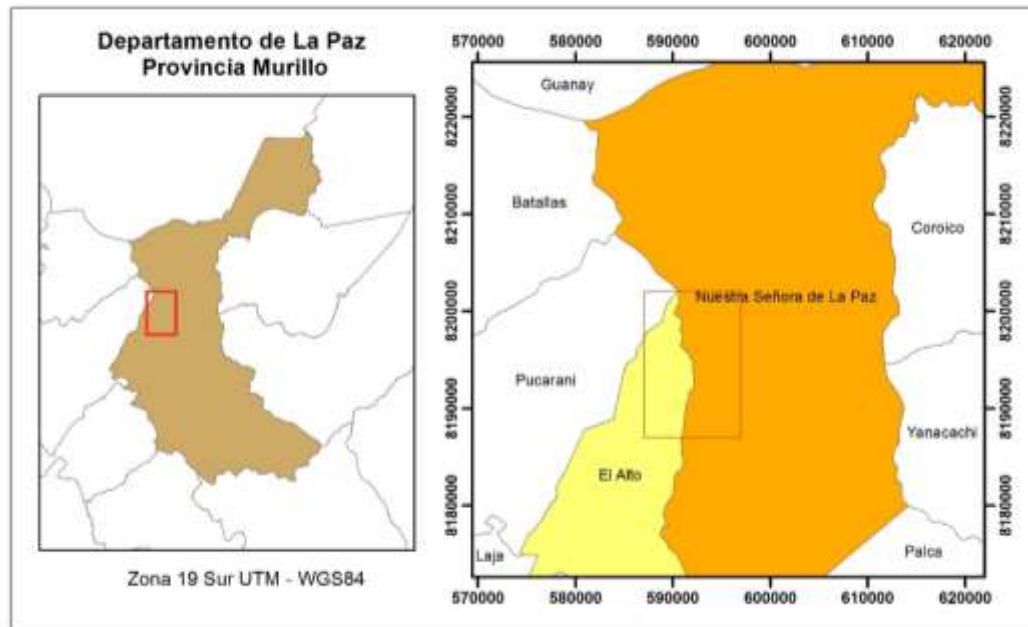


Figura 2. Mapa generalizado de ubicación del área de Milluni

1.5.2. Accesibilidad

El acceso al área de estudio se lo realiza por la carretera que une La Paz – Milluni – Valle Zongo. Se encuentra a 30 km desde la ciudad de El Alto a través de una carretera tipo ripio.

Tabla 1.

Coordenadas de los vértices del área de estudio

Vértice	Coordenadas UTM - WGS 84		Coordenadas geográficas	
	m Este	m Norte	Longitud	Latitud
A	587000	8187000	68° 11' 07'' W	16° 23' 24'' S
B	587000	8202000	68° 11' 09'' W	16° 15' 16'' S
C	597000	8187000	68° 05' 30'' W	16° 23' 23'' S
D	597000	8202000	68° 05' 32'' W	16° 15' 15'' S

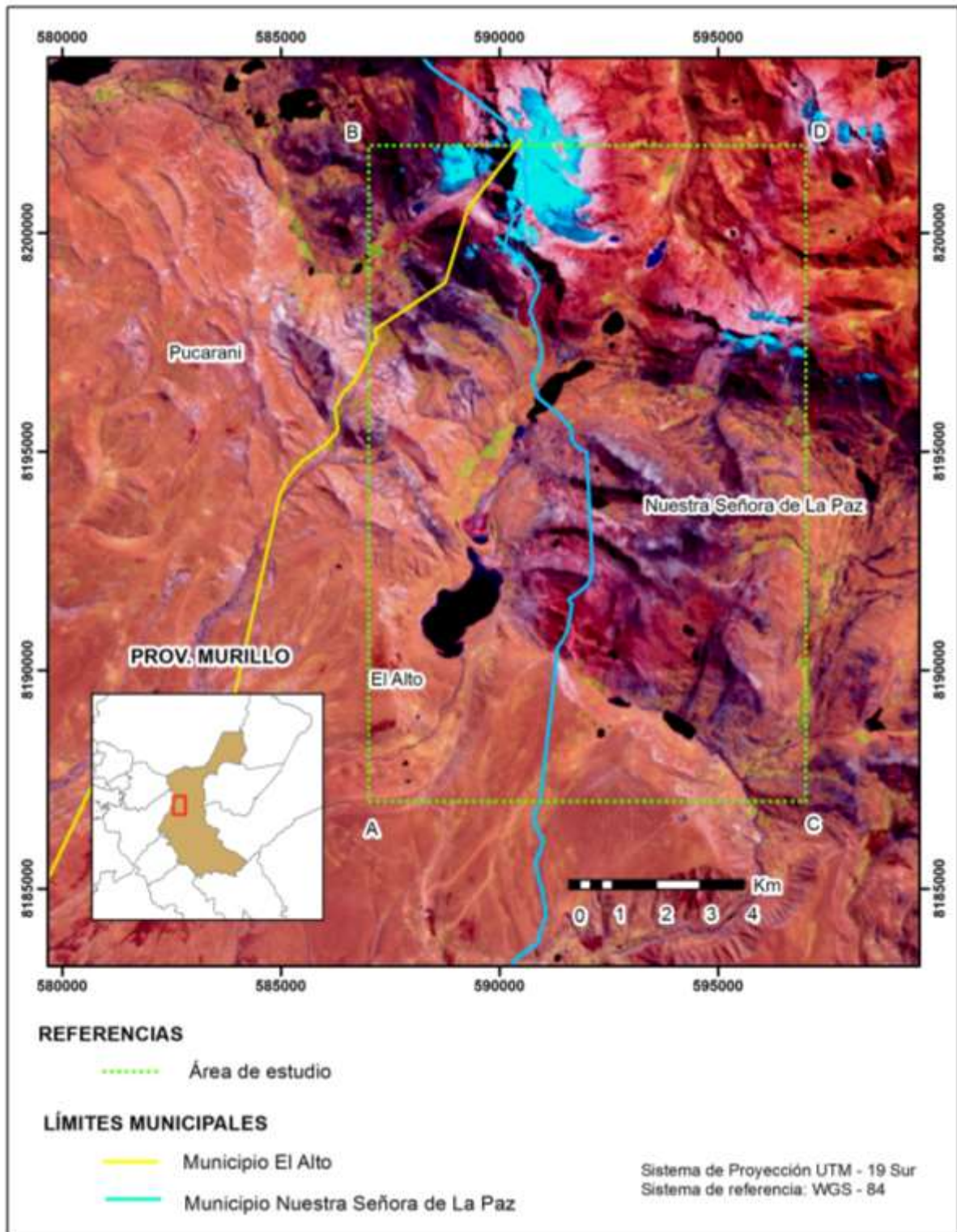


Figura 3. Imagen satelital Lansat - 8 TM., bandas (6,5,4) correspondiente al área de estudio.

Capítulo II. MARCO TEÓRICO

2.1. Definiciones

2.1.1. Patrimonio geológico

Sobre la temática del patrimonio geológico diferentes autores e instituciones fueron desarrollando definiciones al respecto. Para ello se consideran las siguientes definiciones:

Según Carcavilla et al., (2014), el patrimonio geológico:

“está formado por elementos geológicos que presentan una especial singularidad debido, fundamentalmente, a su interés científico o didáctico. Constituye una parte importante del patrimonio natural e incluye formas, elementos y estructuras originadas por cualquier proceso geológico. Así que está formado por todos aquellos enclaves relevantes para cualquier disciplina de la geología, como la geomorfología, estratigrafía, tectónica, petrología, mineralogía paleontología, hidrogeología, geología ambiental, etc.”

En la Ley 42/2007 de España del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. (2007) define al patrimonio geológico como:

“el conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer estudiar e interpretar:

- a) El origen y evolución de la Tierra.
- b) Los procesos que han modelado
- c) Los climas y paisajes del pasado y presente
- d) Origen y evolución de la vida”.

Según Díaz - Martínez y Fernández - Martínez (2015), el significado de patrimonio geológico implica la consideración de una parte objetiva; elementos naturales abióticos y una parte subjetiva, el valor que es condicionado por diferentes factores; ambas partes se relacionan de manera proporcional para determinar el patrimonio geológico.

2.1.2. Geositio

Carcavilla et al. (2007) menciona que el patrimonio geológico de una región está compuesto por un conjunto de sitios cuyo valor e interés les hace destacar del entorno, estos se denominan geositios, Puntos de Interés Geológico (PIG) o Lugares de Interés Geológico (LIG). El autor, menciona a Eligaza y Palacio (1996) que definen al PIG como:

“aquellos lugares en los que afloran, o son visibles, los rasgos geológicos más característicos y mejor representados de una región. Su conocimiento, inventario, divulgación y protección es de gran importancia, pues, además de ser su degradación casi siempre irreversible, su conocimiento y cuidado es considerado como una característica de los países culturalmente avanzados, formando una parte fundamental de su Patrimonio cultural”.

Carcavilla (2012), complementa el concepto de geositios, puntos de interés geológico y/o lugares de interés geológico como aquellas áreas que muestren procesos geológicos únicos, sitios modélicos en cuanto a la representatividad de la geodiversidad, sitios donde se reconocieron por primera vez rasgos geológicos, secciones geológicas de referencia, afloramientos geológicos que sean resultado de acciones antrópicas y sitios que tengan interés adicional basados en otros aspectos del medio natural, cultural o social (mencionado en Poch, 2019).

Según García Cortés et al. (2018), un Lugar de Interés Geológico es “un lugar de interés, por su carácter único y/o representativo, para el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos, incluyendo los procesos que los han modelado, los climas del pasado y su evolución paleobiológica”.

De acuerdo a Carcavilla (2014) en un determinado entorno natural los criterios para definir el interés de un sitio según sus características geológicas son:

Tipo 1 - Lugares modélicos – *best sites*: son lugares donde puede verse el mejor ejemplo de un determinado aspecto, proceso o elemento geológico. Es un sitio valorado por su representatividad y se usa como modelo y referencia.

Tipo 2- Patrones - *pattern sites*: Estos lugares constituyen referencias para un determinado periodo de tiempo geológico, debido a que posee el registro más completo y continuo de la sedimentación, el registro de vida y procesos geológicos para ese lapso de tiempo.

Tipo 3 - Lugares que muestren procesos únicos – *uniques sites*: corresponden a sitios donde se registran procesos o sucesos anómalos dentro del contexto geológico de una determinada región.

Tipo 4 - Lugares originales – *first sites*: corresponden a sitios donde se definieron o reconocieron por primera vez un aspecto geológico, aunque posteriormente se hayan hecho modificaciones o encontrado mejores ejemplos.

Tipo 5 - Lugares relacionados con la geología ambiental y procesos geológicos activos de épocas recientes: Estos sitios muestran la dinámica actual del planeta y ayudan a comprender la interacción del hombre y los procesos geológicos.

Tipo 6 - Lugares representativos: Esta categoría incluye aquellos sitios representativos de la geología de una región cuyas características sirven para definir su historia geológica. Estos pueden ser afloramientos con estructuras o materiales que afloran con frecuencia, se repiten en el paisaje o lo condicionan.

2.1.3. Geodiversidad

Se define como la “diversidad de rasgos y procesos geológicos (rocas, minerales y fósiles), geomorfológicos (paisajes, formas de terreno y procesos físicos), edafológicos e hidrológicos, sus relaciones, propiedades y sistemas de un determinado territorio” (Valderrama et al., 2017).

También puede entenderse como “la variedad de elementos geológicos, incluidos rocas, minerales, fósiles, suelos, formas de relieve, formaciones y unidades geológicas, y paisajes que son el producto y registro de la evolución de la Tierra” (Ley 42/2007 de España).

2.1.4. Geoconservación

La geoconservación puede ser visto desde dos enfoques:

Desde el modo genérico, hace referencia a la puesta en práctica de políticas activas de conservación del patrimonio geológico y la geodiversidad. Por otro lado, se hace mención al conjunto de técnicas y medidas concretas orientadas a asegurar la conservación a partir del análisis de sus valores intrínsecos, vulnerabilidad y su riesgo de degradación, ambos bajo el criterio de sostenibilidad (Valderrama et al., 2017).

Los principios en los que se basa la conservación del patrimonio geológico y la geodiversidad son que ambos poseen un valor intrínseco y que ambos poseen una fragilidad que los hace vulnerables (Carcavilla et al., 2007).

2.1.5. Geo - recurso

El geo - recurso hace referencia al elemento o conjunto de elementos, lugares o espacios de valor y significación geológica que cumplen las siguientes condiciones:

- Que tengan elevado valor científico y/o didáctico y, por tanto, deben ser objeto de una protección adecuada y gestión específica.
- Que sean utilizable como recurso para incrementar la capacidad de atracción del territorio en el que se ubican y, en consecuencia, de mejorar la calidad de vida de la población de su entorno (Valderrama et al., 2017).

Además, se considera que el “concepto de geo - recurso prima las perspectivas de recurso y de desarrollo sostenible” porque es considerado:

- Bien natural y cultural del territorio, al igual que el resto de los recursos del patrimonio natural.
- Activo socio económico con capacidad de sustentar actividades científicas, educativas, turísticas y recreativas y, en consecuencia, de promover el desarrollo de las áreas rurales (Valderrama et al., 2017).

2.1.6. Geoturismo

Carcavilla et al. (2007) menciona que el patrimonio geológico y la geodiversidad pueden servir como recursos valorables económicamente y utilizable desde el punto de vista socioeconómico debido a su naturaleza y sus valores (científico, naturalístico, cultural, recreativo y didáctico). El concepto de geoturismo, fue introducido por primera vez por Hose (1995), es la “provisión de recursos interpretativos y servicios para promocionar el valor y beneficio social de los lugares de interés geológico y geomorfológico, asegurar su preservación y su uso por parte de estudiantes, turistas u otro tipo de visitantes” (mencionado en Meléndez et al., 2017).

Hose (1999) menciona que el geoturismo es viajar con el objetivo de aprender y disfrutar el patrimonio de la Tierra, para que visitante o turista conozca, disfrute y principalmente fomentar y estimular en él actividades orientadas a la conservación del patrimonio (mencionado en Carcavilla et al., 2007).

El geoturismo también puede considerarse como el turismo sostenible donde los rasgos geológicos son enfocados bajo un entendimiento cultural y medioambiental para promover su conservación (Dowling y Newsome, 2006).

El geoturismo también puede ser considerado como “un tipo de turismo basado en el conocimiento, conservación e interpretación de los atributos abióticos de la naturaleza y su integración interdisciplinar en la industria del turismo buscando acercar los lugares de interés geológico al público” (Sadry, 2009).

2.2. Parámetros de geoconservación

2.2.1. Estado de conservación

Hace referencia a la situación en la que se encuentra la integridad natural de un recurso o lugar y grado en el que esto afecta a su valor natural. Este puede ser bueno si la integridad permanece intacta o malo si está afectado severamente (Carcavilla et al., 2007).

2.2.2. Vulnerabilidad – fragilidad

También llamada fragilidad o sensibilidad, se refiere a la susceptibilidad de un recurso geológico a sufrir cambios o degradación por las acciones del hombre (Carcavilla et al., 2007). Sin embargo, la **fragilidad** debe entenderse que es la cualidad de un geositio, PIG y/o LIG que lo hace alterable por sus características intrínsecas, como su litología y su grado de tectonización y/o meteorización (García Cortés et al., 2018).

2.2.2.1. Vulnerabilidad natural

Es un factor que evalúa la posibilidad de alteración de un geositio debido a los procesos naturales, reales o potenciales que lo afectan. Estos son las *amenazas naturales*. Los efectos de estos procesos geológicos activos o biológicos dependerán de la fragilidad del mismo. Se denomina vulnerabilidad intrínseca cuando los procesos geológicos que provocan la alteración o deterioro del geositio son los mismos que los han generado (García Cortés et al., 2018).

2.2.2.2. Vulnerabilidad por causas antrópicas

Es el factor que evalúa la posibilidad de alteración del geositio por efecto de las acciones o amenazas procedentes de la actividad humana y depende de las presiones constructivas, actividades mineras, etc. (García Cortés et al., 2018).

2.2.3. Degradación

La degradación de las características de un recurso geológico o de un geositio hace referencia a la pérdida de calidad, integridad o valor causada por las modificaciones debida a la acción del hombre (Carcavilla et al., 2007).

2.2.4. Amenazas

De modo genérico corresponde a los usos del territorio que pueden suponer una amenaza para la conservación de las condiciones naturales de un lugar. Una determinada actividad o uso del territorio que sea considerado una amenaza no siempre es perjudicial, ello depende del lugar donde se realice, cómo y con qué intensidad se realice (Carcavilla et al., 2007).

2.2.5. Protección

La protección se refiere a una técnica específica de conservación referida a la asignación de un estatus legal de un determinado lugar o recurso geológico. Esto significa la generación de un sistema de gestión el cual pueda proteger el espacio bajo una determinada condición legal (Carcavilla et al., 2007).

2.2.6. Vulnerabilidad, susceptibilidad de degradación y riesgo de degradación

Carcavilla et al. (2007) expresa que la geoconservación tiene como principio considerar que el patrimonio geológico y la geodiversidad es vulnerable y puede ser afectado por

modificaciones que pueden incluso llegar a su destrucción. La vulnerabilidad se debe a las características intrínsecas del elemento, considerando factores como la naturaleza, textura, litología y sus dimensiones.

La susceptibilidad de degradación es la facilidad que presenta un lugar de interés geológico o geositio a degradarse en función de su tamaño, fragilidad y vulnerabilidad (natural o por causas antrópicas).

De la misma manera, el riesgo de degradación es un concepto relacionado con la vulnerabilidad y se define como la probabilidad de que un elemento o recurso geológico sea degradado considerando dos factores: la vulnerabilidad intrínseca y los factores externos (García Cortés et al., 2018).

2.2.7. Gestión del patrimonio geológico

La gestión del patrimonio geológico parte de dos objetivos principales (Carcavilla et al., 2014):

- ✓ Asegurar la preservación de los bienes que lo constituyen, permitiendo su legado a generaciones venideras.
- ✓ Aprovechar su potencial y utilizarlo para el disfrute de la población, incluyendo incluso la posibilidad de utilización para promover el desarrollo socioeconómico de un territorio.

El conjunto de acciones que implica cumplir estos objetivos se resumen en el diagrama (figura 4), donde se encuentran los pilares de acción: inventario, legislación, geoconservación y divulgación para la gestión eficiente del patrimonio geológico.

En la figura 4 se reconocen cuatro acciones principales:

- El primer elemento es el buen conocimiento geológico del territorio, para ello se realiza el inventario con el objetivo de caracterizar los recursos que están en el sector.
- El segundo elemento es la legislación, contar con el marco legal orientado a la conservación y cuidado.
- El tercero hace referencia a las acciones concretas de actuación para asegurar la conservación del lugar.
- El cuarto se refiere a la utilización del patrimonio geológico para el disfrute y beneficio de la sociedad, investigación, didáctica, divulgación y el turismo (Carcavilla et al., 2014).

Además, Carcavilla et al. (2014), argumenta que para garantizar una gestión eficaz no debe omitirse los pasos para dar seguridad y solidez a los proyectos que involucren el patrimonio geológico.



Figura 4. Puzzle de acciones principales para la geoconservación y gestión del patrimonio geológico (Carcavilla, 2014)

2.3. Legislación vigente

Dentro de las leyes y normativas en el territorio boliviano no existen leyes específicas que estén orientadas a la gestión del patrimonio geológico. Sin embargo, se debe destacar que, en la Constitución Política del Estado - CPE, en el Capítulo 5°, Sección I de Derecho al Medio Ambiente en sus Artículos 33 y 34, hace alusión al derecho de las personas al Medio Ambiente saludable, protegido y equilibrado, y la defensa del mismo por parte de las personas. Esta constituiría la base para generar nuevas políticas orientadas al reconocimiento del patrimonio geológico para su conservación. A partir de la CPE se generan diversas normativas y entre ellas destacan el Ley 1333 del Medio ambiente y la Ley 530 del Patrimonio Cultural Boliviano.

2.3.1. Ley 1333 del Medio Ambiente

La Ley 1333 del Medio Ambiente del 27 de abril de 1992 de Bolivia, en su Artículo 1° manifiesta: “ el objeto de la Ley es la protección y conservación del Medio Ambiente y los recursos naturales regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población” y de la misma manera, en el Artículo 3, “el Medio Ambiente y los recursos naturales constituyen patrimonio de la nación, su protección y aprovechamiento se encuentran regidos por la ley y son de orden público”.

2.3.2. Reglamento General de las Áreas Protegidas

Bajo el marco de la Ley 1333, se reconocen las áreas protegidas para que puedan ser gestionados; por lo tanto, en el Capítulo II, de las categorías de manejo, se definen las categorías de Parque y Monumento Natural.

En el Artículo 22, la categoría Monumento Nacional o Departamental tiene por objeto fundamental “la preservación de rasgos naturales sobresalientes de particular singularidad, por su carácter espectacular, paisajístico o escénico, de formaciones geológicas, fisiográficas o yacimientos paleontológicos”.

De alguna manera, se reconoce la necesidad de protección de este tipo de espacios naturales, sin embargo, aún hace falta los elementos para la gestión adecuada del patrimonio geológico.

2.3.3. Ley 530 del Patrimonio Cultural Boliviano

La Ley 530 del Patrimonio Cultural Boliviano, del 23 de mayo de 2014, expresa su objetivo en el Artículo 2° “poner en valor las identidades culturales del Estado Plurinacional de Bolivia, sus diversas expresiones y legados, promoviendo la diversidad cultural, el dinamismo intercultural y la corresponsabilidad de todos los actores y sectores sociales, como competentes esenciales del desarrollo humano y socioeconómico del pueblo boliviano”.

El Artículo 4 de Definiciones, contempla el patrimonio paleontológico, definido de la siguiente manera: “son organismos o parte de los organismos o indicios de actividad vital de organismos, que vivieron en el pasado geológico y toda concentración natural de fósiles en un cuerpo de roca o sedimento expuestos en la superficie o situados en el subsuelo o en ambientes subacuáticos”. Por lo tanto, dentro de la normativa nacional esta sería la más cercana orientada a los valores geológicos poniendo en evidencia la necesidad de generar un marco legal específico para gestionar el patrimonio geológico.

2.4. Estudio del Patrimonio Geológico

2.4.1. Inventario de geositios

Carcavilla et al. (2007), menciona a Palacio (2000) y define a los inventarios como herramientas cuyo objetivo es lograr el mayor conocimiento de una región en la que se incluye la evaluación tanto del propio punto como la incidencia del soporte geológico sobre la actividad humana.

Los inventarios son el primer paso para el estudio, gestión y conservación del patrimonio geológico, este consiste en la catalogación de los elementos de interés, el mismo implica la identificación, localización y valoración. Finalmente, el inventario aporta información sobre las

características geológicas de una zona, su diversidad y el valor del territorio en sentido geológico.

Los puntos que se incluyen en los inventarios son destacables por su singularidad o por ser representativos de la geodiversidad del área estudiada (Carcavilla et al., 2007).

2.4.1.1. Tipos de inventario

Los inventarios de geositos, puntos de interés geológico y/o lugares de interés geológico pueden ser de distintos tipos, las cuales tratan de diferentes aproximaciones en función de los recursos disponibles (información, tiempo, personal y presupuesto) y de los objetivos del inventario, por lo tanto, estos pueden ser:

- Inventarios de reconocimiento
- Inventarios de reconocimiento avanzado
- Inventarios sistemáticos
- Inventarios sistemáticos – temáticos

2.4.2. Inventario de puntos de interés geológico – geositos

El estudio del patrimonio geológico parte de una serie de etapas las cuales condicionarán el proceso de selección y valoración de los mismos. La secuencia de etapas de trabajo se resume en la figura 5.

La primera etapa es la delimitación del área de estudio. El estudio como tal debe referirse a una zona en concreto: en el ámbito geológico se definen a partir de unidades de estudio, por ejemplo, las cuencas; en el ámbito territorial puede definirse en función de diferentes criterios (límites municipales, provinciales, departamentales, nacionales o zonas específicas). Sin embargo, lo ideal es que la delimitación sea mediante unidades geológicas para tener cierto grado de homogeneidad en sus características.

La definición de la escala, este parámetro definirá las posibles aplicaciones del inventario y según los objetivos del mismo, las escalas poco detalladas sirven para identificar zonas con potencialidad y escalas detalladas son útiles cuando los objetivos están orientados a la incorporación de los elementos geológicos en planos territoriales, diseño de circuitos turísticos, identificación de espacios a proteger para la gestión del patrimonio geológico.

La tipología de los geositos indica las características que servirán de directriz en el proceso de inventario (dimensiones, significado, naturaleza y vulnerabilidad, posible utilización). La representación cartográfica está orientada a la generación de mapas y deben ilustrar las

características geológicas del área, definir la distribución, naturaleza, extensión y relaciones espaciales de los elementos geológicos reconocidos.

La segunda etapa constituye la recopilación bibliográfica y documental que consiste en compilar y analizar la información disponible acerca del área de estudio, información de índole geológica e información de índole administrativa territorial.

La tercera etapa de síntesis geológica define el contexto geológico del área de estudio en función de las características del mismo, donde se aplican las diferentes herramientas de estudio según las disciplinas geológicas (mapeo geológico, geomorfológico, levantamiento de columnas, etc.).

La cuarta etapa es la búsqueda de geositos preliminares que resulta del análisis del medio geológico, donde se agrupa y ordena la información de cada enclave, se reúne las características para su selección y se pone las bases para una posible valoración posterior y representación cartográfica.

La quinta etapa es la evaluación de los geositos donde se realiza la clasificación, valoración y selección de los geositos analizando los aspectos referidos a su valoración (científica, didáctica, turístico - recreativo) y los parámetros de geoconservación según una metodología específica. Para el presente trabajo la metodología aplicada es el Modelo de Inventario Español de Lugares de Interés Geológico” cuyas características se describen más adelante en este mismo capítulo.

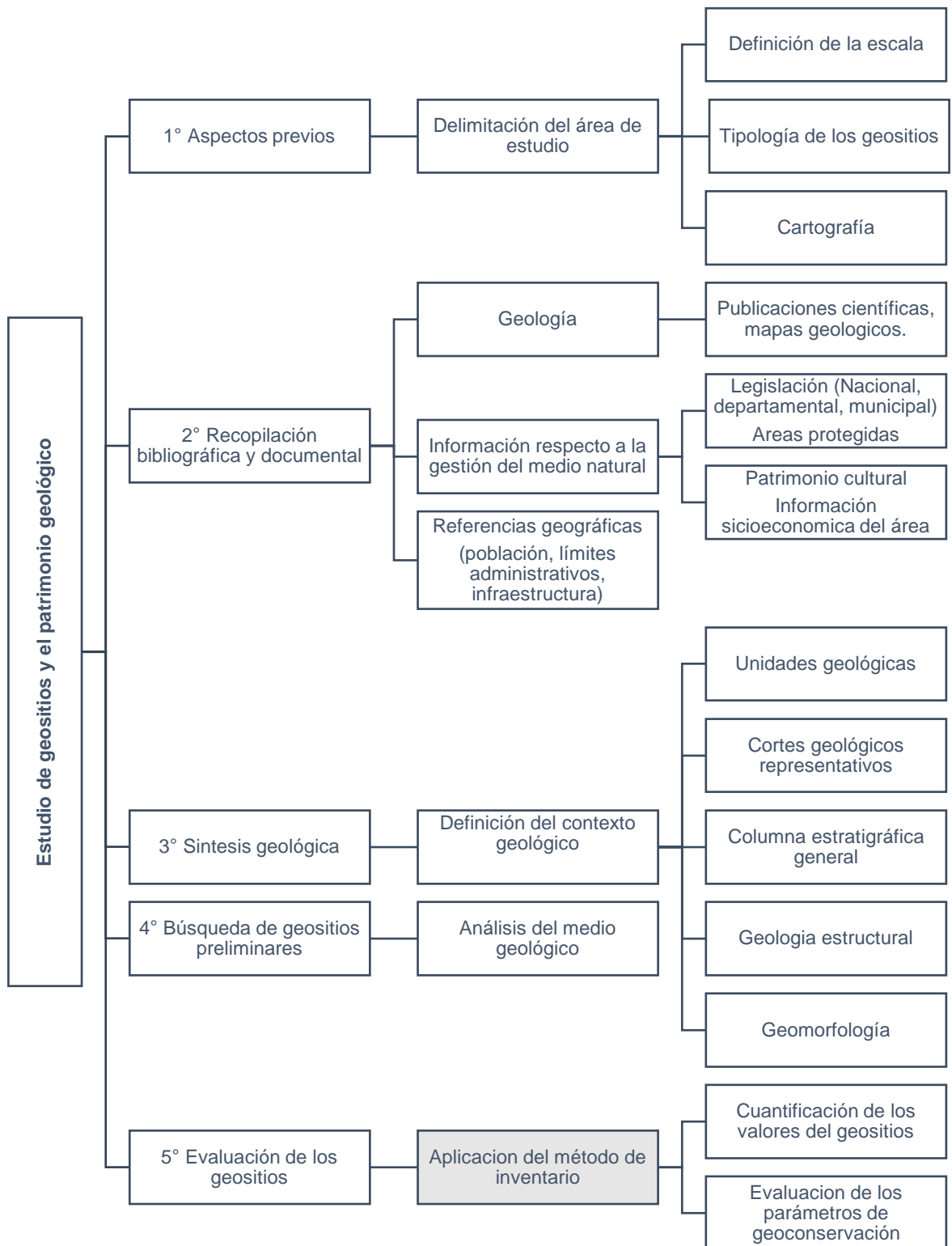


Figura 5. Etapas de trabajo para el estudio de geositos y el patrimonio geológico

2.5. Inventario español de Geositios – Lugares de Interés Geológico – Puntos de Interés Geológico

2.5.1. Modelo de inventario

Este modelo de inventario parte de la clasificación del medio geológico para obtener los lugares más representativos y cubre todas las disciplinas geológicas, listadas a continuación:

- Estratigrafía
- Sedimentología
- Geomorfología
- Paleontología
- Tectónica
- Petrología y geoquímica
- Geológica económica
- Mineralogía y cristalografía
- Hidrogeología
- Geología histórica
- Otros

Dentro del patrimonio minero – metalogenético (geología económica) no se incluyen construcciones e instalaciones mineras por no formar parte del patrimonio natural. También pueden ser considerados museos, colecciones, museos de las ciencias y de tecnología, centros de interpretación; sin embargo, al no ser patrimonio natural deberán tener un tratamiento diferenciado.

2.5.2. Parámetros de valoración de los geositios (PIGs y/o LIGs)

Para lograr establecer de forma científica, objetiva y sistemática la valoración de los Lugares de Interés Geológico se debe establecer parámetros para la evaluación de los diferentes puntos o sitios geológicos. Según Carcavilla et al. (2007), menciona que la valoración se hace bajo tres premisas:

- No todo elemento geológico tiene valor patrimonial
- Los afloramientos o elementos que lo poseen no siempre son igual de interesantes
- es posible definir parámetros que permitan estimar cual es el interés de un determinado sitio.

Según el Modelo de Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (2018), se toman en cuenta los criterios planteados por Cendrero (1996), que indica que los Lugares de Interés Geológico deben valorarse según los siguientes criterios cuyos parámetros se describen en la tabla 2:

- Valor intrínseco
- Valor ligado a la potencialidad de uso
- Valor ligado a la necesidad de protección

Tabla 2.

Parámetros de valoración de los geositos del Modelo de Inventario Lugares de Interés Geológico (García Cortés et al., 2018)

CLASE DE VALOR	PARÁMETRO DE VALORACIÓN	DESCRIPCIÓN
INTRÍNSECO	Representatividad	Informa sobre la cualidad del lugar para ilustrar adecuadamente las características del dominio.
	Carácter de localidad tipo o de referencia	Informa sobre la cualidad del lugar como referencia estratigráfica, paleontológica, mineralógica, etc.
	Grado de conocimiento	Indica que la relevancia geológica e interés científico lo hacen objeto de publicaciones y estudios científicos.
	Estado de conservación	Informa la existencia de deterioro físico del rasgo.
	Condiciones de observación	Indica la mayor o menor facilidad que ofrece el entorno para observar el rasgo.
	Rareza	Informa sobre la escasez de rasgos similares al descrito.
	Diversidad geológica	Informa de la existencia de varios tipos de interés geológico en el mismo lugar.
	Espectacularidad o belleza	Informa de la calidad visual del rasgo.
INTRÍNSECO Y DE USO	Contenido divulgativo - uso divulgativo	Informa si el rasgo se presta con mayor o menor facilidad a la divulgación o ya se utiliza para este fin.
	Contenido didáctico - uso didáctico	Indica si el rasgo se presta con mayor o menor facilidad a la docencia o ya se utiliza para este fin.
	Posibles actividades a realizar	Informa sobre si el lugar cumple con las condiciones para la realización de actividades de ocio o recreativas, o si ya se utiliza para este fin. Ligado también a la potencialidad de uso.
DE USO	Infraestructura logística	Informa sobre la existencia de alojamientos y restaurantes.
	Entorno socioeconómico	Informa sobre las condiciones socioeconómicas de la comarca, que puedan favorecer la utilización del lugar como factor de desarrollo local.
	Asociación con otros elementos del patrimonio natural, histórico o etnológico	Informa si el lugar goza además de otros elementos de interés no geológico, lo cual puede atraer un mayor número de visitantes.
DE USO Y PROTECCIÓN	Densidad de población	Ligado al número potencial de visitas pero, por el contra, a la mayor posibilidad de actos de vandalismo.
	Accesibilidad	Como el anterior, ligado a una mayor facilidad para el acceso de visitantes, pero, en contra, una mayor facilidad para los actos de vandalismo.
	Fragilidad	Indica la vulnerabilidad intrínseca del lugar, bien por sus dimensiones, su litología o su naturaleza (yacimientos paleontológicos o mineralógicos).
	Cercanía a zonas recreativas	Indica la presencia de zonas de recreo o turísticas cerca del lugar. Ligado tanto al número potencial de visitas y , por el contrario, a una mayor posibilidad de actos de vandalismo.

Los parámetros serán evaluados según la escala de valoración de 0 a 4. Los mismos son ponderados según los valores que se muestran en la tabla 3 con el objetivo de determinar los valores científico, didáctico y turístico – recreativo.

Tabla 3.

Resumen de los coeficientes de ponderación utilizados para cada parámetro en función del tipo de valor que se calcule (García Cortés et al., 2018)

Parámetros		Valor		
		Científico	Didáctico	Turístico o recreativo
		%	%	%
Representatividad	<i>R</i>	30	5	0
Grado de conocimiento científico del lugar	<i>K</i>	15	0	0
Rareza	<i>A</i>	15	5	0
Carácter localidad tipo	<i>T</i>	10	5	0
Estado de conservación	<i>C</i>	10	5	0
Condiciones de observación	<i>O</i>	10	5	5
Diversidad geológica	<i>D</i>	10	10	0
Contenido didáctico / uso didáctico	<i>C_{DD}</i>	0	20	0
Infraestructura logística	<i>I_L</i>	0	15	5
Accesibilidad	<i>A_C</i>	0	10	10
Espectacularidad o belleza	<i>B</i>	0	5	20
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	<i>E</i>	0	5	15
Contenido divulgativo / uso divulgativo	<i>C_{DV}</i>	0	0	15
Entorno socioeconómico	<i>E_S</i>	0	0	10
Densidad de población	<i>D_P</i>	0	5	5
Asociación con elementos eco-culturales	<i>N_H</i>	0	5	5
Potencialidad para realizar actividades	<i>P_{TR}</i>	0	0	5
Cercanía a zonas recreativas	<i>Z_R</i>	0	0	5
Total pesos		100	100	100

Las fórmulas para determinar los valores científico, didáctico y turístico – recreativo son:

$$V_c = \frac{1}{40} [(30R + 15(K + A) + 10(T + C + O + D))]$$

$$V_D = \frac{1}{40} [(30C_{DD} + 15I_L + 10(D + A_C) + 5(R + A + T + C + O + D_P + E + NH + B))]$$

$$V_T = \frac{1}{40} [(20B + 15(E + C_{DV}) + 10(A_C + E_S) + 5(O + I_L + D_P + NH + P_{TR} + Z_R))]$$

Según los resultados obtenidos los geositorios pueden ser categorizados cuantitativamente según los valores de la tabla 4.

Tabla 4.

Valoración cuantitativa de los geositorios (García Cortés et al., 2018)

Escala de resultados	
Geositorios de valor muy alto	mayores a 6.65
Geositorios de valor alto	entre 6.65 - 3.33
Geositorios de valor medio	menores a 3.33
Geositorios a reconsiderar	menores a 1.25

Finalmente, los resultados se muestran según gráficos ternarios, como se muestra en la figura 6, con la finalidad de definir el tipo de valor que predomina para cada geositorio.



Figura 6. Representación de los tipos de valor para los geositorios

2.5.3. Valoración de la susceptibilidad de degradación y riesgo de degradación

2.5.3.1. Valoración de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad por causas naturales (**Vn**) depende de la intensidad de los procesos geológicos activos que actúan sobre el geositio y los procesos biológicos que pueden alterarlo. La misma se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Vn = F \times An}$$

Donde (F) es la fragilidad y (An) son las amenazas naturales.

La vulnerabilidad por causas antrópicas (**Va**) se descompone de las siguientes vulnerabilidades según la naturaleza de las presiones antrópicas:

- Interés minero o hídrico de los materiales (**Vm**)
- Interés para colecciones y posibilidad al expolio (**Vex**)
- Cercanía a infraestructura (**Vi**)
- Actividad antrópica general (**Vag**)

La vulnerabilidad por causas antrópicas se calcula según la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Va = Vm + Vex + Vi + Vag}$$

2.5.3.2. Valoración de la susceptibilidad de degradación

La susceptibilidad de degradación (**Sd**) de un geositio será menor cuanto mayor sea el tamaño del mismo, puesto que el daño potencial se puede limitar a una parte de su superficie. La susceptibilidad de degradación depende de la vulnerabilidad (**V**) y el factor tamaño (**Ef**) que es un factor inversamente proporcional al tamaño del geositio. Entonces la susceptibilidad de degradación se calcula según la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Sd = V \times Ef}$$

Este debe determinarse según sea por causas naturales (**Sdn**) o por causas antrópicas (**Sda**). Por lo tanto, las fórmulas para el mismo son las siguientes:

$$\mathbf{Sdn = Vn \times Ef}$$

$$\mathbf{Sda = Va \times Ef}$$

Asimismo, la susceptibilidad de degradación por causas naturales y antrópicas pueden formularse de la siguiente manera:

$$\mathbf{Sdn = Ef \times Vn = Ef \times F \times An}$$

$$Sda = Ef \times Va = Ef \times (Vm + Vex + Vi + Vag)$$

En la tabla 5 se muestran los valores respecto al factor tamaño (**Ef**), que será menor en cuanto sea mayor el tamaño del Lugar de Interés Geológico - LIG, los valores de fragilidad (**F**) y de las amenazas naturales (**An**).

Tabla 5.

Valores del factor de tamaño (Ef), fragilidad (F) y amenazas naturales (An) (García Cortés et al., 2018)

Factor tamaño del geosito LIG	Valor
Rasgos métricos (vulnerables por mera visita, como espelotemas, estructuras geológicas poco consolidadas, etc.)	10/400
Rasgos decamétricos (no vulnerables por las visitas pero sensibles a actividades antrópicas más agresivas, como secciones estratigráficas, etc.)	6/400
Rasgos hectométricos (podrían sufrir cierto deterioro por actividades humanas)	3/400
Rasgos kilométricos (difícilmente deteriorables por actividades humanas)	1/400
Fragilidad	
Litologías muy resistentes (cuarcitas o similares), con escasa fracturación y sin meteorización.	1
Litologías resistentes o muy resistentes pero con elevada fracturación y/o meteorización.	5
Litologías blandas consolidadas, con escasa fracturación y/o meteorización.	10
Litologías no consolidadas, o consolidadas pero blandas y muy fracturadas y/o meteorizadas.	20
Amenazas naturales	
LIG no significativamente afectado por procesos naturales (geológicos o biológicos).	1
LIG afectado por procesos naturales (geológicos o biológicos) de escasa relevancia.	5
LIG afectado por procesos naturales (geológicos o biológicos) de relevancia moderada.	10
LIG afectado por procesos naturales (geológicos o biológicos) de gran intensidad.	20

El cálculo de la susceptibilidad de degradación por amenazas antrópicas (**Sda**) se realiza multiplicando el factor de tamaño (**Ef**) por la suma ponderada de los parámetros que son evaluados en una escala de 0 a 4 y que se expresan en la tabla 6., cuya fórmula final para el cálculo queda de la siguiente manera:

$$Sda = Ef \times [25 \times (Vm + Vex) + 15 \times Vi + 10 \times Ac + 5 \times (P + Pf + Ts + Dp + Zr)]$$

Donde:

- Sda : Susceptibilidad de degradación por causas antropicas
- Ef : Factor tamaño del LIG
- Vm : Interés por la explotación minera o hídrica

- Vex : Vulnerabilidad al expolio
- Vi : proximidad a actividades o infraestructura
- Ac : accesibilidad
- P: Régimen de protección
- Pf : Protección física o indirecta
- Ts: Titularidad del suelo o régimen de acceso
- Dp : densidad de población
- Zr : Cercanía a zonas cercanas

Tabla 6.

Parámetros de valoración de la vulnerabilidad por amenazas antrópicas de los geositos y coeficientes de ponderación (García Cortés et al., 2018).

Parámetros de valoración	Descripción	%
Interés para la explotación minera o hídrica Vm	Vulnerabilidad del lugar por el interés que pueden tener para la explotación minera o hídrica.	25
Vulnerabilidad al expolio Vex	Vulnerabilidad del lugar, por su naturaleza de yacimiento paleontológico o mineralógico y su valor patrimonial.	25
Proximidad a actividades o infraestructura Vi	Vulnerabilidad ante amenazas antrópicas sobre los elementos claves del geosito por la cercanía de infraestructura general.	15
Accesibilidad Ac	Ligado a que los actos de vandalismo o daños no intencionados tienen una probabilidad de ocurrencia mayor que en aquellos geositos que tienen mayor accesibilidad.	10
Régimen de protección R	Informa de la posible protección del lugar en función de su ubicación dentro o fuera de un área protegida.	5
Protección física o indirecta Rp	Informa de las dificultades físicas de acceso al lugar.	5
Titularidad del suelo y régimen de acceso Ts	Informa sobre el régimen de propiedad del lugar (privado o público) y el acceso libre o restringido.	5
Densidad de población Ds	Ligado a la necesidad de población aumenta la probabilidad de que ocurran actos vandálicos o daños no intencionados.	5
Cercanía a zonas recreativas Zr	Indica la presencia de zonas de recreo o turísticas cerca del lugar. Ligado a la necesidad de protección (mayor posibilidad de actos de vandalismo).	5

2.5.3.3. Valoración del riesgo de degradación

El riesgo de degradación (**Rd**) es un factor estimativo que combina la susceptibilidad de degradación del sitio y determina el perjuicio o daño potencial sobre el patrimonio geológico, en función de la magnitud de las consecuencias de la degradación del lugar. Por lo tanto, se convierte en un indicativo de la necesidad o prioridad de protección por lo que es el mejor indicador para priorizar las actuaciones de conservación. El riesgo de degradación se calcula según la siguiente fórmula:

$$Rd = (1/10) \times Va \times Sd$$

Donde (**Va**) es el valor del lugar y (**Sd**) es la susceptibilidad de degradación. Teniendo como tipos de valor: científico, didáctico y turístico, y la susceptibilidad de degradación por causas antrópicas y naturales, resulta interesante obtener los valores según estos tipos y debe tomarse como indicativos los valores máximos obtenidos y no la media de los mismo.

En la formula se divide entre 10 para obtener valores en el rango entre 0 y 10. Cada geositio tiene un valor científico (**Vc**), didáctico (**Vd**) y turístico (**Vt**) y, por otro lado, la susceptibilidad de degradación puede ser por causas naturales (**Sdn**) y por causas antrópicas (**Sda**). Por lo tanto, se tendrá una combinación de resultados que se expresan a continuación:

$$R_{DNC} = \frac{1}{10} (V_C * S_{DN})$$

$$R_{DND} = \frac{1}{10} (V_D * S_{DN})$$

$$R_{DNT} = \frac{1}{10} (V_T * S_{DN})$$

$$R_{DNC} = MAX (R_{DNC}, R_{DND}, R_{DNT})$$

$$R_{DAC} = \frac{1}{10} (V_C * S_{DA})$$

$$R_{DAD} = \frac{1}{10} (V_D * S_{DA})$$

$$R_{DAT} = \frac{1}{10} (V_T * S_{DA})$$

$$R_{DA} = MAX (R_{DAC}, R_{DAD}, R_{DAT})$$

Dentro de los parámetros de geoconservación estos resultados indicaran las causas de su posible riesgo de degradación y establecer las posibles medidas a adoptar.

2.5.3.4. Rangos de susceptibilidad y riesgo de degradación

En la tabla 7, se muestran los valores umbrales para definir las categorías bajo, medio, alto y muy alto para establecer el grado de susceptibilidad de degradación y el riesgo de degradación de los geositos. Para los geositos con valores superiores a 2.5 deben ser objeto de medidas de protección urgentes, los comprendidos entre 2.5 y 1.0 son objetos de medidas de protección a corto plazo, mientras que los geositos con valores menores a 1.0 serán evaluados según las circunstancias y el contexto de la zona. Este criterio se aplica para la categoría por causas naturales y causas antrópicas, sin embargo, debe analizarse que medidas pueden ser tomadas para evaluar los riesgos por la vulnerabilidad intrínseca del lugar.

Tabla 7.

Valores umbrales para la separación de los rangos bajo, medio, alto y muy alto de la susceptibilidad de degradación y riesgo de degradación (García Cortés et al., 2018).

	Susceptibilidad de degradación	Riesgo de degradación
Rangos	Valor Umbral entre rangos	Valor Umbral entre rangos
Muy Alto	Mayores a 3.5	Mayores a 2.5
Alto	3.5 – 1.5	2.5 – 1.0
Medio	1.5 – 0.75	1.0 -0.5
Bajo	Menores a 0.75	Menores a 0.5

Capítulo III. MARCO GEOLÓGICO

3.1. Geomorfología

El modelado del paisaje del área de Milluni es resultado del desarrollo de diferentes procesos geomorfológicos que tuvieron lugar en el Cuaternario principalmente y pueden ser categorizados en procesos endógenos y exógenos.

3.1.1. Procesos endógenos

Los procesos endógenos están relacionados con la dinámica y la energía interna del planeta Tierra, estos involucran procesos orogénicos y epirogénicos que son el resultado de las fuerzas que actúan sobre la corteza terrestre. Estos procesos se manifiestan con el desarrollo de procesos magmáticos y de deformación de la corteza.

En el sector Norte de la cuenca aflora el plutón Huayna Potosí, constituido por un granito, cuya edad corresponde al Triásico. El mismo forma un relieve positivo que alcanza los 6088 m.s.n.m. Además, en el sector Oeste de la cuenca de Milluni aflora el granito metasomatizado Chacaltaya y en las partes altas de la cuenca afloran rocas sedimentarias de diferente grado de resistencia a la meteorización, estos se disponen con diferentes orientaciones según las estructuras geológicas que forman (pliegues y fallas).

En el sector de *Chacaltaya* hasta el *Cerro Charquerini* se observa una zona plegada, donde predomina un anticlinal cuyo eje presenta una dirección Noroeste – Sureste, el mismo presenta buzamientos bajos hacia los flancos y el núcleo del pliegue. Según la disposición litológica y distribución espacial de las diferentes unidades dentro del área se observan sectores con relieve suave ondulado, estas corresponden a zonas donde afloran rocas pelíticas y zonas de relieve abrupto en aquellas donde la litología es resistente a la erosión y meteorización.

Por lo tanto, en el paisaje se observan cuevas y crestas según la disposición angular de las diferentes rocas que afloran en el área de estudio, la disposición y distribución de las diferentes unidades geológicas se relaciona con la evolución geológica de la región a lo largo del tiempo geológico desde el Paleozoico hasta la actualidad, siendo reflejo de la dinámica tectónica ocurrida a lo largo del margen Oeste de Gondwana, la tectónica pre - Andina y durante el Cenozoico principalmente a la dinámica de la tectónica Andina.

3.1.2. Procesos exógenos

Los procesos exógenos se producen por la acción de agentes como el agua, hielo, viento y la gravedad que actúan sobre las rocas que se encuentran en la superficie terrestre, mediante procesos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación. Los diferentes procesos identificados en el área corresponden a los procesos de meteorización, glaciares, fluviales, periglaciares y gravitacionales, además se incluye aquellos ocasionados por las actividades antrópicas.

3.1.2.1. Procesos de meteorización

Los procesos de meteorización identificados en el área de Milluni son el lajamiento y la crioclastia. Las rocas del sector de Milluni se formaron en profundidad donde estuvieron sometidos a elevadas presiones de confinamiento, sin embargo, al ascender a la superficie sufren una descompresión por la pérdida de carga que se transmite a las rocas generando un diaclasado, a este proceso se denomina lajamiento y se observa en el plutón Huayna Potosí y en las rocas de la Fm. Catavi.

La crioclastia o gelifración es un proceso característico de las zonas periglaciares, se debe al aumento del volumen del agua (9%) cuando se congela, por lo tanto, el agua que se encuentra en las grietas al congelarse por las bajas temperaturas propias del área de Milluni y las precipitaciones (lluvias y nieve) provocan la rotura de las rocas generando clastos angulosos o gelifractos, este proceso de rotura mecánica es importante para generar los campos de bloque y la acumulación de material en la base de las laderas.

3.1.2.2. Procesos glaciares

Estos procesos tuvieron lugar durante el Pleistoceno – Holoceno, en varias etapas, donde las glaciaciones Sorata y Choqueyapu fueron responsables del diseño geomorfológico que se observa en la actualidad en el sector. A continuación, se describen las geoformas de acumulación y erosión originadas por los procesos glaciares.

- **Glaciares de montaña**

La Cordillera de los Andes presenta numerosos glaciares, el 0.16% de la superficie glaciar del planeta lo representan los glaciares tropicales distribuidos en Perú (70%) y Bolivia (20%) (Francou et al., 2007 mencionado en Leonardini et al., 2012). Las partes altas del área de Milluni presentan masas de hielo, se tratan de glaciares tropicales, debido a que se ubican en la Zona Intertropical (entre el Trópico de Cáncer y Trópico Capricornio). En el área se tiene el

Nevado de Huayna Potosí que está compuesto por pequeños glaciares, el más estudiado el Glaciar de Zongo (figura 7) y hacia el Este se encuentra el Glaciar Charquini.



Figura 7. Vista panorámica del Nevado Huayna Potosí

El glaciar de Zongo es uno de los numerosos glaciares tropicales que existen en la Cordillera de los Andes, es un glaciar templado de valle de una superficie de 1.96 km² (Soruco et al., 2014), entre las cotas 5300 y 6000 msnm el glaciar tiene un promedio de pendiente de 22° orientado al Sud-este y entre las cotas 4900 y 5300 msnm el glaciar tiene una pendiente de 15° orientada al Este (Leonardini et al., 2012).

El Glaciar Charquini Sur es otro de los glaciares tropicales de montaña que encontramos en el área de estudio, tiene una extensión de 0.3185 km², la orientación es hacia el Sur y se estima un espesor de hielo de 80 m (Ginot et al., 2010) (figura 8), los estudios en este glaciar se iniciaron en agosto del año 2002 por el programa *Word Glaciar Monitoring Service*, donde las instituciones que participan son Instituto de *Investigaciones para el Desarrollo* (IRD), el *Instituto de Hidráulica e Hidrología* (IHH) y el Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente (IGEMA).



Figura 8. Vista del glaciar Charquini Sur ubicado al Noreste de la región de Milluni

○ **Geoformas de acumulación**

Las geoformas de acumulación que se encuentran en el área de Milluni están constituidos por depósitos de till los cuales se disponen formando morrenas de fondo, laterales y frontales dentro del extenso valle glaciar Milluni.

- *Morrenas de fondo:* estas geoformas se distribuyen a lo largo del valle glaciar, forman un relieve de topografía suave e irregular (5° - 12° de pendiente, mapa de pendientes – Mapa 2). Los depósitos son de till de composición heterogénea, conformado por bloques, clastos de rocas ígneas y sedimentarias en una matrix de limos y arcillas. Se distribuyen a lo largo del lecho del valle glaciar.
- *Morrenas laterales:* consisten de formas alargadas y arqueadas que se encuentran hacia las laderas del valle glaciar. Estas geoformas pueden observarse en la parte oriental del valle, asimismo, en el sector oriental de la laguna Milluni se logra diferenciar tres morrenas laterales y en la laguna Milluni Chico se observa una morrena lateral. Estas geoformas se encuentran constituidos por depósitos de till conformado por bloques, clastos de rocas ígneas y sedimentarias en una matrix de limos y arcillas. (Figura 9).



Figura 9. Morrenas laterales y frontales del sector de la Laguna Milluni (*Imagen satelital Google Earth*)

- *Morrenas frontales:* consisten de formas semicirculares que limitan hacia el Sur las lagunas Milluni Grande y Milluni Chico (figura 10). Están conformados por depósitos de till de constituidos por bloques, clastos de granito, areniscas y meta pelitas en una matrix de limos y arcillas, el relieve se caracteriza por forman una superficie irregular y lobulada.



Figura 10. Cresta de la morrena frontal que limita la Laguna Milluni Chico

○ **Geoformas de erosión**

Las geoformas de erosión corresponden a aquellas formadas por la acción erosiva de los glaciares que son resultado de la extracción, excavación y la atricción de los materiales

geológicos. Las geoformas identificadas y asociadas a estos procesos se describen a continuación:

- *Valle glaciar*: Se trata de valles que presentan un perfil transversal en U amplio, esta forma se debe a la acción erosiva producida por el avance de los glaciares que genera un relieve ondulado de baja pendiente ($< 5^\circ$ hasta 12°) en la parte baja del valle y laderas empinadas ($20^\circ - 30^\circ$) (mapa de pendientes – Mapa 2). El área de Milluni se encuentra en un valle glaciar que tiene una longitud aproximada de 19 km desde su cabecera y una extensión de 82 km^2 aproximadamente.
- *Circos glaciares*: estas geoformas son depresiones circulares que se ubican en las partes altas de la cuenca, principalmente en la cabecera de la cuenca y corresponden a antiguas áreas de acumulación de nieve y formación de los glaciares. Estas geoformas se identifican en los sectores Norte y Oeste del valle (figura 11).

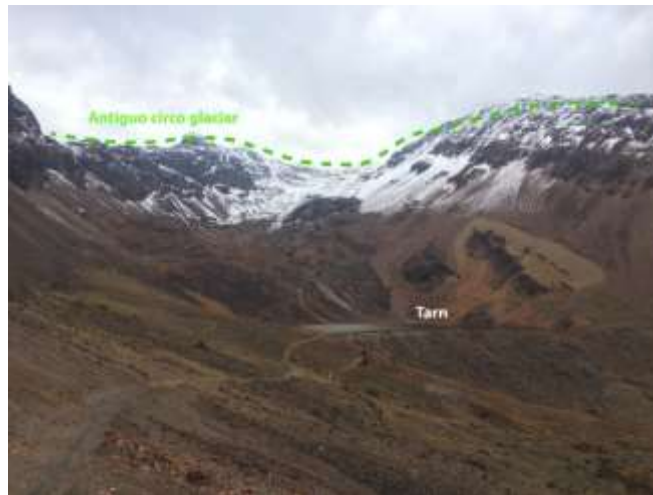


Figura 11. Antiguo circo glaciar ubicado en el sector del cerro Chacaltaya

- *Aristas*: son formas alargadas, crestas sinuosas de bordes agudos que se ubican en las partes altas y corresponden a las divisoras de subcuencas dentro de la cuenca de Milluni. Las aristas se observan hacia el Norte y Noreste de la cuenca (figura 12).

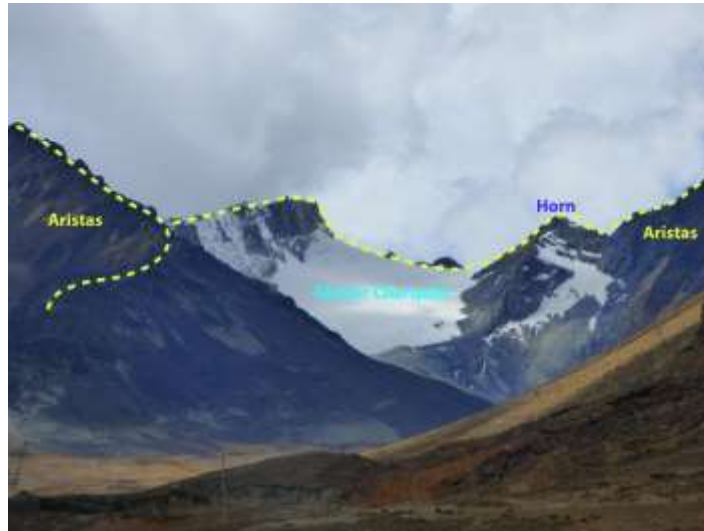


Figura 12. Vista panorámica del glaciar Charquini, las aristas y horn.

- *Rocas aborregadas*: estas geformas corresponden a afloramientos rocosos con formas redondeadas que se originaron debido al paso del glaciar que produce el proceso de abrasión dejando una superficie lisa sobre los afloramientos rocosos (figura 13).



Figura 13. Rocas aborregadas al Sur de la Laguna *Pata Khota*

- *Valle glaciar colgado*: se ubica en la parte alta de la cuenca, en quebradas secundarias, presentan perfil transversal en U y no tiene concordancia con el valle glaciar principal. Por lo tanto, presentan un desnivel formando una pared subvertical respecto al valle

glaciar principal. Se observa un valle colgado al Noroeste de la laguna *Jankho Khota* (figura 14).



Figura 14. Valle glaciar colgado ubicado al Noroeste de la laguna Jankho khota

- *Tarn*: corresponden a los lagos de montaña formados en áreas aledañas a los circos glaciares y son producto de la excavación ocasionada por la erosión de un glaciar. Estos se observan en el sector Oeste del valle glaciar hacia el *cerro Chacaltaya* (figura 15).



Figura 15. Laguna *Ayllaica* ubicada al Noroeste del Cerro *Chacaltaya*, Tarn

3.1.2.3. Procesos periglaciares

Los procesos periglaciares se dan en zonas de clima frío y no necesariamente deben tener proximidad espacial o temporal con glaciares (Jahn, 1975 citado en Gutiérrez, 2008). Por lo tanto, en la cuenca de Milluni se registran estos procesos debido a sus características climáticas y el proceso de congelamiento del agua que da lugar a la gelifracción que es un proceso de meteorización física que genera la fragmentación de la roca.

- *Suelos estriados*: son formas producto de la actividad periglacial, se trata de microformas de aspecto bandeado producido por la acción de las heladas. Los suelos estriados están constituidos por franjas paralelas a la línea de máxima pendiente de la ladera, donde se observa alternancia de clastos entre las bandas (figura 16).

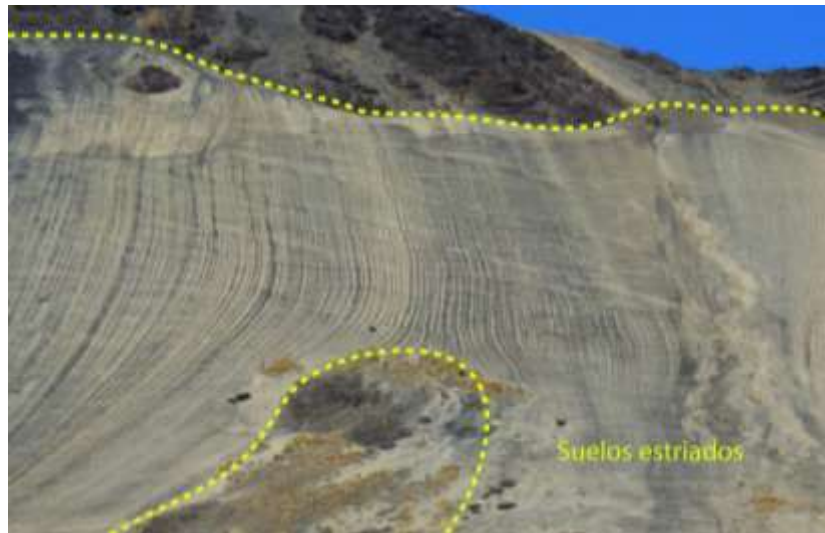


Figura 16. Suelos estriados formado por procesos periglaciares en laderas del *Cerro Visuyo*

- *Campos de bloque*: corresponden a acumulaciones de clastos y bloques angulosos de granito ubicados en la cabecera la cuenca de Milluni sobre una superficie de baja pendiente (figura 17).



Figura 17. Campos de bloques de rocas graníticas en el sector Norte de la cuenca

- *Glaciar rocoso*, esta geoforma consiste de una masa de clastos angulosos, en forma de lengua con hielo en su interior que se mueve ladera abajo (Gutierrez, 2008). Esta geoforma se encuentra al Suroeste del nevado Huayna Potosí y se encuentra formado por bloques y clastos de roca granítica y rocas sedimentarias (figura 18).



Figura 18. Glaciar de roca en el sector Sur del nevado Huayna Potosí

3.1.2.4. Procesos fluviales

Los procesos fluviales son producto de la acción del agua sobre los materiales geológicos que se encuentran en la superficie terrestre. En la actualidad este proceso tiene mayor incidencia, sin embargo, aún se encuentra en una fase temprana de su desarrollo. Las

geoformas relacionadas a este tipo de procesos se encuentran hacia la ladera Oeste del valle glacial y a lo largo del río Sique.

- **Geoformas de acumulación:**

Las geoformas de acumulación que se observan en el sector de Milluni se encuentran en las desembocaduras de las quebradas del sector Oeste y en las lagunas en rosario.

- *Abanicos aluviales:* consisten de acumulaciones sedimentarias ubicadas al pie de montaña originados por el cambio abrupto de la pendiente de los cauces formando conos (vista en planta) y relieve suave. Se distribuyen en el sector Oeste de lecho del valle Milluni, además el conjunto de los abanicos conforma las bajadas (figura 19).



Figura 19. Abanicos aluviales ubicados al pie de los cerros de la parte occidental de la cuenca de Milluni.

- *Deltas:* consisten de depósitos sedimentarios ubicados en las desembocaduras de los ríos que aportan sus aguas a las lagunas Milluni Chico y Milluni Grande formando depósitos en forma de conos sobre la superficie de las lagunas.

- **Geoformas de erosión**

Las geoformas de erosión asociadas a procesos fluviales se distribuyen en el sector Oeste del valle y a lo largo del río Sique.

- *Valles fluviales:* se tratan de valles y quebradas que presentan perfil transversal en V. Estos aún se encuentran en la etapa de desarrollo juvenil, por lo tanto, el perfil es estrecho, son poco profundos y en sectores donde afloran rocas poco resistentes a la

erosión se forman cárcavas, además tienen como nivel de base local al lecho del valle glaciar principal (figura 20).

- *Terrazas*, estas geoformas son pequeñas y escasas, consisten de plataformas que presentan un desnivel con el lecho actual del río. Se ubican a lo largo del río Sique en la parte Suroeste de la cuenca y están formadas por la erosión de los depósitos glaciares principalmente.



Figura 20. Geoformas fluviales, valle en V y abanicos aluviales

3.1.2.5. Procesos gravitacionales

La acción de la gravedad, la meteorización física y las elevadas pendientes en las partes altas de la cuenca también son parte de la construcción de la geomorfología del área. La geoforma principal que corresponde a este proceso son los conos de detritos.

- *Conos de detritos*: se ubican en las laderas de alta pendiente a lo largo de las diferentes serranías. Son formas de conos apoyados hacia las laderas constituidos por material suelto anguloso producto de la meteorización física que fueron transportados y acumulados por los efectos de la gravedad (figura 21).



Figura 21. Conos de detritos en las laderas del *Cerro Khala Cruz*

3.1.2.6. Procesos poligenéticos

Los procesos poligenéticos son producto de la combinación de los procesos geológicos y debido a ello presentan cierta complejidad en la formación de algunos elementos geomorfológicos del relieve.

- *Glacis*: es el conjunto del pie de monte de la Cordillera Real; consisten de antiguas superficies peneplanizadas inclinadas hacia el Sur o Suroeste (Argollo, 1994). Estas geoformas se encuentran en la parte Sur del área de estudio, sin embargo, se encuentran sometidos a los procesos actuales.
- *Bofedales*: son un tipo de humedales propios de la región altoandina, son formaciones vegetales que crecen en suelos orgánicos saturados de agua de forma continua o temporal durante el año (Meneses et al., 2015). Los bofedales son el resultado de la interacción del agua, suelo y la vegetación, este suelo de tipo orgánico cuenta con al menos 30% de materia orgánica y acumula entre 30 cm de turba. Estos suelos saturados se ubican en zonas de depresión topográfica y áreas de descarga de los acuíferos formados en los abanicos aluviales en el sector Norte de la laguna *Milluni Chico* (figura 22).

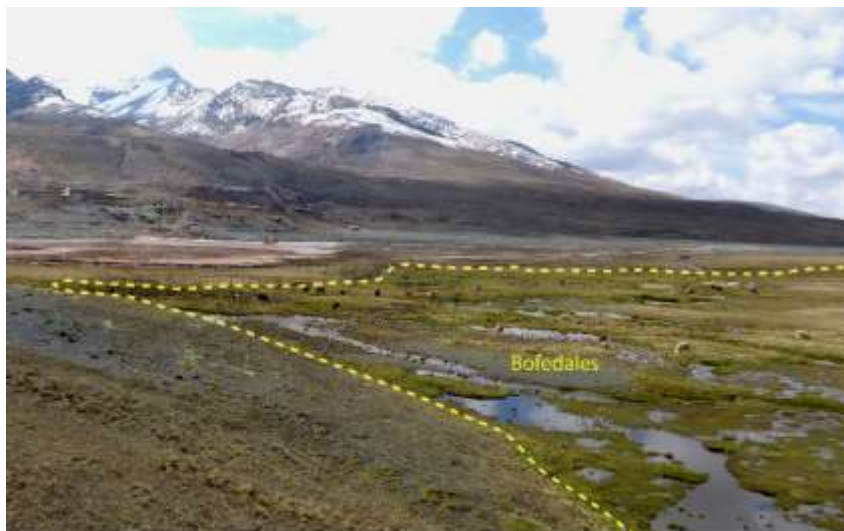


Figura 22. Bofedales en el sector de Milluni

3.1.2.7. Procesos antrópicos

El hombre y sus actividades también se consideran con agentes que pueden modificar el relieve. Resultado de sus actividades en el área de estudio se observan los pasivos ambientales mineros y desechos mineros conformados por desmontes (figura 23). Asimismo, la laguna Milluni presenta obras civiles para incrementar la capacidad de almacenamiento de agua potable para los municipios de La Paz y El Alto (figura 24).



Figura 23. Instalaciones del antiguo campamento minero y sus pasivos ambientales



Figura 24. Construcción de una presa para contener las aguas de la laguna Milluni Grande

3.2. Estratigrafía

El área de estudio presenta rocas sedimentarias marinas del Paleozoico, Mesozoico y depósitos cuaternarios del Cenozoico. Asimismo, se tiene rocas ígneas que corresponden a los intrusivos del Huayna Potosí y Chacaltaya, la figura 25 y 26 resumen las unidades geológicas presentes en el área.

ERATEMA	SISTEMA	FORMACIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	Depósitos coluviales
		Depósitos fluviales
		Depósitos glaciales
MESOZOICO	TRIÁSICO	Intrusivo Chacaltaya
		Intrusivo Huayna Potosí
		Fm. Tiquina
PALEOZOICO	SILÚRICO	Fm. Catavi
		Fm. Uncía
		Fm. Llallagua
		Fm. Cancañiri
	ORDOVÍCICO	Fm. Amutara

Figura 25. Cuadro cronoestratigráfico de las unidades presentes en la región de Milluni

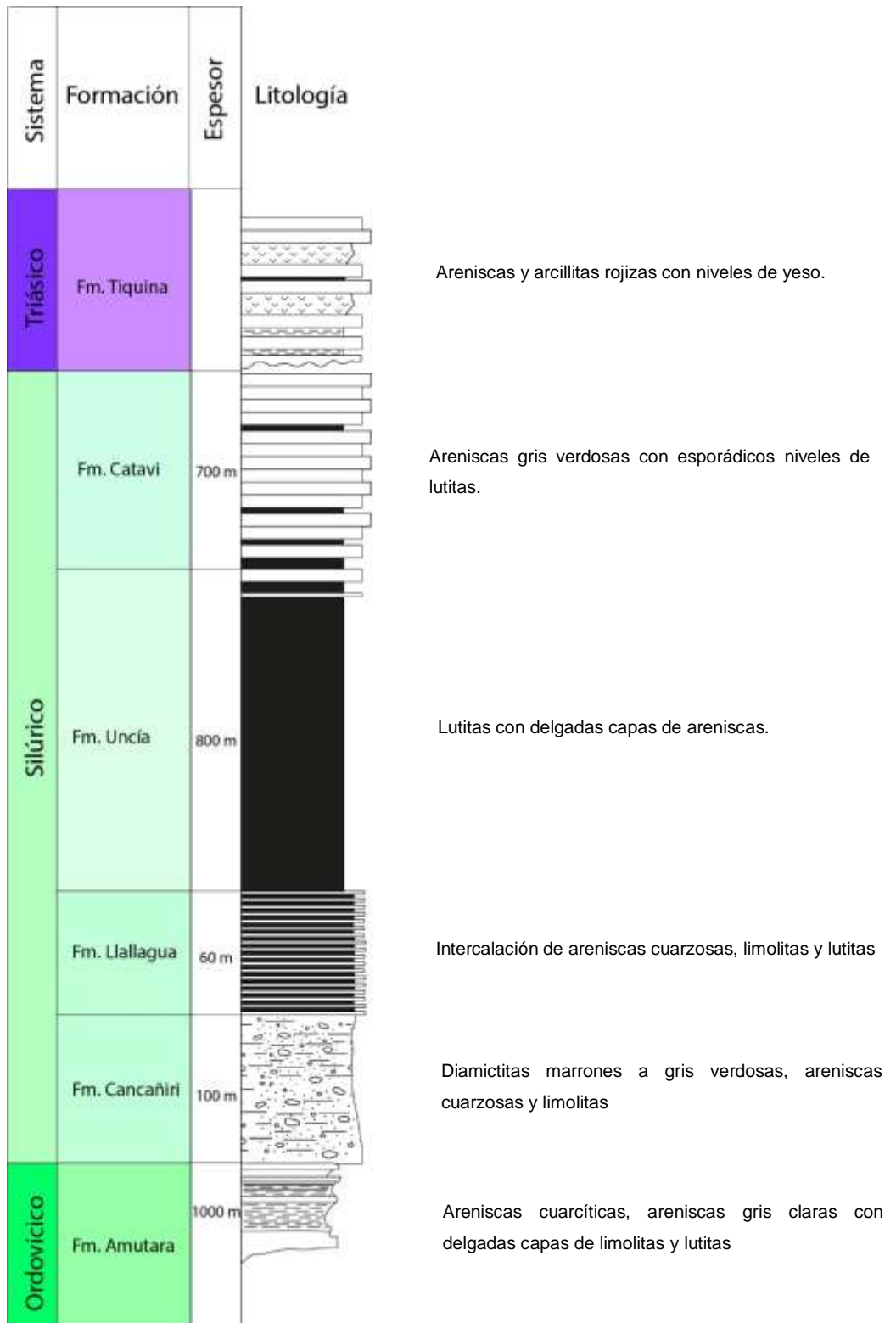


Figura 26. Columna estratigráfica (Paleozoico – Mesozoico) generalizada del área de Milluni

3.2.1. Paleozoico

3.2.1.1. Ordovícico Superior - Formación Amutara

La edad asignada es Ordovícico Superior – Caradociano. La unidad geológica está constituida por una alternancia de areniscas cuarzosas de grano fino a medio intercalados con bancos de limolitas gris oscuras, ambas litologías muestran un grado parcial de metamorfismo.

La parte basal de la Fm Amutara no fue observada en el sector de Milluni, según la descripción de campo en el área, la parte media presenta predominantemente bancos de areniscas limosas gris verdosas con espesores que alcanzan hasta los 50 cm (figura 27). Finalmente, la parte superior de la unidad presenta una alternancia de bancos de areniscas grises y pelitas gris oscuras, además los bancos de areniscas y limolitas reducen de espesor. Las estructuras sedimentarias identificadas son la laminación paralela, laminación cruzada y en general los diferentes niveles son masivos.

La Fm. Amutara subyace de forma concordante a la Fm. Cancañiri con un contacto discordante, el espesor estimado de la Fm Amutara según anteriores estudios alcanzaría los 1000 m aproximadamente.

Los afloramientos de esta unidad geológica se distribuyen en la región Norte de la cuenca de Milluni, extendiéndose hacia el Noroeste, el contacto Sur es con la Fm. Cancañiri y al Norte se pone en contacto con el plutón Huayna Potosí.



Figura 27. Afloramiento de la Fm. Amutara en el sector Norte de Milluni

3.2.1.2. Silúrico Inferior - Formación Cancañiri

La edad asignada a esta unidad geológica corresponde al Silúrico Inferior – Llandoveryano.

La Fm. Cancañiri se constituye por depósitos sinsedimentarios donde los bloques de areniscas limosas se encuentran rodeados por una matrix fina. Según las observaciones de campo, la secuencia sedimentaria presenta niveles masivos sin estratificación (figura 28), los slumps se distribuyen de forma aleatoria y resaltan en el relieve porque están compuestos por areniscas de grano fino. Hacia la parte superior de la unidad geológica, la estratificación se hace regular con la presencia de bancos de areniscas cuarzosas de grano fino a medio cuyo espesor alcanza hasta los 20 cm.

La Fm. Cancañiri sobreyace de forma pseudoconcordante a la Fm. Amutara y subyace a la Fm. Llallagua, para ambos el contacto es discontinuo. El espesor de esta unidad geológica es aproximadamente 300 m y localmente se distribuye en el sector del *Cerro Sora Patilla* y se extiende hacia el Noroeste por el sector del *Cerro Jachana Churina Khollo*.



Figura 28. Afloramientos de la Fm. Cancañiri, niveles masivos sin estratificación (slump)

3.2.1.3. Silúrico Inferior - Formación Llallagua

La edad asignada a esta unidad corresponde al Silúrico Inferior – Wenlockiano.

Según las observaciones de campo, esta unidad litológica está constituida por una alternancia de areniscas cuarzosas grises con tonos verdes y pelitas formadas por limolitas y lutitas gris oscuras, presenta estratificación paralela y los espesores de los bancos son menores a los 10 cm (figura 29). La parte superior la unidad litológica está constituida por bancos de areniscas cuarzosas gris claras y masivas.

Las estructuras sedimentarias presentes son ondulitas simétricas y asimétricas, laminación convoluta y estructuras de carga.

La Fm. Llallagua es concordante a la Fm. Cancañiri en la base y la Fm. Uncía hacia la parte superior con contactos discontinuos. El espesor de esta unidad es aproximadamente 60 m y se extiende en dirección Noroeste – Sureste.



Figura 29. Afloramientos de la Fm. Llallagua, alternancia de areniscas y pelitas en capas delgadas

3.2.1.4. Silúrico Medio - Formación Uncía

La edad asignada a esta unidad geológica corresponde al Silúrico Medio – Wenlockiano – Ludloviano.

Según las observaciones de campo, esta unidad litológica está constituida principalmente por bancos de pelitas, hacia la base presenta niveles masivos de limolitas gris marrones a gris oscuras intercaladas con esporádicas capas de areniscas limosas de grano fino (figura 30). En la parte intermedia predominan las lutitas y pizarras gris oscuras masivas que presentan clivajes de fractura en diferentes direcciones, finalmente, hacia la parte superior los bancos de lutitas se intercalan con bancos de areniscas cuarzosas de grano fino que incrementan su espesor gradualmente.

La Fm. Uncía es concordante con las formaciones Llallagua y Catavi, sin embargo, el contacto inferior con la Fm. Llallagua es discontinuo y el contacto superior con la Fm. Catavi es transicional.

El espesor estimado para esta unidad geológica es 800 m (figura 31). Localmente esta unidad geológica tiene una amplia distribución en el área de estudio, se encuentra hacia la parte occidental de la cuenca de Milluni formando relieves suaves y redondeados y en el sector Sur del *Cerro Charquini*.



Figura 30. Afloramiento de la Fm. Uncía, la base constituida por niveles de limolitas



Figura 31. Afloramientos de la Fm. Uncía sector laguna *Jankho Khota*, contacto con la Fm. Catavi

3.2.1.5. Silúrico Superior - Formación Catavi

La edad asignada a esta unidad corresponde al Silúrico Superior Ludloviano – Pridoliano.

La litología de esta unidad según las observaciones de campo está constituida en la parte inferior por una intercalación de lutitas gris oscuras con bancos de areniscas cuarzosas de grano fino gris verdosas cuyos espesores alcanzan los 20 – 30 cm. La parte media y superior tiene niveles pelíticos que se reducen gradualmente y predominan los bancos de areniscas gris marrones – verdosos formando una secuencia estratocreciente, además, se caracterizan por una estratificación paralela muy marcada en los que se registra capas con laminación paralela y cruzada, y ondulitas.

La Fm. Catavi sobreyace a la Fm. Uncía de forma concordante con un contacto transicional. El espesor estimado para esta unidad es 700 m. Localmente esta unidad se distribuye en la parte media del área de Milluni, en la región oriental por el sector del *Cerro Chacaltaya* y hacia la región occidental en los sectores del *Cerro Churu Khanca* y el *Cerro Tajlla Willki* (figura 32).



Figura 32. Afloramientos de la Fm. Catavi en el sector de *Jacha Milluni*

3.2.2. Mesozoico

3.2.2.1. Triásico - Formación Tiquina

La edad asignada a esta unidad corresponde al Triásico.

Según los afloramientos expuestos en el área, esta unidad litológica está constituida por areniscas rojizas calcáreas de grano medio y niveles de arcillitas rojizas los cuales se intercalan con niveles de yeso que se presentan de dos formas: intercalados con los bancos de areniscas y en venas delgadas que cortan la estratificación.

La Formación Tiquina sobreyace de forma discordante a las unidades del Paleozoico (Fm. Uncía). Localmente esa unidad consiste en afloramientos aislados que se encuentran dispersos a lo largo de la ladera Oeste y Sur de la cuenca de Milluni (figura 33).

Según Lehmann (1977), estos afloramientos fueron asignados al Cretácico, sin embargo, en el presente trabajo son considerados del Triásico debido a que esta unidad se distribuye a lo largo de un lineamiento Noroeste – Sureste encontrando depósitos similares en los sectores de *Kaluyo*, *Achumani* y *Tacapaya*. En el sector de *Tacapaya* estos depósitos subyacen a la Formación Ravelo de edad Jurásica, por lo tanto, estos afloramientos mesozoicos corresponderían al sistema Triásico.



Figura 33. Afloramientos de la Fm. Tiquina, areniscas y arcillitas rojizas

3.2.3. Cenozoico

3.2.3.1. Pleistoceno - Depósitos de la glaciación Sorata

Los depósitos de la glaciación Sorata están representados por depósitos de till y se encuentran distribuidos en la parte Sur - Sureste del área de estudio formando superficies onduladas que forman morrenas laterales. Litológicamente están constituidos por clastos angulosos y subangulosos de areniscas, lutitas y bloques de granitos en una matrix areno – limoso, además, presenta una coloración gris azulado.

Según Argollo e Iriondo (2008), la formación de estos depósitos posiblemente se deba a la sobresaturación de las morrenas de fondo y laterales por aguas represadas por estos depósitos; en consecuencia, estos fluyen por gravedad pendiente abajo originando los abanicos de torrentes de barro (figura 34).

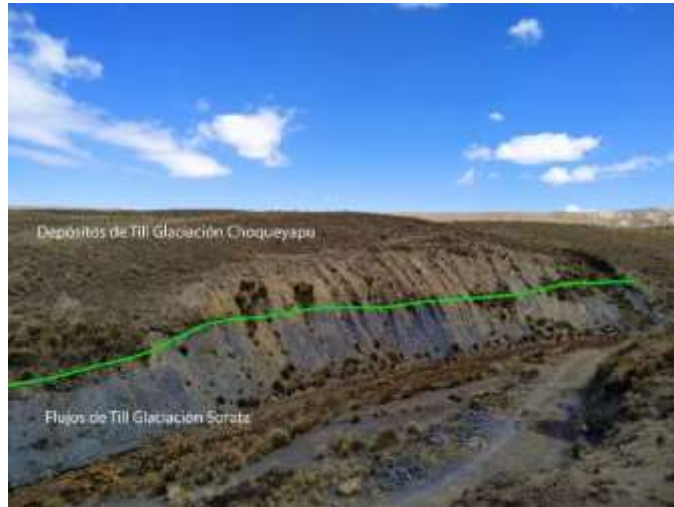


Figura 34. Depósitos de till de la Glaciación Sorata y Choqueyapu.

3.2.3.2. Pleistoceno - Glaciación de la Choqueyapu

Dobrovolny (1965) menciona que las morrenas que se encuentran conservadas y encajonadas en el valle de Milluni corresponden a la Glaciación Choqueyapu, asimismo, según Argollo (1994) este evento registro dos avances.

Los depósitos correspondientes a esta glaciación se encuentran distribuidos a lo largo del valle glaciar de Milluni y consiste de depósitos de till que geomorfológicamente forman morrenas laterales, frontales y de fondo. Litológicamente presenta composición heterogénea con clastos polimícticos (areniscas, pizarras, lutitas, limolitas y granitos), con formas angulosas a subangulosas y matrix areno gravoso, y la coloración que presenta esta unidad es marrón amarillento (figura 35).



Figura 35. Bloque errático que corresponde a los depósitos de till Choqueyapu

3.2.3.3. Holoceno – Depósitos fluviales

Los depósitos fluviales se encuentran a lo largo del río Sique, sus aguas nacen de la laguna Milluni Grande y los afluentes tributarios, presentan poco espesor y están constituido por arenas, limos y arcillas. La coloración de estos depósitos es gris y rojiza - amarillento debido al enriquecimiento en óxidos y oxi – hidróxidos de hierro y la influencia de la contaminación minera.

En el sector Oeste del área de estudio los depósitos fluviales forman abanicos aluviales y consisten de acumulaciones de grava polimícticas de granulometría media a gruesa, los clastos tienen formas sub redondeadas a redondeadas (figura 36). En el sector de las lagunas Milluni y Milluni Chico en los sectores de la desembocadura de las aguas se tienen los depósitos de delta formado principalmente por material fino que proceden de los pasivos ambientales mineros.

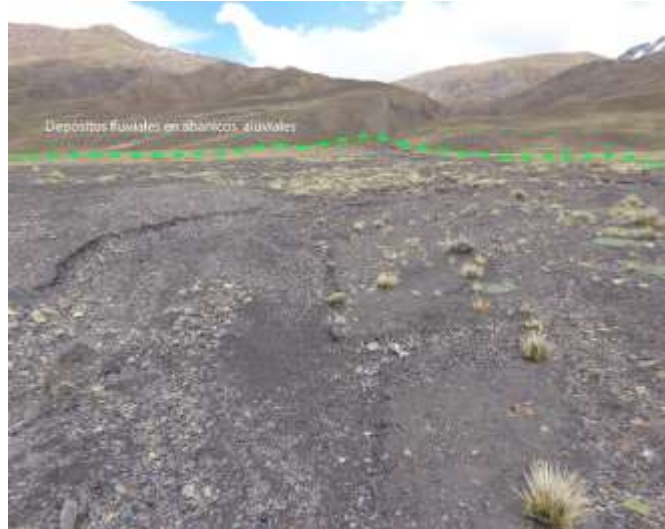


Figura 36. Depósitos fluviales que forman los abanicos aluviales sector Milluni.

3.2.3.4. Holoceno – Depósitos coluviales

Los depósitos coluviales se encuentran distribuidos en las laderas de pendiente elevada en sector Norte de la cuenca de Milluni, está constituido clastos y bloques angulosos. Estos materiales sueltos son originados por la acción de la meteorización física y se acumulan en la base de las laderas de alta pendiente.

3.3. Magmatismo

3.3.1. Plutón Huayna Potosí

En el segmento Norte de la Cordillera Oriental, el magmatismo del Mesozoico está representado por intrusiones cuyas composiciones varían entre granitos, sienogranitos, monzogranitos, granodioritas y tonalitas (Sugaki et al., 1988; Ávila – Salinas 1990; Farrar et al., 1990; Gorinova et al., 2006 mencionado en Jiménez et al., 2009); los mismos se encuentran distribuidos a lo largo de la faja estannífera de Bolivia.

Litológicamente el plutón Huayna Potosí es un granito leucocrático bimicáceo (biotita y moscovita) (figura 37). La asociación paragenética principal del granito es: cuarzo, plagioclasa (oligoclasa), ortosa, microclina, moscovita y biotita y entre los minerales accesorios: apatito, circón y turmalina (Gorinova et al., 2006). Asimismo, presenta textura hipidiomorfogranular (figura 38), el cuarzo y feldespato potásico se desarrolla en los intersticios entre plagioclasas, además, los efectos de disolución sólida forman pertitas y antipertitas que son comunes en el feldespato. La biotita presenta una coloración rojiza indicando su carácter titanífero y posee numerosas inclusiones de circón y apatito (Gorinova et al., 2006).



Figura 37. Muestra de mano del plutón Huayna Potosí

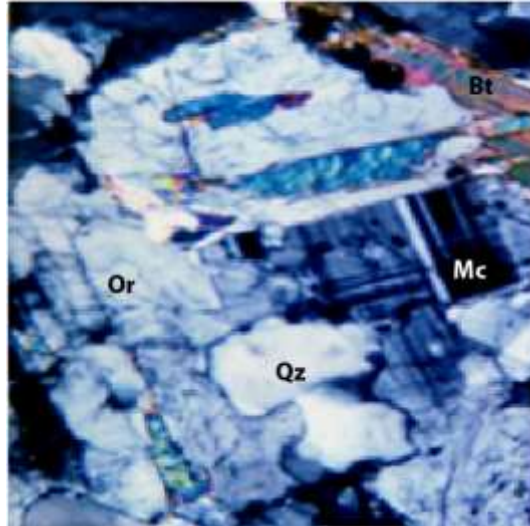


Figura 38. Microfotografía del granito con textura hipidiomorfogranular y ocurrencia de ortosa, microclina y biotita (aumento del objetivo 10x, nicoles X)

Además, en el granito se observó la presencia de xenolitos de carácter monzonítico (figura 39) y microdiques de aplita (figura 40). Por otro lado, el sector también se caracteriza por la ocurrencia de los granitos leucocráticos, los mismos carecen de minerales máficos (biotita) y se caracteriza por la amplia ocurrencia de pertitas, antipertitas y mermiquitas.

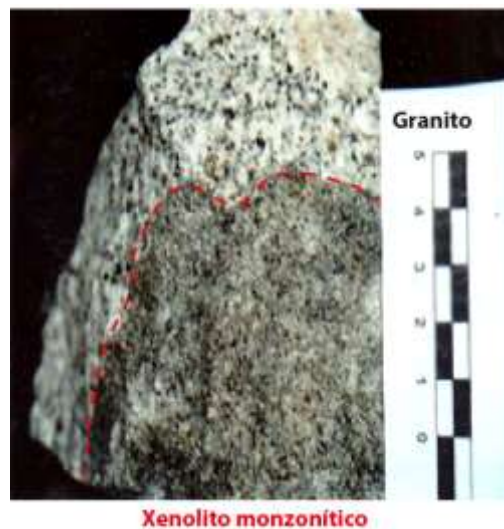


Figura 39. Muestra de granito con xenolito monzonítico tomado del plutón Huayna Potosí

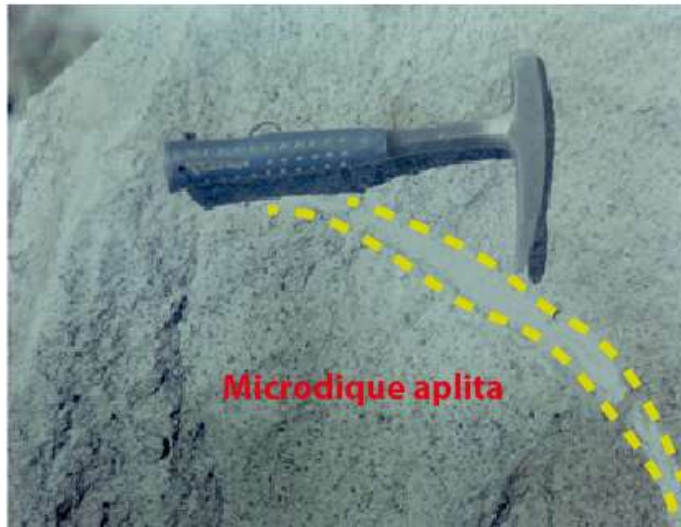


Figura 40. Microdique de aplita en el plutón granítico Huayna Potosí

Los tipos de alteración son la sericitización parcial de los feldespatos y la cloritización de las biotitas con la separación simultánea del óxido de titanio (rutilo, variedad sagenita), además, se observa la formación de turmalina (variedad dravita), clinozoicita y calcita. Los procesos de alteración afectan principalmente la parte Sur del granito.

Las dataciones realizadas por el método Rb –Sr indican una edad de 224 ± 28 Ma (Cordani et al., 2019). Asimismo, las edades mediante el método U – Pb en circón indican la edad Triásica para la intrusión del granito Huayna Potosí (Cordani et al., 2019).

Geoquímicamente se trata de un granito peraluminosos, calcoalcalino rico en potasio (Gorinova et al., 2006). La génesis de estos granitoides se atribuye a la anatexis de la corteza continental debido al proceso de adelgazamiento litosférico que se desarrolló durante el Mesozoico en el margen Suroeste del antiguo continente Gondwana (Sempere et al., 2002).

El plutón Huayna Potosí abarca una extensión de 120 km^2 y se extiende hasta la estación Chururaque, situada en el valle de Zongo. El mismo intruye a rocas sedimentarias del sistema Ordovícico, se distribuye en la parte Norte de la cuenca de Milluni extendiéndose hacia el Noreste (figura 38), hacia el Sur del intrusivo la roca adyacente presenta un contacto de carácter tectónico con un plano de sobreescorrimento,

3.3.2. Pórfido granítico de Chacaltaya

El pórfido granítico de Chacaltaya comprende un área aproximada de 0.5 km² y consiste de un granito bimicáceo (biotita y moscovita), además, de roca tipo greisen debido a los procesos metasomáticos posteriores a su consolidación.

El pórfido granítico presenta dos tipos de rocas:

- Roca ígnea de composición granítica, parcialmente metasomatizada y caracterizada por una textura porfírica. En la misma, se destaca la ocurrencia de cuarzo, plagioclasa y mega – fenocristales de ortosa de hasta 15 cm (figura 41) y los fenocristales de cuarzo y plagioclasa llegan a medir hasta 1 cm, estos fenocristales están rodeados por una matrix cristalina de grano medio.

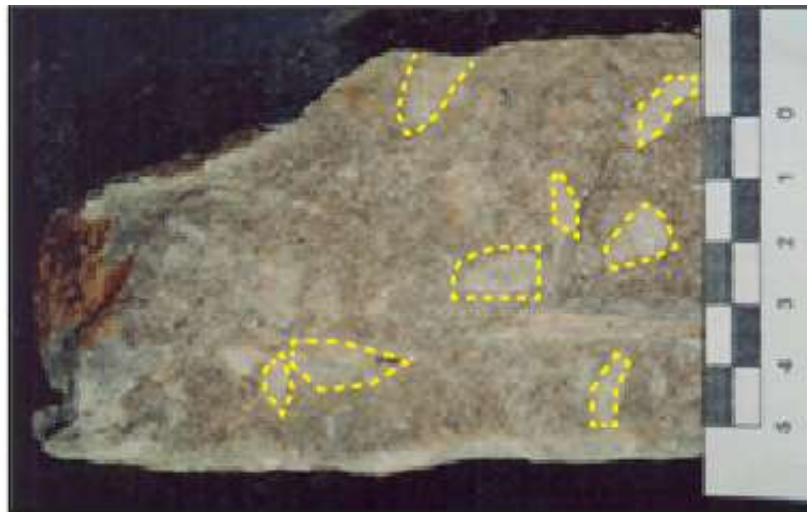


Figura 41. Muestra de mano del pórfido granítico del Chacaltaya donde se observan mega - fenocristales de ortosa

- Roca metasomática tipo greisen caracterizada por la textura lepidogranoblástica donde los constituyentes principales son cuarzo y muscovita (figura 42). Ambos minerales fueron formados debido a los procesos de hidrólisis de la ortosa de roca ígnea preexistente. La textura nematogranoblástica está condicionada por la ocurrencia de cristales de turmalina. El greisen se formó debido a la actuación de fluidos post magmáticos químicamente activos sobre la misma roca granítica y la procedencia de los fluidos es del mismo fluido magmático, mientras el fundido se solidificaba



Figura 42. Abundante presencia de muscovita y cuarzo formados debido al hidrólisis de feldespatos de roca ígnea.



Figura 43. Ocurrencia de agregados de "soles de turmalina" en el cuerpo de roca greisenizada.

Dentro de su relación genética se postula que sea una apófisis del plutón Huayna Potosí (Sánchez, 1977). Las dataciones indican que la edad para el pórfido granítico de Chacaltaya es 205 ± 3 Ma, determinado sobre mineral muscovita por el método K – Ar (Robertson, 1973 citado en Sánchez, 1977); sin embargo, otra datación por el método K – Ar resulta 210 ± 6 Ma (Mc Bride et al., 1983 citado en Arce, 2007).

El pórfido granítico de Chacaltaya intruye a rocas sedimentarias de la Formación Catavi, el contacto es neto y de forma irregular, el emplazamiento se dio debido a fracturas de tensión permitiendo su ascenso a la superficie (Sánchez, 1977). Asimismo, en el sector se observan afloramientos de brechas aledañas al cuerpo greisenizado del pórfido granítico (figura 44).



Figura 44. Afloramiento de brechas aledañas al pórfido granítico.

3.4. Geología estructural

La geología estructural de la Cordillera Oriental es compleja en cuanto a su evolución tectónica a lo largo del Fanerozoico. Los diferentes elementos estructurales que se encuentran en el área son el resultado de la deformación Andina y las deformaciones Pre – Andinas (Orogenia Famatianiana).

Las deformaciones anteriores a la Orogenia Andina se caracterizan por un plegamiento intenso subvertical con pliegues anticlinales y sinclinales con micropliegues y metamorfismo regional de grado bajo y en algunas zonas con intrusiones, estos deformaron las rocas adyacentes y finalmente, la deformación Andina desarrollada desde el Mesozoico superior generó pliegues amplios, volcamientos y fallas inversas (Fernández y Thompson, 1995). Por lo tanto, las diferentes estructuras en el área de Milluni están influenciadas por el desarrollo de los diferentes procesos de deformación y la intrusión del plutón Huayna Potosí.

Las estructuras que se observan en el área corresponden a pliegues y fallas formadas bajo un contexto de tectónica compresiva. Las diferentes estructuras geológicas (fallas, pliegues y la disposición geométrica de los estratos) presentan una orientación promedio N50°W (figura 45) que es concordante con la dirección regional Noroeste – Sureste de la Cordillera Oriental Norte. Asimismo, los afloramientos de las diferentes unidades geológicas presentan rumbo Noroeste – Sureste.

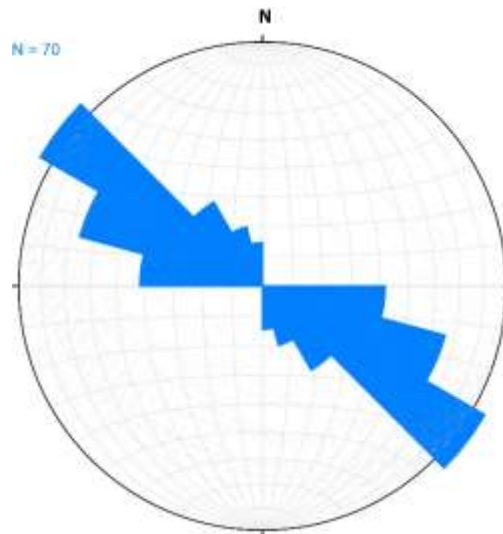


Figura 45. Diagrama de rosas, define la dirección preferencial de la estratificación y estructuras geológicas del área de Milluni.

3.4.1. Pliegues

Los pliegues son resultado de la deformación de la corteza terrestre y generan una nueva disposición geométrica que adquieren las rocas sedimentarias principalmente. En el área de Milluni los pliegues son del tipo anticlinal y sinclinal que afectan a las rocas silúricas. La región occidental de la cuenca de Milluni presenta mayor cantidad de pliegues a comparación de la región oriental en la que se registra el pliegue correspondiente al área del *Cerro Chacaltaya*. Para determinar las características geométricas de los pliegues (eje de pliegue, plano axial y ángulo interlimbo) se aplicó el método de proyección estereográfica, los resultados del mismo se resumen en la tabla 9.

- *Sinclinal Laguna Milluni*: se encuentra al noroeste de la Laguna Milluni, el plegamiento se desarrolla en la Fm. Uncía, se trata de un pliegue abierto, con plano axial vertical y eje de pliegue horizontal (figura 46).

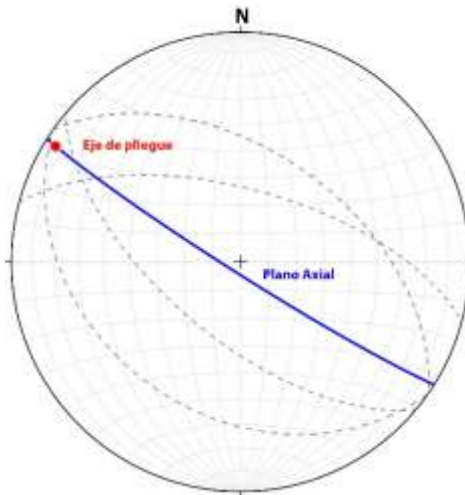


Figura 46. Proyección estereográfica del sinclinal Laguna Milluni

- *Anticlinal Churu Khanca*: se encuentra en el cerro del mismo nombre, su extensión es pocos kilómetros, se desarrolla en las rocas de la Fm. Catavi y geoméricamente es un pliegue abierto, con plano axial vertical y eje de pliegue horizontal (figura 47).

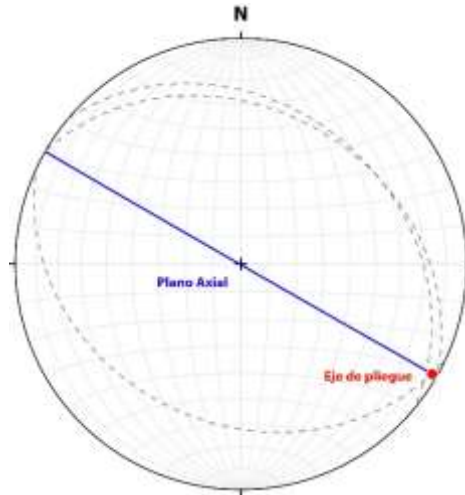


Figura 47. Proyección estereográfica del anticlinal del Churu Khanca

- *Sinclinal Churu Khanca:* se encuentra en el cerro del mismo nombre, su extensión es de pocos kilómetros y se encuentra a continuación del anticlinal del mismo nombre. Se desarrolla en las rocas de la Fm. Catavi. Geométricamente el pliegue es abierto, presenta un plano axial vertical y eje de pliegue horizontal (figura 48).

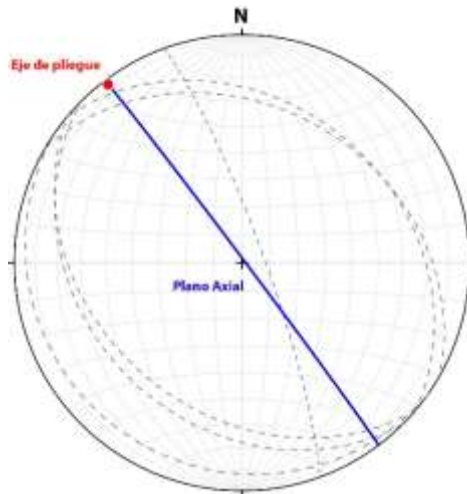


Figura 48. Proyección estereográfica del sinclinal Churu Khanca

- *Anticlinal Poposani:* se encuentra el sector del mismo nombre, en el núcleo del pliegue se afloran rocas de la Fm. Uncía. Se trata de un pliegue regional que es la continuación del pliegue del sector de Chacaltaya y a diferencia de este sector el núcleo no fue erosionado. Geométricamente se trata de un pliegue abierto con plano axial vertical y eje horizontal (figuras 49 y 50)

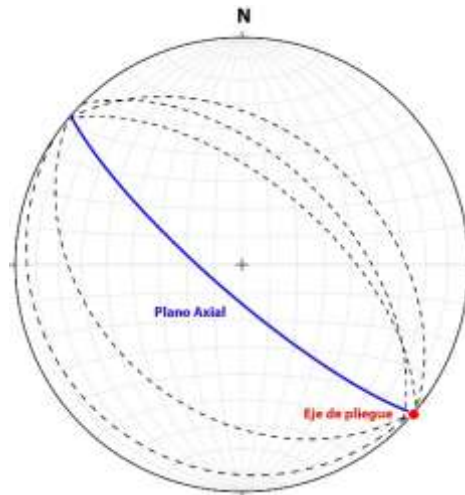


Figura 49. Proyección estereográfica del anticlinal Poposani

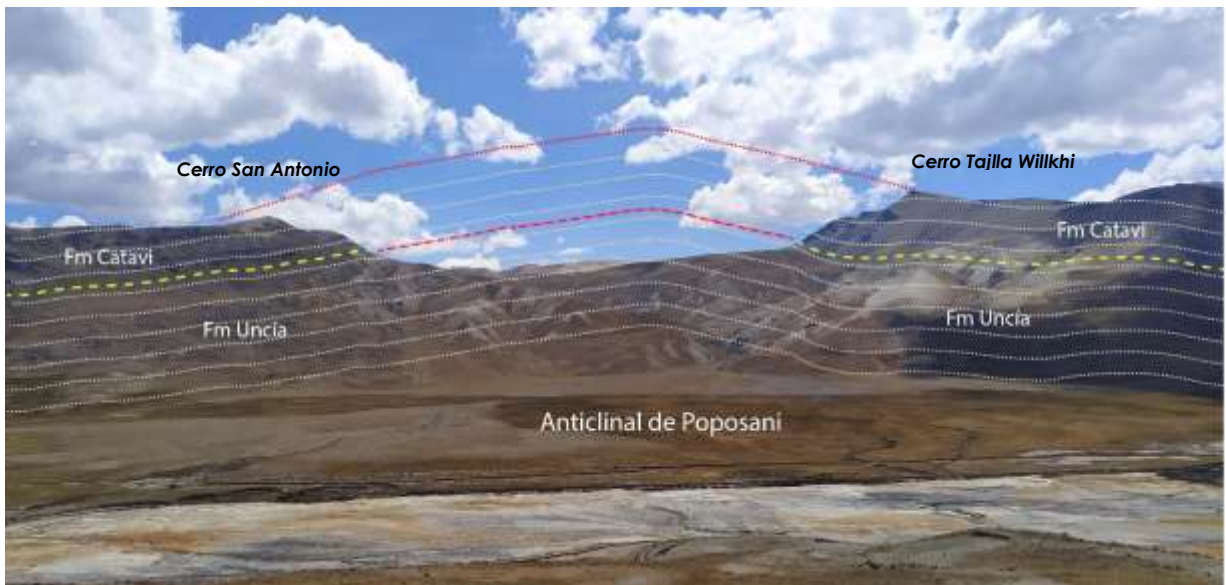


Figura 50. Vista panorámica del sector occidental de Milluni donde se aprecia el anticlinal Poposani

- *Sinclinal Tajlla Willkhi*: se encuentra al Noroeste del antiguo centro minero, se desarrolla en rocas de la Fm. Catavi y es la continuación del sinclinal que se forma en el sector del Cerro Visuyo. Geométricamente se trata de un pliegue abierto con plano axial vertical y eje de pliegue horizontal (figura 51).

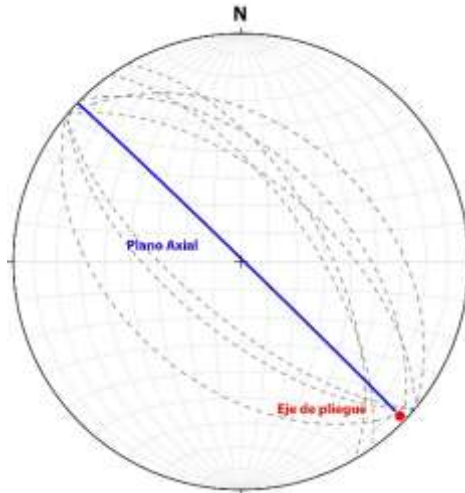


Figura 51. Proyección estereográfica del sinclinal Tajilla Willkhi

- *Plegues menores del sector Noreste del Cerro Tajilla Willkhi:* se trata de una zona de re plegamiento en la Fm Uncía y su extensión de menor a 1 km en dirección noroeste - sureste. Geométricamente resultan pliegues apretados con plano axial vertical y eje de pliegue horizontal (figura 52).

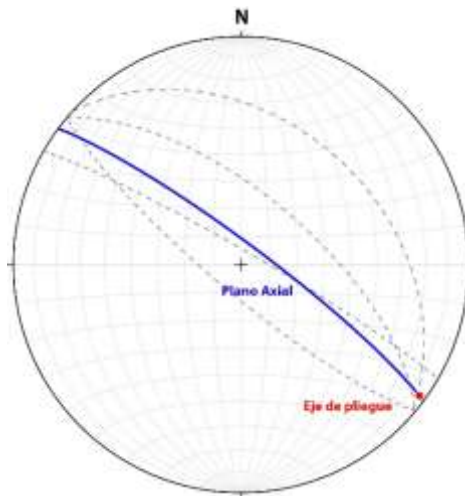


Figura 52. Proyección estereográfica de los pliegues menores del sector Noreste del Cerro Tajilla Willkhi

- *Anticlinal Chacaltaya:* se trata de un anticlinal regional que se extiende en dirección noroeste – sureste, corresponde a una zona de relieve topográfico alto donde afloran rocas de la Fm. Catavi. Geométricamente se trata de un pliegue suave con plano axial vertical y eje de pliegue horizontal. (figura 53 y 54).

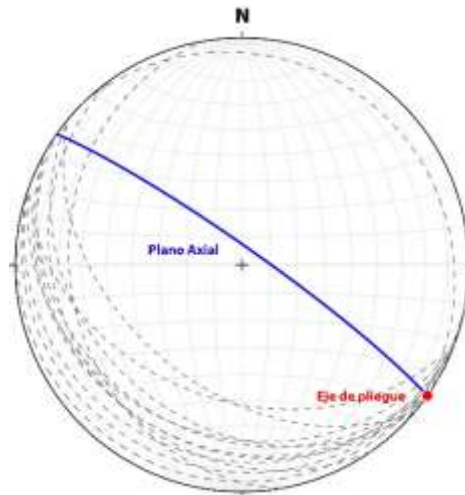


Figura 53. Proyección estereográfica del anticlinal Chacaltaya

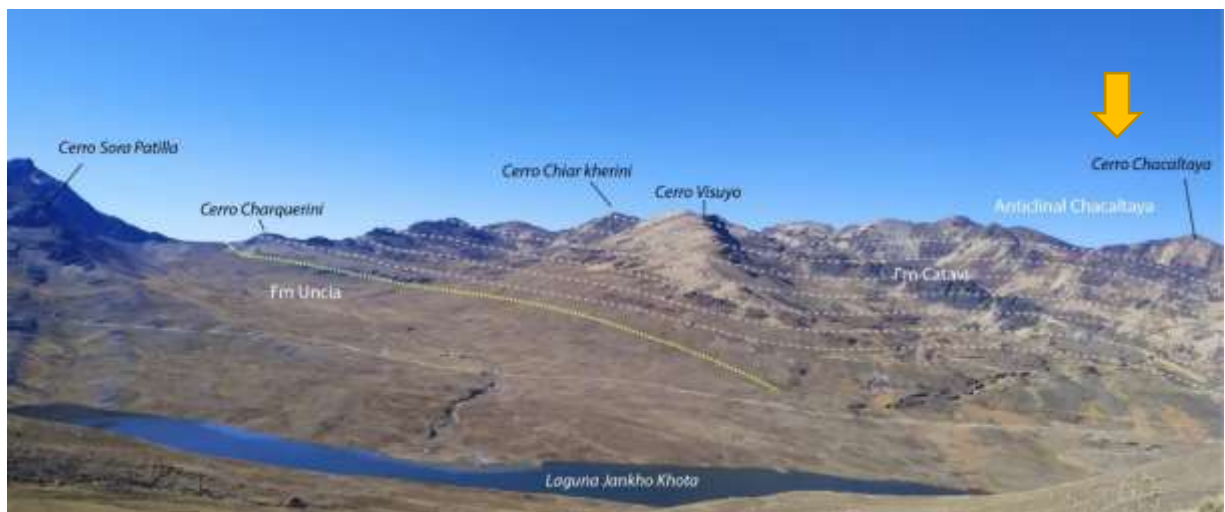


Figura 54. Vista panorámica del sector oriental de Milluni donde se aprecia el anticlinal Chacaltaya

3.4.2. Fallas

Las fallas geológicas que se observan en el área de estudio son inversas, estas se encuentran en el sector de la laguna Milluni. La falla principal tiene un rumbo noroeste – sureste, la vergencia de la falla es hacia la Cordillera Oriental y pone en contacto la base de la Fm. Uncía con la Fm. Catavi. Asimismo, en el sector del Cerro Chacaltaya de la misma se desprende una componente de la falla con la misma vergencia.

Tabla 8

Resultados del análisis estereográfico de los pliegues del área de Milluni

Pliegue	Eje pliegue	de	Según el hundimiento del eje de pliegue	Plano axial	Según el Buzamiento del plano axial	Ángulo Interlimbo	Según el ángulo interlimbo
Sinclinal <i>Laguna Milluni</i>	N 58 W; 05		Horizontal	N 58 W; 86 SW	Vertical	73.6°	Abierto
Anticlinal <i>Cerro Churu khanca</i>	S 61 E; 03		Horizontal	N 61 W; 89.7	Vertical	119.4°	Abierto
Sinclinal <i>Cerro Churu khanca</i>	N 37 W; 00		Horizontal	N 37 W; 89	Vertical	115.8°	Abierto
Anticlinal del sector Poposani	S 49 E; 00		Horizontal	N 50 W; 79 SW	Vertical	88.1°	Abierto
Sinclinal Cerro Tajlla Willkhi	S 46 W; 04		Horizontal	N 46 W; 89.2	Vertical	63.1°	Abierto
Pliegues menores Tajlla Willkhi	S 54 E; 04		Horizontal	N 54 W; 82.4 SW	Vertical	34.8°	Apretado
Pliegue Chacaltaya	S 55 E; 00		Horizontal	N 55 W; 83.9 SW	Vertical	147.8°	Suave

3.5. Geología económica

3.5.1. Recursos metálicos

La presencia de depósitos minerales metálicos está relacionados al emplazamiento y enfriamiento de los plutones. Si bien son conocidos por hospedar mineralizaciones auríferas, también, pueden contener mineralización polimetálica (Arce, 2007). En Bolivia, la tectónica extensiva y el magmatismo del Triásico Superior – Jurásico Inferior está representado por plutones y stocks, en el ara de Milluni son el plutón Huayna Potosí y el pórfido granítico Chacaltaya que conforman la denominada “Espina Dorsal Plutónica” (Arce, 2007). Asimismo, los yacimientos intra a periplutónico presentan mineralización de W-Sn-Au-Bi-Zn-Ag-Pb-Sb. (Ahlfeld y Schneider – Scherbina, 1964; Lehmann, 1990 citado en Arce, 2007).

La mina Milluni se encuentra al Sur del plutón Huayna Potosí, en la parte media de la cuenca de Milluni. El depósito mineral es del tipo vetiforme y rellena fisuras desarrolladas en pizarras y areniscas de la Formación Uncía y Catavi cuyas orientaciones son N 5° a 10° E, N 30° W (Sugaki et al., 1985 citado en Mayta, 2014). Las estructuras mineralizadas de mayor relevancia fueron denominadas veta “Rotschild”, Estructura 2 y Estructura 3; las vetas están compuestas por cuarzo asociado con pirita, arsenopirita, casiterita, siderita, sulfuros de cobre (calcopirita, bornita y covelina) (Mayta, 2014).

Asimismo, en el área de Milluni se tienen las minas: Huallatani, María, La Ignorada, Patacota, Jancokhota, Vesubio, Oruro, San Rafael, Unión Chacaltaya, Kelluani y Kaluyo.

Se plantea que el enriquecimiento de estaño en los magmas en la Cordillera Real pueda deberse a los siguientes eventos geoquímicos: desarrollo de abundantes fases acuosas provenientes de un magmatismo tardío relacionadas con la cristalización de los granitos; redistribución de algunos elementos litófilos (Li, Rb, Cs, B y F) en una etapa post – magmática, que involucró procesos metasomáticos e hidrotermales; finalmente, el incremento de estaño por cristalización fraccionada o de una fusión parcial de las rocas supra – crustales pre existentes (Avila – Salinas, 1984 citado en Arce, 2007).

3.5.2. Recursos no metálicos

El recurso no metálico principal en la cuenca de Milluni son los yesos de la formación Tiquina, se encuentran distribuidos en la parte Suroeste del área de estudio, los mismos fueron explotados de forma artesanal.

3.6. Geología histórica

Durante el Paleozoico, Gondwana se ubicó en el Hemisferio Sur. En el margen Oeste de Gondwana se encontraba la Cuenca Andina Central, la que actualmente corresponde a la Cordillera Oriental y el Altiplano, esta cuenca marina tenía características de una plataforma siliciclástica de clima templado y aguas frías.

A lo largo del Ordovícico Superior en la región de la Cordillera Oriental Norte se depositó una espesa secuencia de depósitos marinos (Fm. Capinota, Fm. Coroico y Fm. Amutara I y II); en el área de Milluni afloran rocas de la Fm. Amutara. A finales del Ordovícico se desarrolló la glaciación del Hirnantiano que ocupó casi la totalidad de la cuenca (1500 km longitud y 250 km de ancho). Este hecho provocó un fuerte descenso glacioeustático, erosión glacial y una fase de plegamiento de variable intensidad debido a la Orogenia – Fase Oclóyica (Benedetto, 2018), marcando la discontinuidad de los depósitos del Ordovícico y Silúrico.

En el Silúrico continuó la sedimentación marina. En la base de la secuencia sedimentaria se tiene los depósitos de la Fm. Cancañiri, los mismos se tratan de depósitos glaciogénicos relacionados a la glaciación Hirnantiana y que tienen amplia distribución a lo largo de la Cordillera Oriental. Estos no yacen in situ, sino fueron transportados y resedimentados en la cuenca marina profunda puesto que presentan estructuras producidas por los flujos de gravedad (slumps). A los depósitos de diamictitas sobreyacen una delgada secuencia sedimentaria de la Fm. LLallagua los mismos corresponderían a zonas de sedimentación profunda asociada a corrientes de turbidez, denotando la discontinuidad con la Fm. Uncía.

La espesa secuencia de pelitas de la Fm. Uncía del Silúrico Medio está relacionada con la subsidencia e inundación marina a lo largo de la región de Perú, Bolivia y Noreste de Argentina. La cuenca marina durante el Silúrico Superior e inicios del Devónico se hizo más somera presentando depósitos marinos arenosos como la Fm. Catavi.

La cuenca Andina Central fue interpretada como una cuenca de antepaís desarrollada por detrás del macizo de Arequipa y Antofalla (Benedetto, 2018). Sin embargo, Dalenz-Farjat et al. (2002) plantea un modelo para la región con subducción simple, un arco magmático y una cuenca de retroarco en la que no hay compresión desde el orógeno. La sedimentación marina continuo hasta finales del Devónico, asimismo, el ciclo orogénico Famatiniano afecto todo el margen Oeste de Gondwana (Ramos, 2018 citado en Cordani et al., 2019).

Durante el Carbonífero tuvo lugar la Orogenia Gondwanide, evento coetáneo a las colisiones continentales hercínicas que formaron Pangea (Cordani et al., 2019). En el Paleozoico Superior la región fue sometida a varios episodios de estiramiento litosférico desde

Perú hasta el Sur de Bolivia. Este hecho generó grábenes subsidentes que fueron rellenados por depósitos continentales rojizos (Sempere et al. 2004). Asimismo, en el Triásico una serie de plutones intruyeron en zonas tectónicas extensionales (Spikings et al. 2016 mencionado en Cordani et al., 2019), por lo tanto, los plutones Huayna Potosí, Chacaltaya, Zongo y Taquesi forman parte del evento magmático Permo – Triásico (Cordani et al., 2019).

A finales del Mesozoico y el Cenozoico se desarrolló la Orogenia Andina responsable de las características geológicas y estructurales regionales que se observan actualmente.

El paisaje actual que se observa es resultado de los procesos geomorfológicos que tuvieron lugar en el Cuaternario. En la región de la Cordillera de los Andes se registraron una serie de eventos de avance y retroceso glacial (Dobrovlny, 1962). Una de las etapas glaciares reconocida corresponde a la glaciación Calvario que se desarrolló durante el Pleistoceno Inferior. Los depósitos de la glaciación Calvario se ubican al Noreste de la ciudad de La Paz y este evento correspondería al primer evento glacial desarrollado en el Cuaternario según Servant, 1977, Ballivian et al. 1978 (mencionado en Argollo, 1994). Posteriormente, en la siguiente etapa interglacial se formaron los depósitos de la Fm. Purapurani.

Dobrovlny (1962) menciona la etapa glacial drift Milluni, la misma es equivalente a lo que menciona Servant (1977) como una glaciación que tuvo dos episodios: la glaciación Kaluyo y la glaciación Sorata (Argollo, 1994).

Según Argollo (1994), para el periodo interglacial Kaluyo - Sorata se formó una superficie de ablación (Glacis III) en la que depositaron los flujos de till que corresponden a la glaciación Sorata y los cuales posteriormente fueron disectados por la erosión fluvial debido al descenso del nivel de las aguas del lago Titicaca. Finalmente, la siguiente etapa glacial corresponde a la glaciación Choqueyapu, la misma está caracterizada por glaciares de valle que se ubicaron en las cabeceras de valle y por la presencia de arcos morrénicos conservados (Dobrovlny 1962, Argollo 1994). Además, según Argollo e Iriondo (2008), este evento glacial se desarrolló durante el Pleistoceno Superior con dos episodios glaciales denominados como Choqueyapu I (33 – 36 Ka) y Choqueyapu II (18 – 20 Ka).

Finalmente, los diferentes procesos fluviales, periglaciares y gravitacionales son los responsables de las modificaciones del paisaje que actúan sobre los diferentes depósitos y afloramientos rocosos que se encuentran en el área de Milluni.

Capítulo IV. IDENTIFICACIÓN DE GEOSITIOS POTENCIALES EN EL ÁREA DE MILLUNI

4.1. Introducción

La geología del área de Milluni muestra diferentes aspectos geológicos que expresan su geodiversidad. Se destaca la geomorfología, tectónica - geología estructural y la petrología como categorías temáticas principales dentro del área de estudio, los cuales fueron evaluados para la consideración de geositios potenciales. Los diferentes rasgos geológicos permiten el reconocimiento e interpretación de la historia de la región de Milluni, su pasado geológico y evolución durante el tiempo geológico.

La selección de los geositios potenciales son resultado de la caracterización de la geodiversidad presente en el área y la representatividad de los elementos geológicos. El área de Milluni presenta elementos geológicos que destacan los procesos geológicos desarrollados durante el Cuaternario, donde los diferentes eventos de glaciación fueron responsables de la formación del paisaje que se observa y cuyos elementos forman parte de los atractivos naturales. Asimismo, se destacan elementos geológicos de carácter tectónico y petrológico, además, aquellos de carácter estratigráfico, minero – metalogenético y otros que son menores a comparación de los elementos geomorfológicos.

Los geositios propuestos parten del análisis que define Carcavilla (2014), en el cual las tipologías comprenden seis categorías donde cada geositio propuesto es clasificado según sus características geológicas cualitativas. En la tabla 10 se muestran los geositios potenciales y su respectiva clasificación y categoría.

Tabla 9. Tipologías de los geositios potenciales del área de Milluni

	Geositio	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Categoría
1	Glaciar Charquini Sur							Geomorfología
2	Glaciar Italia							Geomorfología
3	Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí							Geomorfología
4	Valle glaciar colgado							Geomorfología
5	Glaciar de roca							Geomorfología
6	Morrenas Charquini							Geomorfología
7	Morrenas y lagunas glaciares de colores							Geomorfología
8	Laguna Esmeralda							Geomorfología
9	Laguna Negra Ayllaica							Geomorfología
10	Plutón Huayna Potosí							Petrología
11	Anticlinal Poposani							Tectónica
12	Anticlinal Chacaltaya							Tectónica

4.2. Inventario de geositios

4.2.1. Geositio – 01: Glaciar Charquini Sur

El geositio Glaciar Charquini Sur se ubica al Noreste de la región de Milluni. Se trata de un glaciar tropical de montaña que se encuentra por encima de los 5000 msnm (figura 55). El glaciar se orienta hacia el Sur y está parcialmente descubierto en la parte alta debido a que se tienen afloramientos rocosos del plutón Huayna Potosí. Hacia las laderas de la base del glaciar se tienen afloramientos de rocas meta sedimentarias. La línea de equilibrio del glaciar se ubica a 5204 msnm (Ginot et al., 2010), por lo tanto, el área de acumulación se ha reducido casi en su totalidad que lo hace vulnerable a los efectos de la aceleración del cambio climático.

El glaciar actualmente se encuentra monitoreado, sin embargo, por la cantidad de visitantes y el desconocimiento del mismo los materiales utilizados para su monitoreo sufren daños. Este geositio está relacionado con la geología ambiental y muestra los procesos geológicos activos en la actualidad que permite comprenderlos, además, de sus posibles impactos. El sitio se ha convertido en un lugar popular posterior la pandemia lo que significó un incremento excesivo de visitantes, asimismo, en el sitio se tenían atractivos como la cueva de hielo y se practican deportes extremos (*snowboard*).



Figura 55. Vista a la base del glaciar Charquini Sur. Fotografía del año 2018.

4.2.2. Geositio – 02: Glaciar Italia

El geositio Glaciar Italia se localiza al Noroeste de la región de Milluni, hacia la cabecera de la quebrada Tajlla Willkhi. Se trata de un pequeño glaciar cuya orientación es hacia el Sureste, su superficie es aproximadamente 0.07 km² y en la base del glaciar se encuentra una laguna color turquesa alargada en dirección Sureste (figura 56). Este glaciar está parcialmente descubierto debido a que hacia la cabecera y laderas del circo glaciar se tienen afloramientos rocosos. La superficie del glaciar se encuentra cubierto por clastos de diferentes dimensiones resultado de la erosión glaciar y la meteorización de los materiales rocosos de las partes altas.

El geositio resalta aspectos de la geología ambiental mostrando los procesos geológicos activos en la actualidad. El glaciar durante los últimos años fue modificándose, debido a la ablación del frente del glaciar, asimismo, fue perdiendo elementos como las cuevas de hielo que eran el principal atractivo en este sitio. Actualmente se continúa realizando caminatas hasta llegar a la laguna y observar la base del glaciar, sin embargo, la visita al sitio presenta cierto grado de riesgo debido a la constante caída de material de las laderas.



Figura 56. Glaciar Italia ubicado al Noroeste de la región de Milluni

4.2.3. Geositio – 03: Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí

El geositio Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí (Cerro Joven) se localiza en la parte Norte de la cuenca de Milluni y alcanza una altura de 6088 msnm. El mismo está conformado por campos de nieve y diferentes masas de hielo que presentan diferentes orientaciones, sin embargo, el principal es el Glaciar Zongo (figura 57), estos cubren la topografía positiva del sector donde afloran rocas del plutón Huayna Potosí (Triásico) y rocas metasedimentarias

(Ordovícico). Asimismo, en el geosítio se reconocen otros elementos geomorfológicos, debido a la erosión glaciaria y depósitos de till recientes en la base de los glaciares.

Dentro del nevado Huayna Potosí, el Glaciar Zongo es uno de los glaciares tropicales que existen en la Cordillera de los Andes. Los glaciares de montaña son sensibles a los cambios climáticos, actualmente, el glaciar de Zongo es monitoreado por un programa que pertenece al Word Glaciar Monitoring Service (Leonardini et al., 2012). Asimismo, se lo describe como un glaciar templado de valle que tiene una superficie de 1.96 km² (Soruco et al., 2014), ubicado entre las cotas 5300 y 6000 msnm. El glaciar tiene un promedio de pendiente de 22° orientado al Sud-este y entre las cotas 4900 y 5300 msnm el mismo tiene una pendiente de 15° orientada al Este. Los estudios realizados para el año 2012 indican que la línea de equilibrio, según un registro de datos desde el año 1993, se encuentra a 5345 msnm. Sin embargo, la línea de equilibrio para el glaciar de Zongo es variable debido al fenómeno de El Niño, los años en los que se registra elevadas temperaturas y déficit en precipitación inciden en una fuerte ablación (Leonardini et al., 2012).

El geosítio es bastante visitado, debido a su accesibilidad para la práctica de montañismo por turistas nacionales e internacionales. Diferentes agencias de turismo promocionan la ascensión al nevado, prácticas de escalada en hielo y nieve.

El ascenso al nevado que se encuentra a 6088 msnm son organizados en tres días y se realiza por senderos muy concurridos en hielo y roca, además, el itinerario cuenta con dos infraestructuras Campo base y Campo Alto que son puntos de descanso.



Figura 57. Vista panorámica del Nevado Huayna Potosí

4.2.4. Geosito – 04: Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi

El geosito Valle glaciar colgado de Tajlla Willkhi se localiza en la región Noroeste de la región de Milluni. Se trata de un antiguo valle glaciar en el que se observa su perfil transversal en U (figura 58). Además del desnivel que tiene respecto al valle principal forma una ladera subvertical en el sector de la laguna Jankho Khota. Se trata de un valle tributario que no logró socavar y llegar al lecho del valle principal durante los periodos glaciales que se desarrollaron en el Cuaternario. El desnivel del valle principal y los valles colgados es de 50 m en promedio. El geosito actualmente no presenta ningún uso turístico y puede ser observado de mejor manera desde la región oriental de la cuenca.



Figura 58. Valle glaciar colgado ubicado por el sector Noroeste de la laguna *Jankho Khota*

4.2.5. Geosito – 05: Glaciar de Roca

El geosito Glaciar de Roca se localiza al Noroeste de la laguna Jankho Khota. El mismo se encuentra a lo largo de un valle glaciar colgado. Esta geoforma tienen una superficie aproximadamente de 0.5 km² y una longitud de 0.75 km alargado en dirección Sureste (figura 59). Este glaciar de roca se trata de una formación de hielo y clastos de roca, presenta una cubierta de material detrítico en su superficie formado por clastos de diferentes dimensiones, además, presenta laderas de elevada pendiente y en su superficie exhibe aspecto rugoso, los procesos geológicos asociados a este geositos son los periglaciares. Los glaciares de roca constituyen una alternativa para el almacenamiento de los recursos hídricos en zonas montañosas (Rangecroft, 2015).



Figura 59. Vista del glaciar de roca ubicado al Noroeste de la región de Milluni

4.2.6. Geosítio – 06: Morrenas Charquini

El geosítio Morrenas Charquini se encuentra localizado al Noreste de la cuenca de Milluni, al Sur – Suroeste del Glaciar Charquini (figura 60). El geosítio consiste de depósitos glaciares recientes que ocupan una extensión de 0.8 km². Estos depósitos están conformados por material rocoso en bloques y clastos de diferentes dimensiones en una matrix de arena, limo y arcillas, en su composición predominan rocas graníticas. Los mismos conforman un conjunto de morrenas dispuestos en forma de arco y se distribuyen en forma secuencial. La ubicación de las diferentes morrenas laterales y frontales permiten reconstruir la historia del glaciar durante la última época; estos corresponden a morrenas de avance y retroceso del glaciar desarrollado en los últimos siglos.

La morrena frontal más alejada del glaciar actualmente se encuentra a aproximadamente 1.1 km. Rabatel et al. (2005) realizó dataciones a morrenas de diferentes glaciares de la Cordillera Quimsa Cruz, usando la técnica del liquenometría y teniendo como guía a la especie *Rhizocarpon Geographicum* s.l. que se desarrolla particularmente en las rocas. Los resultados determinaron 10 cordones de morrenas (figura 61) que van desde la Pequeña Edad de Hielo.

Las diferentes morrenas fueron originándose a lo largo de la Pequeña Edad de Hielo donde la edad datada para la morrena M1 resultaría entre los años 1642 y 1700 y una edad estimada de 1686 ± 14 años y la morrena M10 tendría una edad 1896 y 1921 y una edad estimada de 1912 ± 9 años. (Rabatel et al., 2005). Además, Rabatel et al. (2008), indica que la M6 correspondería al máximo avance del glaciar durante la Pequeña Edad de Hielo cuya edad

aproximada corresponde a los años 1781 – 1808 (mencionado en Salvarredy-Aranguren et al., 2009).

El geositio está relacionado con los procesos geológicos recientes, la Pequeña Edad de Hielo. La población que visita el sector de Charquini no conoce las características particulares de estos depósitos y el hecho de generar vías de acceso al glaciar pone en riesgo la preservación de las diferentes morrenas.

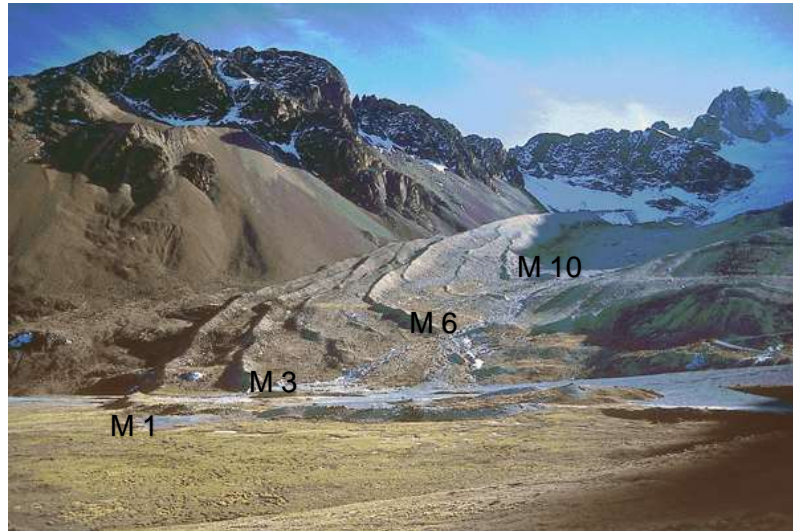


Figura 60. Depósitos glaciares recientes que forman morrenas en el sector de Charquini

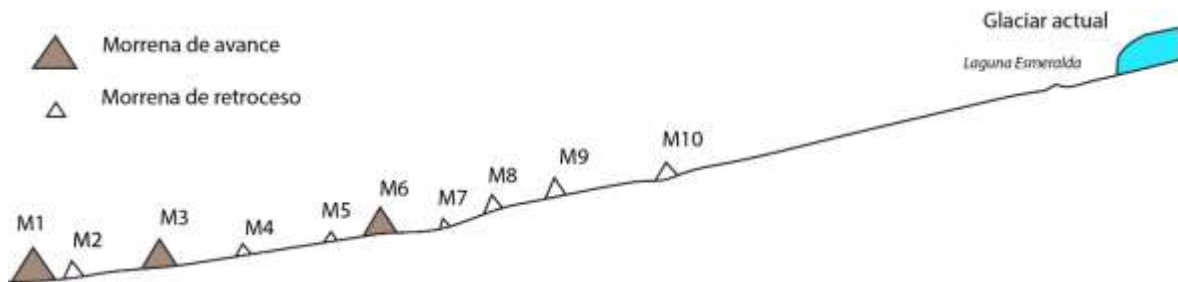


Figura 61 Esquema morfoestratífico de las 10 morrenas en el sector de Charquini
(Tomado y modificado de Rabatel, 2005)

4.2.7. Geositio – 07: Morrenas y lagunas glaciares de colores

El geositio denominado morrenas y lagunas glaciares de colores se localiza a lo largo del lecho de la cuenca de Milluni. El geositio agrupa las lagunas Milluni Grande (figura 62), Milluni Chico, Jankho Khota y Pata Khota, cuyo origen de las diferentes lagunas se debe a los procesos glaciares desarrollados durante el Pleistoceno.



Figura 62. Imagen satelital de la laguna Milluni Grande (Google Earth)

Al Sur de la laguna Milluni Grande se encuentran morrenas laterales y frontales que la limitan y lograr represar las aguas para este lago. La misma se encuentra a una altitud de 4542 msnm, tiene una extensión de aproximada de 1.43 km² y una profundidad de 8.6 m (Miranda et al., 2010). El pH de las aguas de este lago oscila entre 3 y 2.7 y tienen una coloración rojo – anaranjado debido a la influencia de las aguas del área minera (Raffaillac et al., 2002 y Salvarredy – Aranguren et al., 2003 mencionado en Miranda et al., 2010). Estudios en este lago permitieron identificar evidencias de la Pequeña Edad de Hielo en la región Sur del planeta, esto a partir de un testigo de 50 cm de los sedimentos del lago (Salvarredy-Aranguren et al., 2009).

La laguna Milluni Chico se encuentra al Norte de la laguna Milluni Grande. Esta laguna forma parte de las lagunas en rosario y tiene una extensión de 2.69 ha. Hacia el Sur de la laguna se encuentra una morrena frontal que limita y separa la laguna Milluni Grande. La actividad minera contaminó esta laguna por la sedimentación de colas, por ello en el área de sedimentación se encuentran restos de óxidos de hierro que provoca la coloración rojiza (figura 63).



Figura 63. Imagen satelital de la laguna Milluni Chico (Google Earth)

La laguna Jankho Khota (Laguna Blanca) se encuentra ubicada al Norte de la antigua zona minera Milluni a una altitud de 4573 msnm; posee una superficie aproximada de 56.7 ha y tiene una profundidad de 9 m; el pH de las aguas de esta laguna varía de 7.4 y 6.6 (Salvarredy-Aranguren et al., 2003 mencionado en Miranda et al., 2010). Esta laguna es usada para la crianza de peces a pequeña escala y abastece a la laguna Milluni Grande (figura 64).

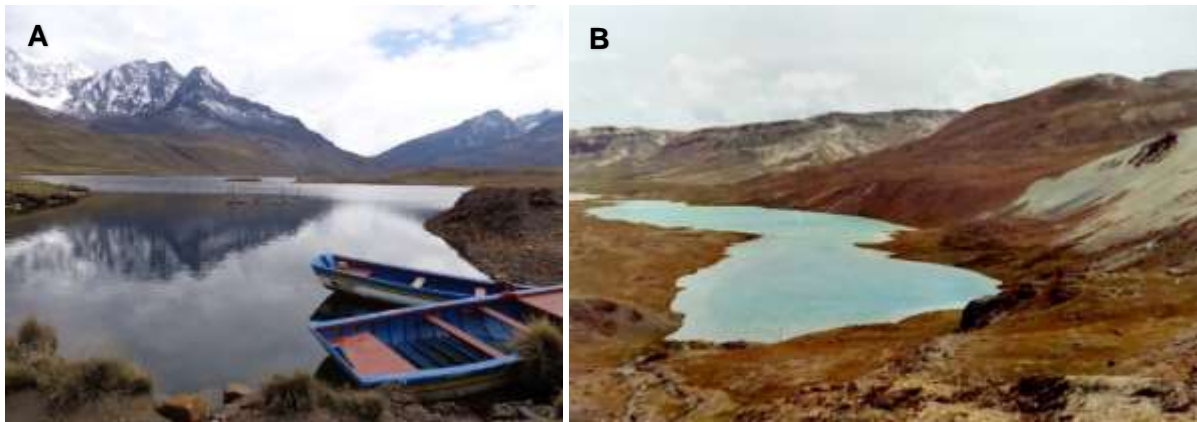


Figura 64. A. Vista de la laguna Jankho Khota. B. Vista de la laguna Jankho Khotha en los años 60 donde tiene coloración blanca

La laguna Pata Khota es la laguna ubicada hacia el Norte. A diferencia de las anteriores, que están limitadas por depósitos glaciares, su origen se debe a la erosión. Esta laguna se encuentra a una altitud de 4665 msnm, tiene una superficie de 17.7 ha y una profundidad aproximada de 11 m; las aguas de esta laguna no están afectados por la contaminación minera (figura 65).



Figura 65. Vista de la laguna Pata Khota

4.2.8. Geosito – 08: Laguna Esmeralda

El geosito Laguna Esmeralda se localiza en la base del glaciar Charquini. Es una laguna que está a una altura aproximada de 5020 msnm y el origen de la misma se debe al retroceso y ablación continua del Glaciar Charquini. Las aguas resultantes de la ablación del glaciar se acumulan en una depresión formada por la erosión glaciar. Actualmente esta laguna tiene una superficie de 0.01 km², la coloración de tonos verdes – turquesa le otorga el nombre laguna esmeralda (figura 66). Esta coloración se debe a la presencia de sedimentos finos de limo y arcillas (harina glaciar) que son producidos debido a la erosión del glaciar sobre el lecho rocoso. El material fino queda suspendido y su interacción con la luz da como resultado el color turquesa o esmeralda de los lagos que se encuentran alimentados por aguas provenientes de glaciares.

Este geosito muestra los efectos del cambio climático que son parte de los procesos naturales que experimenta el planeta y su aceleración. Es un geosito orientado a mostrar los procesos geológicos activos y recientes.



Figura 66. Laguna Esmeralda ubicada en el sector de Charquini

4.2.9. Geositio – 09: Laguna Negra – Ayllaica

El geositio denominado Laguna Negra – Ayllaica se localiza al Este del cementerio Milluni. Se trata de una antigua depresión originada por la erosión glaciár sobre las rocas de la Fm. Catavi. Esta laguna se encuentra a una altura de 4760 msnm, tiene una superficie 0.12 km² y se ubica en la base de un antiguo circo glaciár. Si bien es la laguna de mayor superficie en el sector oriental de la cuenca, se debe a que cuenta con obras civiles que incrementaron su capacidad de almacenamiento de agua (figura 67).



Figura 67. Laguna Negra – Ayllaica

4.2.10. Geositio – 10: Plutón Huayna Potosí

El geositio “Plutón Huayna Potosí” se localiza en el sector norte de la cuenca de Milluni y los afloramientos de este macizo rocoso ígneo se extienden hacia el Norte. El plutón Huayna Potosí es de edad Triásica. El mismo ocupa una extensión aproximada de 120 km² y sus afloramientos inician en la cabecera de la cuenca de Milluni y se extienden hacia el Valle de Zongo. (figura 68-A). Litológicamente se trata de un granito leucocrático bimicáceo (moscovita y biotita, figura 68-B); además, presenta xenolitos de rocas sedimentarias y otras rocas ígneas (Gorinova et al., 2006).

El granito Huayna Potosí intruye a rocas sedimentarias del Ordovícico, Fm. Amutara, además hacia el Sur el contacto es tectónico sobre un plano de escurrimiento (Lehmann, 1977). Asimismo, Lehmann (1977), indica un metamorfismo de contacto débil de 100 m. Las dataciones realizadas por el método Rb –Sr indican una edad de 224 ± 28 Ma (Cordani et al., 2019). Las edades U – Pb en circón indican la edad Triásica para la intrusión del granito Huayna Potosí asociado a un magmatismo post tectónico de la orogenia tardía de Gondwanide en una zona extensional ligado a la ruptura de Pangea (Cordani et al., 2019).

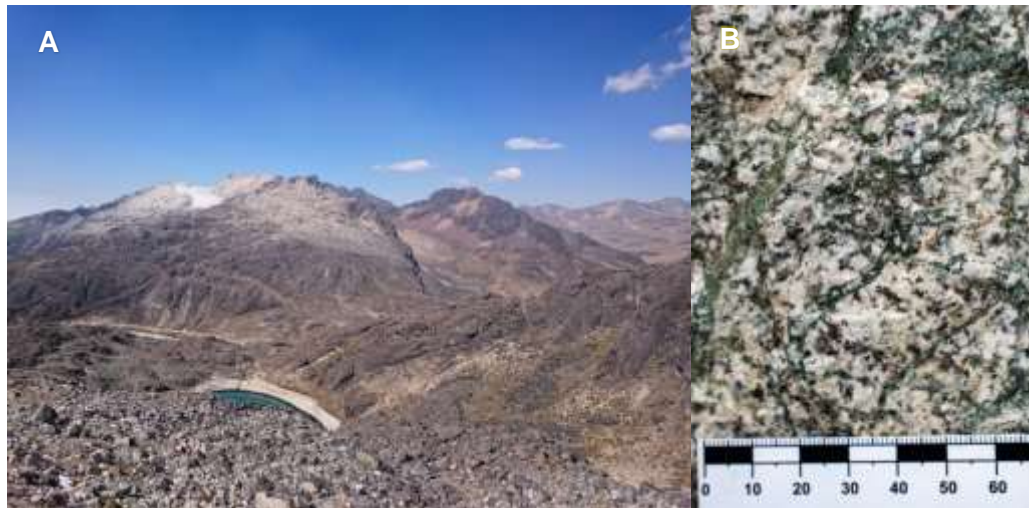


Figura 68. A. Vista panorámica del Intrusivo Huayna Potosí B. Muestra de mano del granito

4.2.11. Geositio – 11: Anticlinal Poposani

El geositio denominado Anticlinal Poposani, se localiza en la región occidental de la cuenca de Milluni, entre los cerros San Antonio y Tajlla Willkhi. Se trata de un pliegue regional que afecta a rocas del Silúrico. En el núcleo del anticlinal se encuentran rocas de la Fm. Uncía, debido a que están conformados por rocas pelíticas en el paisaje se observa una superficie topográfica suave y ondulada. Hacia los flancos del anticlinal se encuentran rocas de la Fm. Catavi, que están compuestos por areniscas cuarzosas, por lo tanto, son resistentes a la erosión y constituyen los altos topográficos como los cerros San Antonio y Tajlla Willkhi (figura 69).

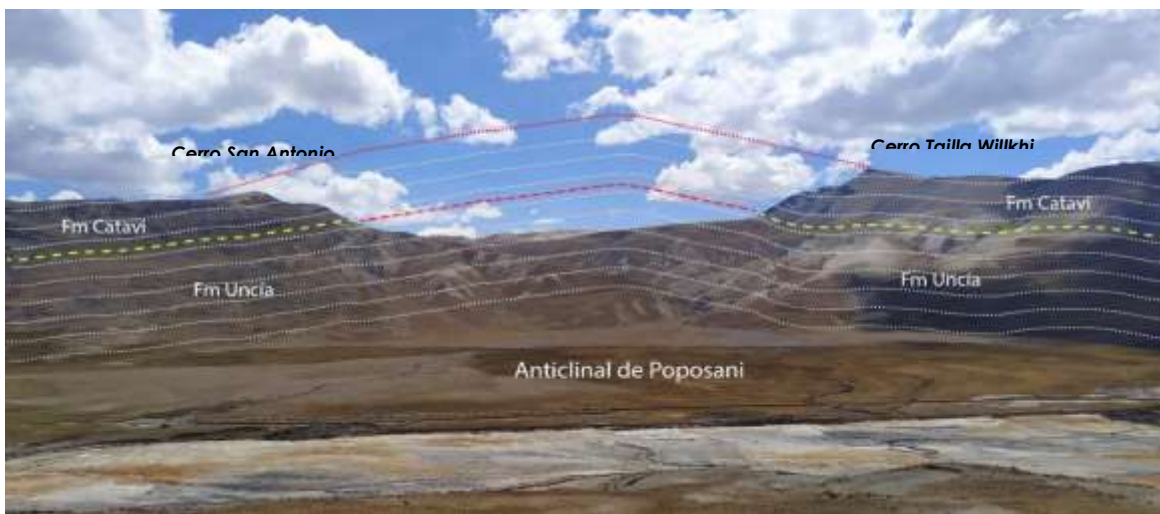


Figura 69. Anticlinal formado en rocas silúricas (sector Poposani)

4.2.12. Geositio – 12: Anticlinal Chacaltaya

El geositio denominado Anticlinal Chacaltaya se localiza en el sector oriental de la cuenca de Milluni. Se trata de un anticlinal cuya extensión regional y se extiende en dirección Noroeste – Sureste, corresponde a una zona de relieve alto donde afloran rocas de la Fm. Catavi (figura 70). Geométricamente se trata de un pliegue suave con plano axial vertical y eje de pliegue horizontal. Además, la coloración rojiza en las rocas se debe a los procesos de alteración generados por la mineralización en el sector. El geositio puede ser observado de mejor manera desde el lado occidental.



Figura 70. Vista panorámica del anticlinal Chacaltaya

4.3. Evaluación de los geositos – lugares de interés geológico según “Modelo de inventario de Español de Lugares de Interés Geológico”

La determinación del estado del patrimonio geológico del área de Milluni y los geositos potenciales se realiza mediante el análisis de los resultados cuantitativos del inventario desde diferentes perspectivas y considerando los diferentes parámetros evaluados (anexo – 1). El análisis cuantitativo aplicado a cada geosito potencial permite reconocer las tendencias y distribuciones respecto al valor intrínseco del mismo. Además, se identifica el valor dominante para cada uno, destacando así la geodiversidad del área. Asimismo, la evaluación de los parámetros relacionados a la geoconservación (riesgo de degradación por causas naturales y antrópicas) establecen el grado de riesgo de cada geosito, los cuales orientarán las posibles medidas que deben tomarse para conservar y preservar los geositos potenciales identificados en el área de Milluni.

4.3.1. Distribución geográfica

El área de estudio se enfoca a la cuenca hidrográfica de Milluni en el sector Norte y tiene una extensión aproximada de 65 km². Para el área se proponen 12 geositos potenciales, los mismos se ubican hacia las cabeceras de las diferentes quebradas y de la cuenca de Milluni (anexo – 4). Los diferentes elementos geológicos pueden observarse con claridad debido a las características del clima del sector y la poca vegetación de la zona, por lo tanto, los afloramientos se encuentran en buenas condiciones de observación.

4.3.2. Áreas temáticas

El área de Milluni se ubica en la Cordillera Oriental Norte y el Altiplano, donde a lo largo del tiempo geológico se desarrollaron diferentes eventos y procesos geológicos. Sin embargo, resaltan los procesos geológicos desarrollados durante el Cuaternario, época en la que la región experimentó diferentes eventos de glaciación. Estos fueron los responsables del paisaje que se observa en la actualidad. Por lo tanto, el área de Milluni destaca por sus cualidades paisajísticas. Esto se refleja en las temáticas a las que se categorizan los diferentes geositos potenciales (figura 71), la mayoría corresponde a la categoría geomorfología, relacionado a los procesos glaciales. También sobresale la categoría tectónica en la que se muestran los geositos 11 y 12 que se tratan de elementos estructurales, y la categoría petrología en la que se incluye el geosito 10 que corresponde al plutón Huayna Potosí.

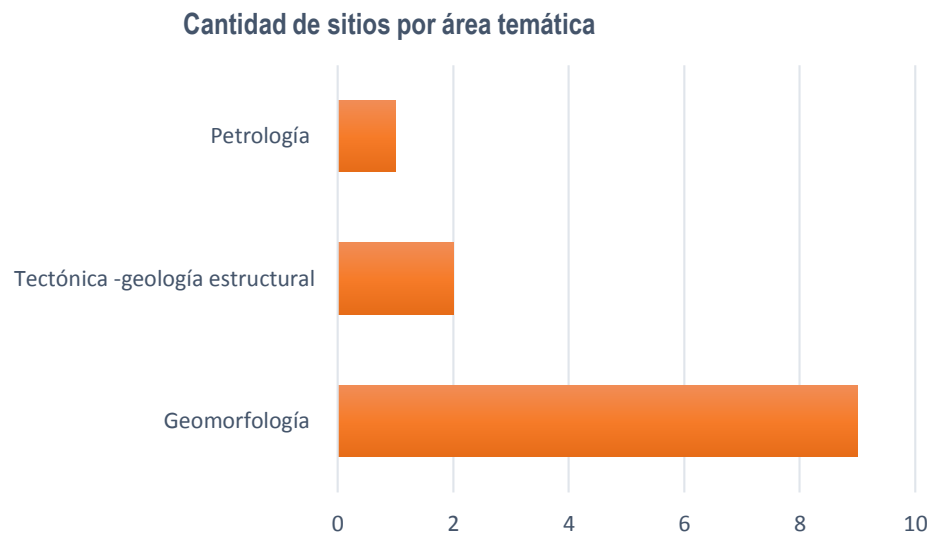


Figura 71. Distribución de geositos potenciales por área temática en el área de Milluni

4.3.3. Cuantificación del valor patrimonial

A continuación, en la tabla 10 se muestra los resultados de la valoración cuantitativa de los geositos potenciales propuestos en el área de Milluni. Asimismo, se compara los valores científico, didáctico y turístico de cada geosito. Además, se muestra gráficos de la valoración científica de cada geosito.

Tabla 10. Resultados de la valoración cuantitativa de los geositos potenciales

Punto	Geosito	Valor Científico	Valor Didáctico	Valor Turístico
G-01	Glaciar Charquini	5.38	4.63	4.88
G-02	Glaciar Italia	2.75	3.25	4.50
G-03	Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí	5.88	5.25	5.75
G-04	Valle glaciar colgado Tajilla Willkhi	2.63	4.13	5.00
G-05	Glaciar de Roca	5.88	4.38	5.13
G-06	Morrenas Charquini	5.38	4.63	4.88
G-07	Morrenas y lagunas glaciares de colores	6.38	6.00	7.25
G-08	Laguna Esmeralda	3.00	3.38	4.50
G-09	Laguna Negra	2.88	3.63	4.75
G-10	Plutón Huayna Potosí	6.75	5.13	5.63
G-11	Anticlinal Poposani	3.88	4.50	5.00
G-12	Anticlinal Chacaltaya	6.50	5.50	5.88

Medio	Alto	Muy Alto
-------	------	----------

- **Geositio Glaciar Charquini**

La valoración cuantitativa del geositio Glaciar Charquini se compara en las figuras 72 y 73. El mismo es clasificado como un geositio de valor alto, este resultado se debe al grado de conocimiento científico del lugar, las condiciones de observación, su estado de conservación y la diversidad geológica asociado a otros elementos geológicos que están presentes en el lugar.



Figura 72. Diagrama de valoración general del geositio Glaciar Charquini

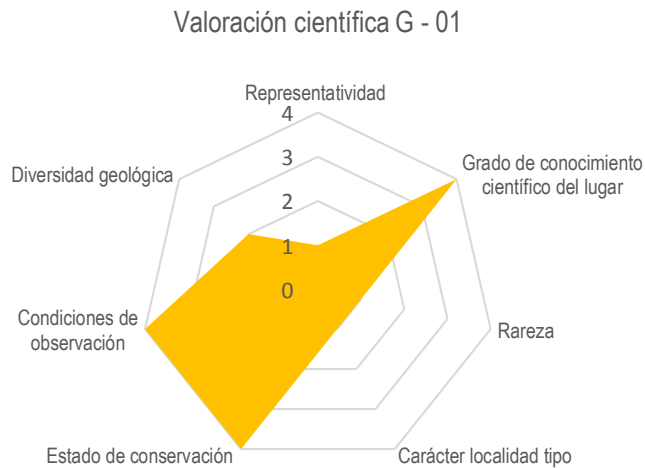


Figura 73. Valoración científica del geositio Glaciar Charquini

- **Geositio Glaciar Italia**

La valoración cuantitativa del geositio Glaciar Italia se compara en las figuras 74 y 75. El mismo es clasificado como un geositio de valor alto debido al interés turístico, este resultado se debe a las condiciones de observación, el estado de conservación, el carácter de la localidad tipo y su representatividad. Se debe destacar que el geositio tiene mayor interés por los visitantes en épocas posteriores al invierno donde existe acumulación de nieve.

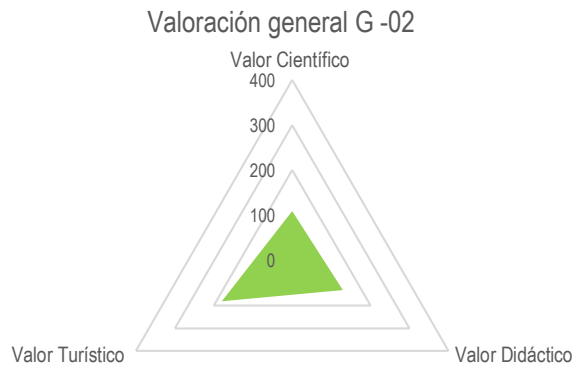


Figura 74. Diagrama de valoración general del geositio Glaciar Italia

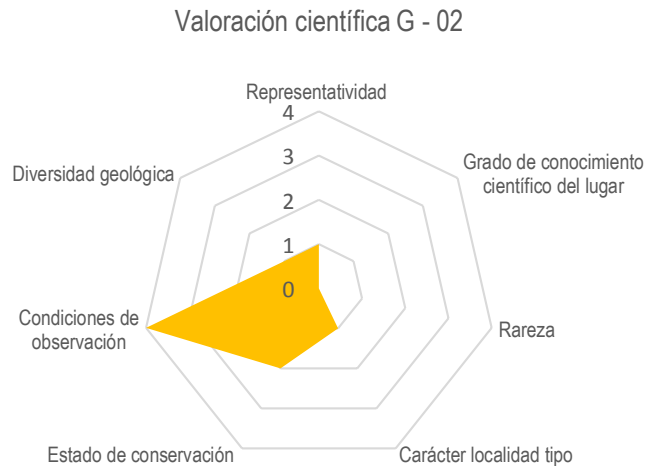


Figura 75. Valoración científica del geositio Glaciar Italia

- **Geositio Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí**

La valoración cuantitativa del geositio Nevado Huayna Potosí se compara en las figuras 76 y 77. El mismo es clasificado como un geositio de valor alto por su valor científico y turístico, este resultado se debe al grado de conocimiento científico del lugar, las condiciones de observación, el estado de conservación, representatividad, el carácter de la localidad tipo y su diversidad geológica.

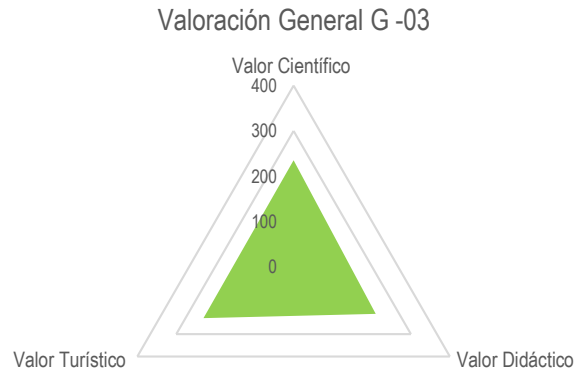


Figura 76. Diagrama de valoración general del geositio Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí

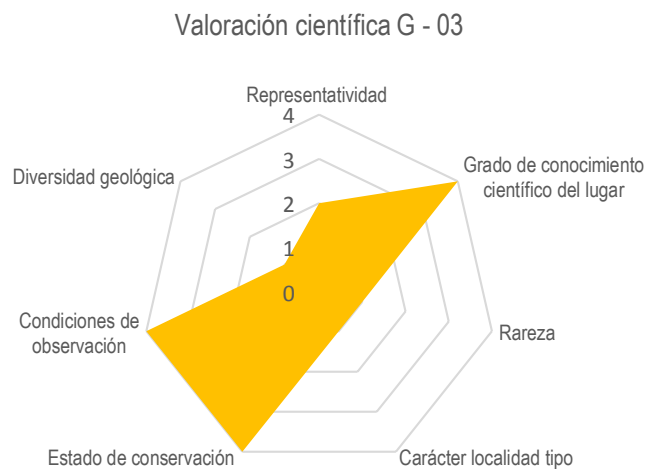


Figura 77. Valoración científica del geositio Glaciar Zongo – Nevado Huayna Potosí

- **Geosítio Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi**

La valoración cuantitativa del geosítio Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi se compara en las figuras 78 y 79. El mismo es clasificado como un geosítio de valor alto - medio por su valor turístico y didáctico, este resultado se debe a las condiciones de observación y el estado de conservación.



Figura 78. Diagrama de valoración general del geosítio Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi

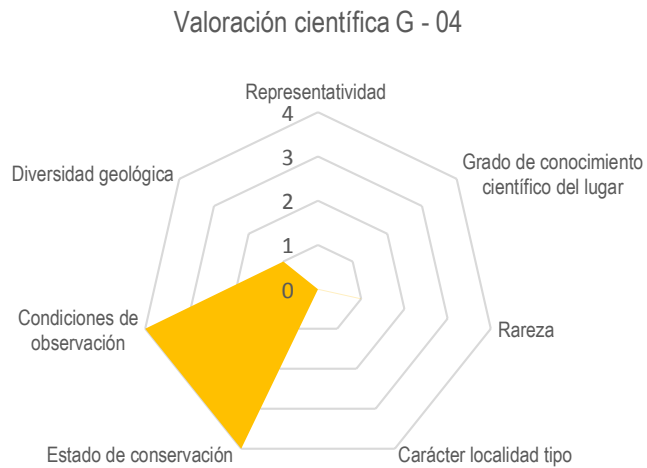


Figura 79. Valoración científica del geosítio Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi

○ **Geositio Glaciar de Roca**

La valoración cuantitativa del geositio Glaciar de Roca se compara en las figuras 80 y 81. El mismo es clasificado como un geositio de valor alto por su valor científico y turístico, este resultado se debe al grado de conocimiento científico, las condiciones de observación, el estado de conservación, el carácter de la localidad tipo, la rareza y representatividad del geositio.



Figura 80. Diagrama de valoración general del geositio Glaciar de Roca

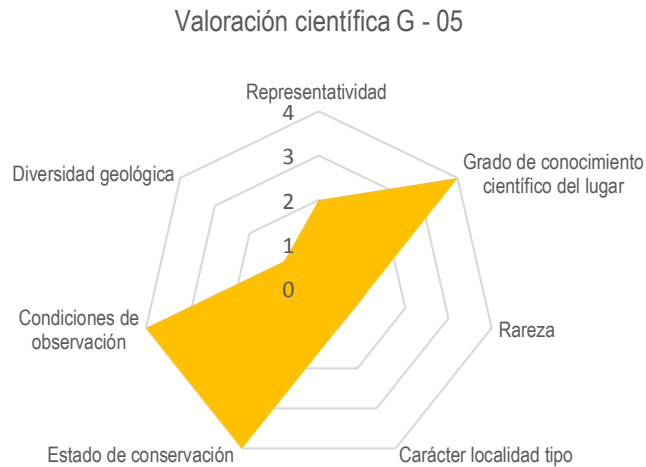


Figura 81. Valoración científica del geositio Glaciar de Roca

- **Geositio Morrenas Charquini**

La valoración cuantitativa del geositio Morrenas Charquini se compara en las figuras 82 y 83. El mismo es clasificado como un geositio de valor alto, este resultado se debe a las condiciones de observación, el grado de conocimiento del lugar, el estado de conservación y el carácter de la localidad tipo.

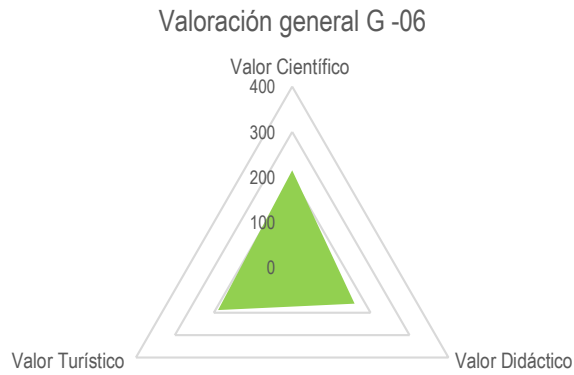


Figura 82. Diagrama de valoración general del geositio Morrenas Charquini

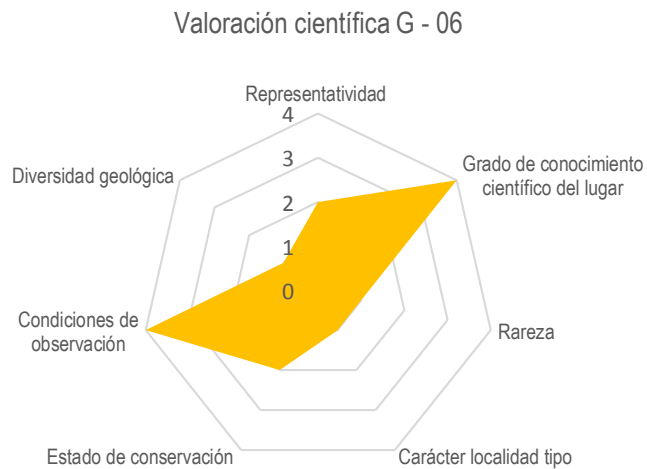


Figura 83. Valoración científica del geositio Morrenas Charquini

○ **Geositio Morrenas y lagunas glaciares de colores**

La valoración cuantitativa del geositio Morrenas y lagunas de colores se compara en las figuras 84 y 85. El mismo es clasificado como un geositio de valor muy alto por su valor turístico y didáctico, este resultado se debe a la diversidad geológica, las condiciones de observación, el grado de conocimiento científico del lugar, el estado de conservación, el carácter de la localidad tipo, rareza y la representatividad del sitio.

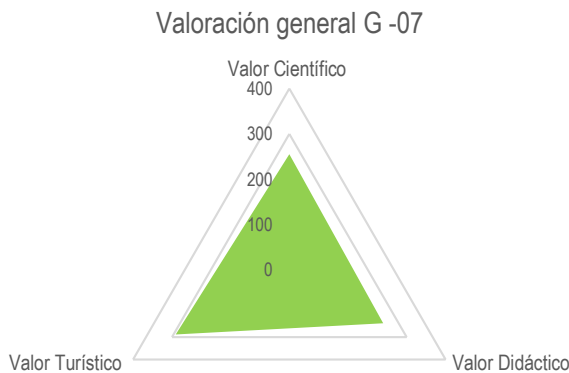


Figura 84. Diagrama de valoración general del geositio Morrenas y lagunas de colores

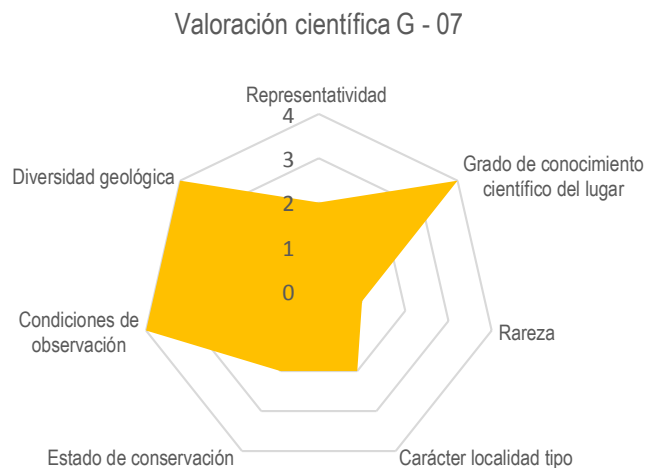


Figura 85. Valoración científica del geositio Morrenas y lagunas glaciares de colores

○ **Geositio Laguna Esmeralda**

La valoración cuantitativa del geositio Laguna Esmeralda se compara en las figuras 86 y 87. El mismo es clasificado como un geositio de valor alto por su valor turístico, este resultado se debe a las condiciones de observación y su estado de conservación. En la valoración general, se observa que el geositio concentra el interés turístico por sus características paisajísticas y coloridas, además, es un elemento que denota los procesos geológicos activos dentro de la geología ambiental.

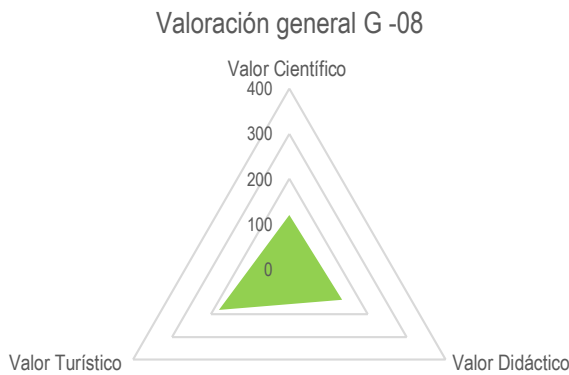


Figura 86. Diagrama de valoración general del geositio Laguna Esmeralda

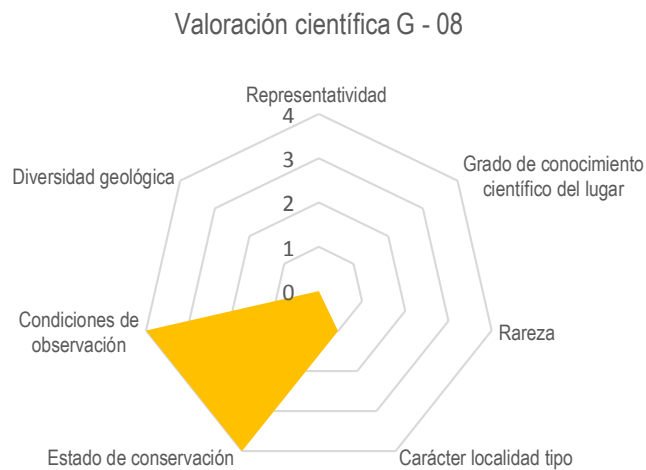


Figura 87. Valoración científica del geositio Laguna Esmeralda

○ **Geosítio Laguna Negra Ayllaica**

La valoración cuantitativa del geosítio Laguna Negra Ayllaica se compara en las figuras 88 y 89. El mismo es clasificado como un geosítio de valor medio - alto por su valor turístico y didáctico, este resultado se debe a las condiciones de observación y el estado de conservación del geosítio.

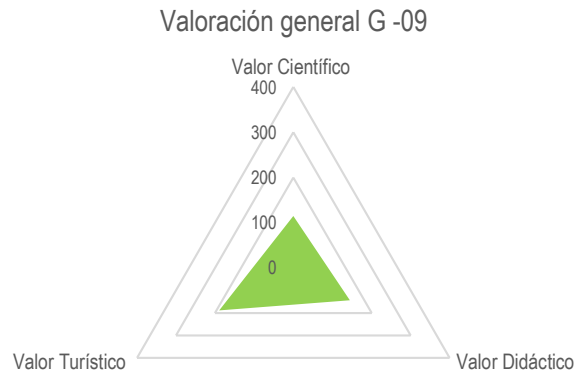


Figura 88. Diagrama de valoración general del geosítio Laguna Negra Ayllaica

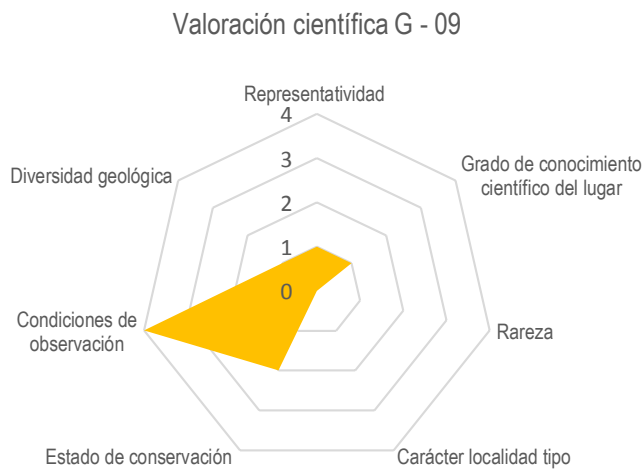


Figura 89. Valoración científica del geosítio Laguna negra Ayllaica

- **Geositio Plutón Huayna Potosí**

La valoración cuantitativa del geositio Plutón Huayna Potosí se compara en las figuras 90 y 91. El mismo es clasificado como un geositio de valor alto – muy alto por su valor científico, turístico y didáctico. Esto se debe al grado de conocimiento del lugar, el estado de conservación, las condiciones de observación, la diversidad geológica, representatividad, rareza y el carácter de la localidad tipo.

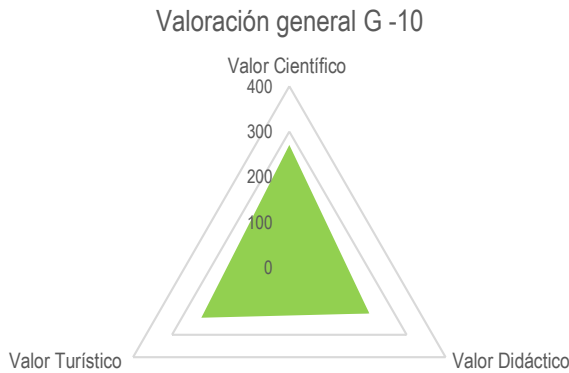


Figura 90. Diagrama de valoración general del geositio Plutón Huayna Potosí

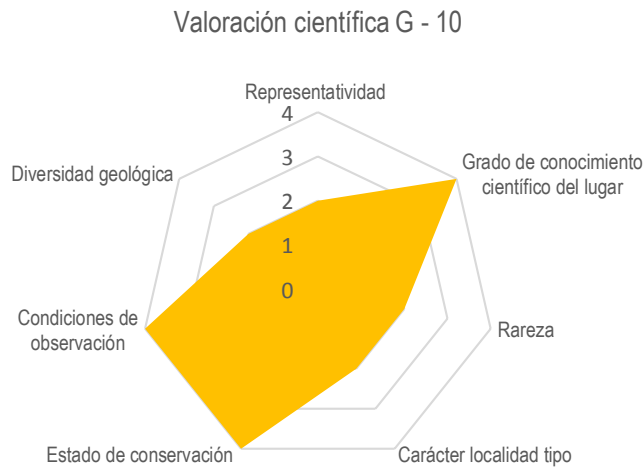


Figura 91. Valoración científica del geositio Plutón Huayna Potosí

○ **Geositio Anticlinal Poposani**

La valoración cuantitativa del geositio Anticlinal Poposani se compara en las figuras 92 y 93. El mismo es clasificado como un geositio de valor alto por su valor turístico y didáctico. Esto se debe a las condiciones de observación, el estado de conservación, la diversidad geológica y el carácter de la localidad tipo.

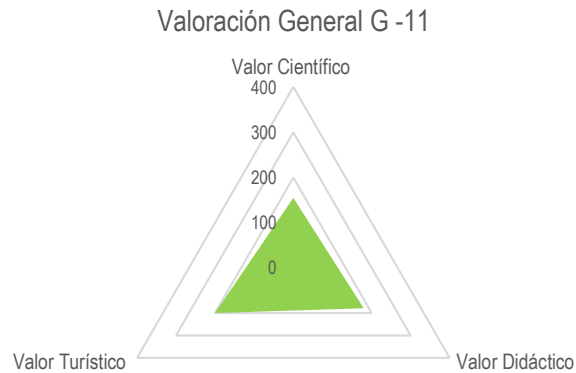


Figura 92. Diagrama de valoración general del geositio Anticlinal Poposani

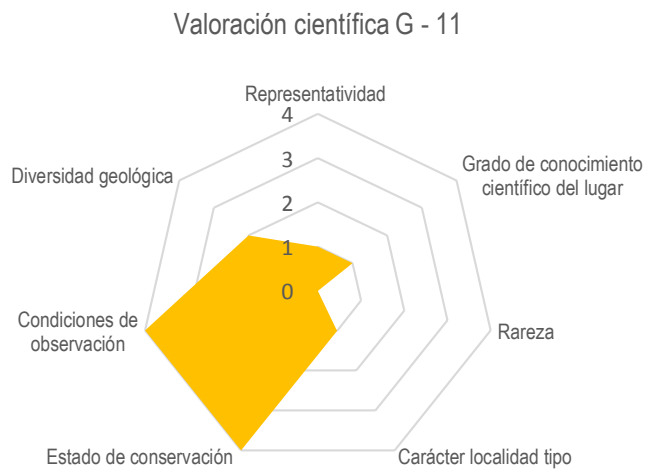


Figura 93. Valoración científica del geositio Anticlinal Poposani

○ **Geositio Cerro Chacaltaya**

La valoración cuantitativa del geositio Cerro Chacaltaya se compara en las figuras 94 y 95. El mismo es clasificado como un geositio de valor alto – muy alto por su valor científico y turístico. Esto se debe a las condiciones de observación, la diversidad geológica, el grado de conocimiento científico del lugar, el estado de conservación y el carácter de la localidad tipo.

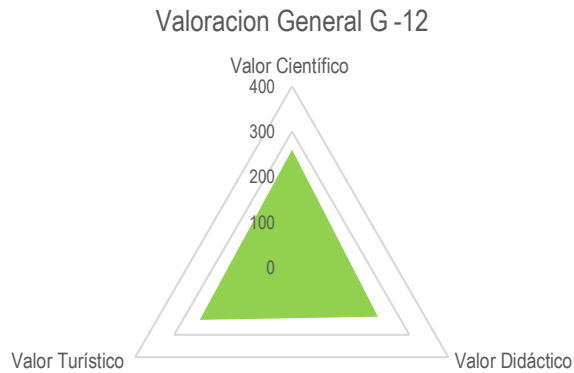


Figura 94. Diagrama de valoración general del geositio Cerro Chacaltaya

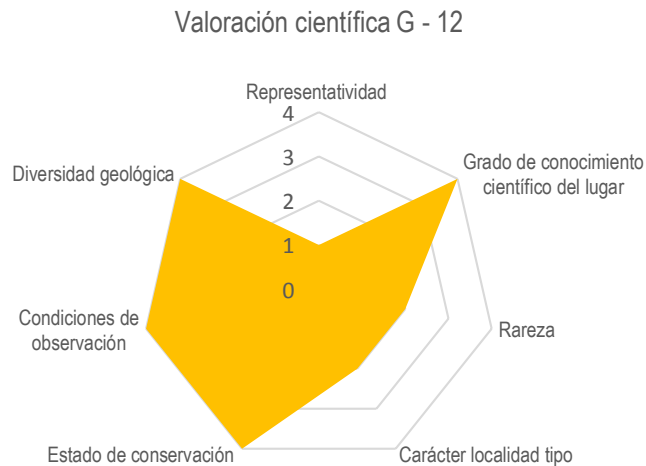


Figura 95. Valoración científica del geositio Cerro Chacaltaya

4.3.3.1. Valor científico

La valoración científica de los geositos potenciales considera los parámetros de representatividad, grado de conocimiento científico del lugar, rareza, carácter de la localidad tipo, estado de conservación, condiciones de observación y la diversidad geológica.

En la tabla 11, se muestran las puntuaciones de los geositos potenciales propuestos. El Glaciar Italia, el Valle glaciar colgado Tajilla Whillki, la laguna Esmeralda y la laguna Negra son categorizados como geositos con valor medio. Los geositos Anticlinal Poposani, Morrenas Charquini, Glaciar Charquini, Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí, Morrenas y lagunas de colores y el Cerro Chacaltaya corresponden a la categoría de los geositos con valor científico alto y el Plutón Huayna Potosí es un geosito con valor científico muy alto.

Los resultados respecto a la valoración científica de los geositos se deben al grado de conocimiento científico que en su mayoría adquiere una valoración alta debido a la cantidad de estudios realizados en el área, algunos tienen alcance internacional. En cuanto a la representatividad, la valoración es intermedia debido a la existencia en otras áreas similares características. Respecto a la rareza, las condiciones de observación y el estado de conservación son óptimas debido a las características climáticas. Finalmente, la diversidad geológica adquiere una valoración intermedia debido a que estos geositos están asociados con otros elementos geológicos.

Tabla 11. Valoración científica de los geositos potenciales del área de Milluni

Punto	Geosito	VC	Valor Científico		Clase
G-01	Glaciar Charquini	215	5.38		Alto
G-02	Glaciar Italia	110	2.75		Medio
G-03	Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí	235	5.88		Alto
G-04	Valle glaciar colgado Tajilla Willkhi	105	2.63		Medio
G-05	Glaciar de roca	235	5.88		Alto
G-06	Morrenas Charquini	215	5.38		Alto
G-07	Morrenas y lagunas glaciares de colores	255	6.38		Alto
G-08	Laguna Esmeralda	120	3.00		Medio
G-09	Laguna Negra	115	2.88		Medio
G-10	Plutón Huayna Potosí	270	6.75		Muy Alto
G-11	Anticlinal Poposani	155	3.88		Alto
G-12	Anticlinal Chacaltaya	260	6.50		Alto

4.3.3.2. Valor didáctico y potencial educativo

La valoración didáctica de los geositos potenciales propuestos para el área de Milluni considera los parámetros de representatividad, rareza, el carácter de la localidad tipo, el estado de conservación, las condiciones de observación, la diversidad geológica, contenido didáctico, la infraestructura logística, la espectacularidad o belleza y el tamaño del geosito.

En la tabla 12 se muestran las puntuaciones de los geositos propuestos. Del mismo, se concluye que los geositos tienen valor didáctico alto a excepción del geosito Glaciar Italia que corresponde a la categoría de valor medio. En las puntuaciones alcanzadas por los diferentes geositos tienen mayor incidencia los parámetros de contenido didáctico, debido a que el área de Milluni contiene elementos geológicos didácticos para desarrollar programas de enseñanza a nivel universitario y escolar. Asimismo, el área se encuentra cerca de la ciudad y ello favorece la infraestructura logística que permite desarrollar actividades de corta duración de tiempo. Por lo tanto, el área de Milluni contiene elementos geológicos que tiene un alto potencial educativo y didáctico para la sociedad en general.

Tabla 12.

Valoración didáctica - potencial educativo de los geositos potenciales del área de Milluni

Punto	Geosito	VD	Valor Didáctico	Clase
G-01	Glaciar Charquini	185	4.63	Alto
G-02	Glaciar Italia	130	3.25	Medio
G-03	Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí	210	5.25	Alto
G-04	Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi	165	4.13	Alto
G-05	Glaciar de roca	175	4.38	Alto
G-06	Morrenas Charquini	185	4.63	Alto
G-07	Morrenas y lagunas glaciares de colores	240	6.00	Alto
G-08	Laguna Esmeralda	135	3.38	Alto
G-09	Laguna Negra	145	3.63	Alto
G-10	Plutón Huayna Potosí	205	5.13	Alto
G-11	Anticlinal Poposani	180	4.50	Alto
G-12	Anticlinal Chacaltaya	220	5.50	Alto

4.3.3.3. Valor turístico

La valoración turística de los geositos potenciales propuestos para el área de Milluni considera los parámetros de espectacularidad o belleza, tamaño del geosito, el contenido didáctico – uso divulgativo, la accesibilidad, el entorno socioeconómico, la infraestructura logística, la densidad poblacional, la asociación con otros elementos eco – culturales, potencialidad para realizar actividades y cercanía con zonas recreativa.

En la tabla 13 se muestran las puntuaciones de los geositos propuestos. De los resultados se concluye que los diferentes geositos son categorizados como geositos con valor turístico alto y el geosito morrenas y lagunas de colores alcanzan un valor turístico que corresponde a la categoría valor muy alto, esto se debe a la espectacularidad, el contenido didáctico y la accesibilidad.

Por lo tanto, a partir de los resultados se establece que los diferentes elementos geológicos que se encuentran en el área de Milluni poseen un alto valor turístico que pueden ser incorporados a los recursos turísticos. Además, actualmente en el área existe un amplio desarrollo del turismo en las zonas de Charquini, el sector Noroeste del área de estudio (Glaciar Italia) y a lo largo del lecho del valle donde se aprecian los diferentes elementos geológicos.

Asimismo, a la temática geológica presente en el área se suma los elementos de patrimonio turístico cultural presentes en Milluni (antiguo cementerio Milluni) reconocidos por el Gobierno Autónomo Municipal de El Alto bajo la Ordenanza Municipal 127/2010 y el patrimonio histórico con las antiguas instalaciones de campamento minero.

Tabla 13. Valoración turística de los geositos potenciales en el área de Milluni

Punto	Geosito	VT	Valor Turístico	Clase
G-01	Glaciar Charquini	195	4.88	Alto
G-02	Glaciar Italia	180	4.50	Alto
G-03	Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí	230	5.75	Alto
G-04	Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi	200	5.00	Alto
G-05	Glaciar de roca	205	5.13	Alto
G-06	Morrenas Charquini	195	4.88	Alto
G-07	Morrenas y lagunas glaciares de colores	290	7.25	Muy Alto
G-08	Laguna Esmeralda	180	4.50	Alto
G-09	Laguna Negra	190	4.75	Alto
G-10	Plutón Huayna Potosí	225	5.63	Alto
G-11	Anticlinal Poposani	200	5.00	Alto
G-12	Anticlinal Chacaltaya	235	5.88	Alto

4.4. Evaluación de parámetros de geoconservación

4.4.1. Riesgo de degradación por causas naturales

La determinación de la susceptibilidad de degradación por causas naturales implica la relación directa de las dimensiones del geosito y la vulnerabilidad natural de los mismos. La vulnerabilidad natural considera la fragilidad de los geositos en términos de las características litológicas que componen los geositos, por lo tanto, serán más frágiles geositos con litologías poco consolidadas a comparación de geositos cuyas características litológicas sean más

resistentes a procesos geológicos y biológicos. Este último corresponde al parámetro de las amenazas naturales a las que están expuestas los geositorios y son evaluados en función de la intensidad de los procesos geológicos o biológicos que puedan afectar el geositorio. Finalmente, el riesgo de degradación será producto de la susceptibilidad de degradación y el valor intrínseco de cada geositorio.

La tabla 14 muestra las puntuaciones de los valores que adquiere el riesgo de degradación por causas naturales de los diferentes geositorios propuestos en el área de Milluni, los mismos están comparados para los valores científico (Rdnc), didáctico (Rdnd) y turístico (Rdnt) y el valor máximo del mismo.

Los geositorios potenciales identificados y propuestos en el área de Milluni están asociados a depósitos glaciares del Cuartanario, por lo tanto, se trata de materiales poco consolidados. Sin embargo, los geositorios Cerro Chacaltaya, Plutón Huayna Potosí, Anticlinal de Poposani presentan un riesgo de degradación por causas naturales muy baja debido a que se tratan de materiales geológicos resistentes.

Según las dimensiones de los geositorios los mismos tienen dimensiones del rango kilométrico, por lo tanto, son menos vulnerables en comparación de los otros geositorios cuyas dimensiones son del rango hectométrico.

Las amenazas naturales identificadas para los geositorios se reducen a procesos geológicos, la amenaza natural para estos geositorios corresponde al proceso de aceleración del cambio climático que pone en riesgo los glaciares y las lagunas originadas por el proceso de ablación de los mismos. Por lo tanto, los valores de riesgo de degradación que adquieren los diferentes geositorios son clasificados en las categorías de riesgos bajo, medio, alto y muy alto.

Las puntuaciones se observa en tabla 14, los geositorios Glaciar Charquini, Glaciar Italia y la laguna Esmeralda corresponden a la categoría de riesgo muy alto, los geositorios Glaciar Zongo – Nevado Huayna Potosí, Morrenas y lagunas glaciares de colores y laguna Negra corresponden a la categoría de riesgo alto, los geositorios Glaciar de Roca y Morrenas Charquini corresponden a la categoría de riesgo medio y finalmente los geositorios valle glaciar colgado Tajilla Whillkhi, plutón Huayna Potosí, anticlinal Poposani y anticlinal Chacaltaya presentan riesgo de degradación bajo.

Tabla 14. Valores del riesgo de degradación por causas naturales

Punto	Geositio	Riesgo de degradación por causas naturales				Clase
		Rdnc	Rdnd	Rdnt	Max	
G-01	Glaciar Charquini	3.225	2.775	2.925	3.225	Muy Alto
G-02	Glaciar Italia	1.650	1.950	2.700	2.700	Muy Alto
G-03	Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí	1.763	1.575	1.725	1.763	Alto
G-04	Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi	0.098	0.155	0.188	0.188	Bajo
G-05	Glaciar de roca	0.881	0.656	0.769	0.881	Medio
G-06	Morrenas Charquini	0.806	0.694	0.731	0.806	Medio
G-07	Morrenas y lagunas glaciares de colores	1.913	1.800	2.175	2.175	Alto
G-08	Laguna Esmeralda	1.800	2.025	2.700	2.700	Muy Alto
G-09	Laguna Negra	0.863	1.088	1.425	1.425	Alto
G-10	Plutón Huayna Potosí	0.002	0.001	0.001	0.002	Bajo
G-11	Anticlinal Poposani	0.024	0.028	0.031	0.031	Bajo
G-12	Anticlinal Chacaltaya	0.008	0.007	0.007	0.008	Bajo

4.4.1. Riesgo de degradación por causas antrópicas

La determinación de la susceptibilidad de degradación por causas antrópicas implica la relación directa de las dimensiones del geositio y la vulnerabilidad antrópica. La valoración de la vulnerabilidad antrópica implica un conjunto de parámetros cuya relación será directa y en función de sus valores de ponderación: el interés para la explotación minera o hídrica, la vulnerabilidad al expolio son los de mayor peso, seguido por la proximidad a actividades antrópicas y la accesibilidad (agresión potencial). Finalmente, se considera el régimen de protección del lugar, la protección física o indirecta, titularidad del suelo – régimen de acceso, la densidad poblacional y la proximidad a zonas recreativas.

El riesgo de degradación resulta de la relación directa de la susceptibilidad de degradación y el valor intrínseco de cada geositio. La tabla 15 muestra las puntuaciones de los valores que adquiere el riesgo de degradación por causas antrópicas de los diferentes geositios propuestos en el área de Milluni, los mismos están comparados para los valores científico (Rdac), didáctico (Rdad) y turístico (Rdat).

En el área de Milluni se identificaron las siguientes amenazas antrópicas que determinan la vulnerabilidad antrópica de los geositios:

- La actividad minera concentrada en la parte central de la cuenca y las diferentes concesiones mineras existentes en el área que están ubicadas próximos a los diferentes geositios y cuyo efecto se traduce en la contaminación de los cuerpos de agua y la modificación parcial de los elementos geológicos.
- El interés para la explotación hídrica de los diferentes cuerpos de agua presentes en la zona para la demanda de agua potable, además de las actividades mineras.
- La accesibilidad a los diferentes geositios implica que puedan sufrir posibles daños. El área de Milluni tiene un acceso parcial debido a que para llegar a la zona no existen un medio de transporte continuo y las visitas se hacen de manera particular.
- Dentro de los planes de manejo integral del territorio de los municipios de La Paz y El Alto reconocen áreas y elementos naturales para su protección, sin embargo, no existe un plan de ordenación y protección del área.
- La zona carece de protección directa, por lo tanto, se puede acceder de manera directa a pesar de la implementación de trancas en las vías de acceso cuyo objetivo no está orientado hacia la protección de los elementos geológicos y del medio natural.
- La cuenca de Milluni se ubica dentro de las jurisdicciones de los municipios de La Paz y El Alto, por lo tanto, los límites no están bien definidos. Esto causa que existan problemas administrativos para la intervención del área.
- El área de Milluni corresponde a una zona rural donde el acceso es libre.
- La densidad poblacional del área de Milluni está influenciada por la cercanía a las ciudades de La Paz y El Alto que incrementa la agresión potencial a los elementos geológicos debido a la alta densidad poblacional de las ciudades.
- La actividad turística se desarrolla con frecuencia en el área de Milluni, por lo tanto, se convierte en una zona recreativa que concentra a los visitantes poniendo en riesgo los elementos geológicos.

Los diferentes geositios potenciales propuestos para el área de Milluni presentan valoraciones de riesgo de degradación por causas antrópicas en las categorías de riesgo bajo, medio y alto. Los geositios plutón Huayna Potosí, anticlinal Poposani y anticlinal Chacaltaya presentan riesgo bajo debido a sus dimensiones.

Los geositios Glaciar Italia, Glaciar Zongo – Nevado Huayna Potosí, Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi y laguna Negra presentan riesgo de degradación medio porque son susceptibles

sufrir modificaciones debido a las actividades antrópicas debido al interés por los recursos minerales, las dimensiones y el acceso relativo a los geositios.

Finalmente, el geositio Glaciar Charquini presenta un riesgo de degradación medio debido a la accesibilidad del mismo, el desarrollo de actividades en el mismo sin considerar la capacidad de carga del mismo y el geositio Morrenas y lagunas glaciares de colores tiene riesgo alto debido a que en la zona se desarrolla la actividad minera que pone en riesgo los elementos geológicos y su parcial modificación. Asimismo, los geositios Glaciar de Roca, Morrenas Charquini y laguna Esmeralda presentan un riesgo de degradación Alto.

Tabla 15. Valores del riesgo de degradación por causas antrópicas

Punto	Geositio	Riesgo de degradación por causas antrópicas				Clase
		Rdac	Rdad	Rdat	Max	
G-01	Glaciar Charquini	1.733	1.492	1.572	1.733	Alto
G-02	Glaciar Italia	0.578	0.683	0.945	0.945	Medio
G-03	Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí	0.617	0.551	0.604	0.617	Medio
G-04	Valle glaciar colgado Tajlla Willkhi	0.423	0.665	0.806	0.806	Medio
G-05	Glaciar de roca	1.035	0.771	0.903	1.035	Alto
G-06	Morrenas Charquini	1.209	1.041	1.097	1.209	Alto
G-07	Morrenas y lagunas glaciares de colores	1.650	1.553	1.876	1.876	Alto
G-08	Laguna Esmeralda	0.675	0.759	1.013	1.013	Alto
G-09	Laguna Negra	0.561	0.707	0.926	0.926	Medio
G-10	Plutón Huayna Potosí	0.338	0.256	0.281	0.338	Bajo
G-11	Anticlinal Poposani	0.276	0.321	0.356	0.356	Bajo
G-12	Anticlinal Chacaltaya	0.333	0.282	0.301	0.333	Bajo

4.5. Bases para la propuesta de integración turística de los geositios

4.5.1. Ley Nro 777 del Sistema de Planificación Integral del Estado – SPIE

La Ley Nro. 777 de Bolivia del 21 de enero de 2016 según el artículo 1°, es la normativa base para el proceso de planificación del desarrollo integral del Estado Plurinacional de Bolivia. Los fines de la Ley tienen el objetivo de lograr la planificación a largo, mediano y corto plazo con un enfoque integrado y armónico y que sea el resultado del trabajo articulado de los diferentes niveles de gobierno con la participación y coordinación de los diferentes actores sociales. Asimismo, a partir del proceso de planificación se asignarán los recursos y se realiza el seguimiento y evaluación integral. Por lo tanto, las propuestas orientadas a gestionar el patrimonio geológico deben estar bajo el marco de la presente Ley.

Los ámbitos de aplicación alcanzan a las diferentes entidades públicas, las Entidades Territoriales Autónomas a nivel departamental, regional y municipal son las responsables en llevar a cabo la planificación del territorio. La planificación se realiza bajo el marco del Plan General de Desarrollo Económico y Social PGDES, que el plan de mayor jerarquía de planificación del Estado.

4.5.2. Planes Territoriales de Desarrollo Integral - PTDI

Los Planes Territoriales de Desarrollo Integral constituyen la planificación territorial de desarrollo integral de mediano plazo (5 años) de los gobiernos autónomos departamentales, regionales y municipales. La estructura y su contenido mínimo está formado por: el enfoque político, diagnóstico, políticas y lineamientos estratégicos y la planificación. Los planes de las diferentes Entidades Territoriales autónomas deben estar en concordancia.

Dentro del PTDI en el registro de los componentes estratégicos de la Madre Tierra solo se toman en cuenta el suelo, los bosques, recursos hídricos, la biodiversidad y las áreas protegidas. A partir de estos elementos se proyectan las actividades estratégicas donde se mencionan las actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras, forestales – agroforestales, agroindustriales – manufactureras y el desarrollo de actividades turísticas.

4.5.3. Gestión del patrimonio geológico

La gestión del patrimonio geológico incluye cuatro etapas fundamentales: el inventario, la legislación, la geoconservación y la divulgación. Entonces, para la gestión y desarrollo del medio natural del área de Milluni se debe cumplir cada una de las etapas bajo el enfoque del desarrollo sostenible y la conservación del medio ambiente para alcanzar el desarrollo territorial del área.

La finalidad de la gestión del patrimonio geológico es hacer que la población pueda acceder a los geositos, disfrutarlos, emocionarse con las visitas y aprender de ellos. Carcavilla (2014), menciona que los objetivos intrínsecos de este proceso son asegurar la preservación de los elementos geológicos para permitir el legado a las generaciones futuras y aprovechar su potencial para el desarrollo de actividades que involucre a la sociedad e incluso promover el desarrollo socioeconómico.

A partir de las experiencias en países como España, a continuación, se resumen de forma general los lineamientos para las cuatro etapas de la gestión del patrimonio geológico:

4.5.3.1. Inventario

El inventario de los geositos tiene como objetivo conocer la distribución espacial de los geositos en el área de interés para poder gestionarlos. Los inventarios deben ser llevados a cabo por profesionales geólogos dependientes de las instituciones públicas o programas específicos. Asimismo, el reconocimiento de los espacios naturales e inventarios deberían ser incluidos dentro del punto de diagnóstico en los Planes Territoriales de Desarrollo Integral.

Por lo tanto, dentro de la etapa de inventarios se propone:

- ✓ Generar proyectos de inventarios de geositos, los mismos deben ser gestionados por entidades cuyo objetivo sea el conocimiento de los elementos geológicos que conforman el medio natural.
- ✓ Evaluar el valor intrínseco y potencial de uso de los diferentes geositos
- ✓ Evaluar las condiciones de vulnerabilidad y riesgos de los geositos.

4.5.3.2. Legislación

La segunda etapa fundamental es contar con un marco legal que garantice la geoconservación estableciendo la normativa que regule su protección y gestión. En Bolivia, actualmente no se cuenta con una Ley específica orientada a la protección y gestión de los geositos, por lo tanto, la Ley Nro. 1333 del Medio Ambiente y el Reglamento General de las Áreas Protegidas son los instrumentos legales que tienen la posibilidad de proteger los geositos.

El Reglamento General de las Áreas Protegidas define las diferentes categorías de manejo, donde la categoría de Monumento Natural Nacional o Departamental tiene por objeto preservar los rasgos naturales sobresalientes de particular singularidad. Por lo tanto, las entidades públicas de los diferentes niveles deben promover normas y acciones que permitan declarar estos elementos geológicos para su preservación y conservación.

Ante la falta de normativas específicas se propone:

- ✓ Hacer menciones específicas a la geología, al patrimonio geológico y la geodiversidad.
- ✓ Establecer los lineamientos de gestión para la elaboración de los inventarios de geositos y la conservación del patrimonio geológico y la geodiversidad.
- ✓ Definir las figuras de protección que incluyan los rasgos geológicos.

4.5.3.3. Geoconservación

El objetivo de la identificación del patrimonio geológico es asegurar la conservación de los diferentes elementos geológicos debido a su alto valor y porque su destrucción es irreversible. La geoconservación consiste de un conjunto de técnicas y medidas encaminadas a asegurar la conservación del patrimonio geológico y la geodiversidad presente en un área.

Para lograr este objetivo se plantea:

- ✓ La implementación de sistemas de monitoreo de los geositos.
- ✓ Realizar procesos de rehabilitación y restauración de los espacios naturales.
- ✓ Generar líneas de investigación donde se refleje la relación de los aspectos geológicos en los ecosistemas, principalmente en áreas protegidas.
- ✓ Utilizar el patrimonio geológico para la zonificación y ordenamiento del territorio, establecer la vulnerabilidad de los mismos y plantear políticas de cara a su gestión (declaración de áreas protegidas, generación de parques, etc.).
- ✓ Generar sistemas de protección basado en planes de conservación y ordenamiento territorial, enfocados bajo el marco de los Planes Territoriales de Desarrollo Integral.

4.5.3.4. Divulgación

La divulgación permite extender la consciencia de conservación del medio geológico, debido a ello es fundamental este proceso que debe resultar de la planificación y de la conservación, caso contrario el riesgo de degradación del geosito puede ser alto.

Esta cuarta etapa se refiere a las acciones referidas al uso del patrimonio geológico para el disfrute y beneficio de la sociedad. Por lo tanto, los lineamientos para la divulgación pueden ser:

- ✓ Desarrollar actividades de divulgación geológica estableciendo el público al que se quiere llegar.
- ✓ Promover el geoturismo y el desarrollo local del área de interés.

- ✓ Promover la creación de geoparques, que son los proyectos ambiciosos que resaltan el patrimonio geológico, la geoconservación y el desarrollo local dentro de un territorio.

4.5.4. Bases para el desarrollo territorial del área de Milluni a partir de la gestión del patrimonio geológico

La gestión del patrimonio geológico debe resultar de la participación y coordinación de los diferentes actores de la sociedad para lograr los objetivos de la gestión, entonces, la propuesta se enfoca a la coordinación de la comunidad, las Entidades Territoriales Autónomas, la sociedad y las empresas dedicadas en el rubro.

Para el área de Milluni, se presenta una estructura general de acciones específicas orientadas a la gestión de los geositos para lograr el desarrollo territorial relacionado con los Planes Territoriales de Desarrollo Integral, sin embargo, se debe completar las etapas de inventario y principalmente el marco legal que permita reconocer los geositos y conservar.

- **Geoconservación de los geositos**

La conservación del espacio natural del área de Milluni requiere la investigación e identificación del patrimonio geológico y natural, por lo tanto, se plantea:

- **Generar un sistema de caracterización del patrimonio geológico y geositos presentes en el área de Milluni.**

La información que debe reflejar un estudio geológico para el análisis de idoneidad de la protección y geoconservación de un elemento geológico debe contener mínimamente la siguiente estructura:

- 1. Introducción**

- 1.1. Introducción
- 1.2. Justificación
- 1.3. Definiciones relacionadas

- 2. Descripción del recurso geológico**

- 2.1. Localización
- 2.2. Descripción geológica
- 2.3. Aspectos relacionados
- 2.4. Estado de conservación
- 2.5. Riesgo de degradación

3. Valoración

- 3.1. Valoración geológica
- 3.2. Definición de los principales valores
- 3.3. Valor relacionado

4. Gestión

- 4.1. Propuesta de figura de protección
- 4.2. Delimitación de gestión
- 4.3. Zonificación
- 4.4. Propiedad del territorio
- 4.5. Organismo que gestionara el espacio
- 4.6. Otros planes, estrategias y programas que afectan al lugar
- 4.7. Turismo y educación ambiental

➤ Crear y aplicar un sistema de seguimiento y control

Consiste en generar un sistema de control de los geositios mediante indicadores (niveles de lagos, flujo en caudales, morfología de canales fluviales, calidad de agua, extensión de bofedales, etc.) y evaluar los cambios debido a los procesos naturales y causas antrópicas.

➤ Realizar procesos de rehabilitación y restauración de los espacios naturales

La actividad minera en el área de Milluni se desarrolló hace muchos años y continua en la actualidad, entonces, los desechos mineros (desmontes) impactan el medio ambiente. Se debe iniciar realizando un mapeo a detalle de los diferentes pasivos ambientales, para así, coordinación con los actores mineros y la comunidad orientar y adecuar los procesos a la normativa ambiental actual respecto a los pasivos ambientales y reducir el impacto ambiental.

○ Promover el desarrollo del geoturismo

El geoturismo es proveer de recursos interpretativos y servicios para promocionar el valor y beneficio social de los geositios y así asegurar su preservación (Carcavilla et al., 2007). Este proceso requiere la coordinación de la parte administrativa, los geólogos y la sociedad – empresas del rubro. Por consiguiente, las acciones específicas para el desarrollo del geoturismo en el área de Milluni se planea bajo los siguientes lineamientos:

➤ ***Implementar itinerarios geológicos en base a las rutas turísticas del área de Milluni***

Los itinerarios interpretativos son recorridos diseñados para que el visitante conozca las características del medio natural mediante una determinada ruta, la cual contiene una serie de paradas donde se centra la interpretación. En el área de Milluni se realizan las siguientes rutas turísticas que tienen potencial para incluir los aspectos geológicos.

Los recorridos de las diferentes rutas pueden realizarse mediante el uso de movilidades con paradas en puntos específicos y caminatas. A continuación, se describen el recorrido de las rutas turísticas (anexo 5):

- **Ruta Charquini:** Esta ruta se ubica al Noroeste del área de Milluni, la primera parte del recorrido se lo realiza en vehículo y la segunda se realiza mediante una caminata. En el recorrido se observa el geosítio Morrenas Charquini, que son depósitos glaciares recientes y al final se observan los geosítios Laguna Esmeralda y Glaciar Charquini. Asimismo, en el recorrido se aprecia la fauna silvestre del sector y la flora con bofedales que son alimentados por las aguas de la ablación glacial. El recorrido de mismo tiene una longitud de 3.6 km desde el camino principal.
- **Ruta Glaciar Italia:** Esta ruta se ubica al Noreste del área de Milluni, el recorrido tiene una longitud de 1.3 Km. La ruta se realiza a lo largo de un valle glaciar colgado, donde se observan los geosítios Valle glaciar colgado de Tajilla Willkhi, el Glaciar de Roca y el Glaciar Italia. Asimismo, se observa el sector oriental de la cuenca Milluni donde se visualiza el Cerro Chacaltaya. El recorrido se realiza mediante una caminata en un sendero donde se observan los diferentes elementos geológicos.
- **Ruta Ascenso Huayna Potosí:** En la ruta se practica el alpinismo, está destinado para las personas que quieran alcanzar los 6088 msnm del Nevado Huayna Potosí. El ascenso se realiza a través de diferentes rutas: Ruta Francesa en la cara Sur, y la pared de 1000 m en la cara Oeste. Debido a la logística que requiere el recorrido se realiza en dos días y con guías de alta montaña.
- **Ruta Laguna Canadá:** Esta ruta se encuentra al Noroeste del área de Milluni, el recorrido tiene una longitud de 2.6 Km desde el camino principal. En el recorrido se observa el geosítio Plutón Huayna Potosí, la caminata se lo realiza a través de un sendero paralelo a un acueducto hasta llegar a la laguna Canadá.
- **Ruta Qutaña:** Esta ruta consiste en un recorrido en vehículo realizando diferentes paradas a lo largo del camino, consiste en la visita de las diferentes lagunas. El

recorrido comienza en la Apacheta Jilarata, se visita la laguna Escondida en los depósitos de yeso, la ex estuquera, la represa Milluni, el sector Chu'sa Marka, el Cementerio Milluni, la Laguna Colorada, y el Ex campamento minero. A lo largo del recorrido se pueden observar los geositos Morrenas y lagunas glaciares de colores, el anticlinal de Poposani, el Valle glacial colgado Tajlla Willkhi, el Glaciar de Roca y el Nevado Huayna Potosí. Esta ruta combina los diferentes elementos geológicos y el los valores históricos y culturales del área de Milluni.

- **Ruta Chacaltaya:** Esta ruta se realiza en vehículo hasta llegar a la base del Chacaltaya y las antiguas instalaciones donde se practicaba esquí. A lo largo del recorrido se aprecia las características del geosito Cerro Chacaltaya, además, por su altitud permite observar parte de la Cordillera Oriental, el Altiplano y el lago Titicaca.
 - **Ruta Huayna Potosí:** Esta ruta se lo realiza por el camino principal Milluni – Zongo en vehículo con diferentes paradas a lo largo del camino hasta llegar a la base del Nevado Huayna Potosí donde se realizan actividades de escalada en hielo.
- ***Implementar una estructura de difusión de información de los geositos mediante paneles informativos***

El objetivo de la implantación de paneles es generar itinerarios autoguiados y transmitir de forma adecuada la información respecto a los aspectos geológicos del geosito. Los paneles informativos contienen textos, figuras, esquemas y mapas, sin embargo, la particularidad de los geositos de la categoría geomorfología requieren que los puntos de observación estén ubicados en zonas con buena visibilidad a comparación de geositos puntuales de otras temáticas.

A continuación, se presenta en la tabla 16 las recomendaciones generales para la elaboración de paneles informativos y modelos de paneles informativos de los geositos (figura 96).

Tabla 16. Recomendaciones para el diseño de paneles interpretativos (tomado y modificado de Carcavilla et al., 2007)

Preparación de textos	Figuras, esquemas y mapas
Explicar las cosas con pocas palabras para no distraer. Los textos no deben superar las 150 palabras. Si son necesarias más, dividirlos en varios cuadros repartidos en el panel.	Que reproduzcan lo más realmente posible el lugar donde se sitúa el panel, pero tener en cuenta que los gráficos fotorrealistas son más fáciles de ver, pero difíciles de recordar.
Cuidado con las referencias toponómicas. Asumir que el visitante probablemente no conozca mucho el lugar.	No utilizar gráficos de manera gratuita. Además, deben estar coordinados con el texto.
No utilizar terminología científica ni textos complejos. Si es imprescindible hacerlo, incluir el significado de los mismos.	Los mapas deben ser sencillos. La mayoría de las personas no se orienta bien con un mapa. Mejor usar modelos con vistas oblicuas o en 3D.
Antes de dar por bueno el panel enseñárselo a alguien no especializado para que lea los textos, con el objeto de comprobar que ha entendido.	Deben ser claros, aportar información, preferentemente de rasgos identificables en el campo y mucho mejor se representan algo que el visitante ve desde su posición y con el mismo ángulo.
No usar cuadros con letras mayúsculas. A los ojos les cuesta más captarlas.	Deben ser interesantes y realizados por un profesional (evitar a toda costa los de mala calidad que quitan rigor e importancia a la información y al elemento en cuestión).
Cuidado con hablar de muchos aspectos diferentes en un mismo panel. Puede complicarlo en exceso y distraer la atención. El texto debe provocar curiosidad.	Si se incluyen mapas poner siempre la escala, el norte y la localización del visitante y añadir referencias fácilmente identificables como el centro de visitantes, las carreteras, etc.
Localización, dimensiones y tipo de paneles	
El panel debe estar orientado hacia lo que se ve en él. Evidentemente, pero no siempre se cumple.	
El panel debe estar situado junto al elemento a interpretar. Si se va a hablar de algo que no se ve, mejor instalarlo en el centro de visitantes o en otro lugar.	
Atender la altura de los niños y de minusválidos. La altura media de los ojos de un visitante adulto de pie es de 1,5 a 1,6 m. de un minusválido es 1 a 1,3 m.	
Analizar las condiciones atmosféricas muy venteadas situarlo protegido, si es un lugar caluroso instalar pérgolas, etc.	
Los paneles verticales y con tejadillo no dejan ver lo que hay por detrás. Usarlos con precaución.	
Deben tener: poco texto, muchos gráficos y grandes espacios vacíos (relación 1:2:1).	
Utilizar la llamada regla de tres: no más de tres tipos de letras, tres tipos de adornos y tres tamaños ni más de tres conceptos o bloques de texto.	
Mejor varios paneles con poco contenido o algo vacíos (se pueden rellenar con dibujos de fondo) que un panel repleto de esquemas e información.	
Color, tamaño, material y forma del conjunto armónico con el entorno.	
Los paneles apaisados de relación 5:4 o 5:3 son más atractivos que los cuadrados	
No dudar en incluir aspectos históricos de los primeros investigadores: añade emoción y cercanía al asunto.	
Los niños requieren un material especial. También los escolares, universitarios, etc. Preparar un material adaptado a ellos, aunque tengan que recurrir a un centro de visitantes para conseguirlos.	
Preparar copias de los paneles en otros idiomas para entregar a los visitantes extranjeros si son frecuentes.	

Laguna Esmeralda

GEOSITIO

08



2022

Es una laguna que está a una altura aproximada de 5020 msnm y su origen se debe al retroceso y ablación continua del Glaciar Charquini.

Las aguas resultantes de la ablación del glaciar se acumulan en una depresión formada por la erosión glaciar. Actualmente esta laguna tiene una superficie de 0.01 km², la coloración de tonos verdes – turquesa le otorga el nombre laguna esmeralda.

Esta coloración se debe a la presencia de sedimentos finos de limo y arcillas (harina glaciar) que son producidos debido a la fricción del glaciar y las rocas. El material fino queda suspendido y su interacción con la luz da como resultado el color turquesa o esmeralda de los lagos que se encuentran alimentados por aguas provenientes de glaciares.



2008



2016



2011



2017



2014



2018

Imágenes satelitales Google Earth muestran los cambios en el glaciar Charquini y el origen de la laguna Esmeralda.

Geomorfología glaciar

Valle glaciar colgado

GEOSITIO

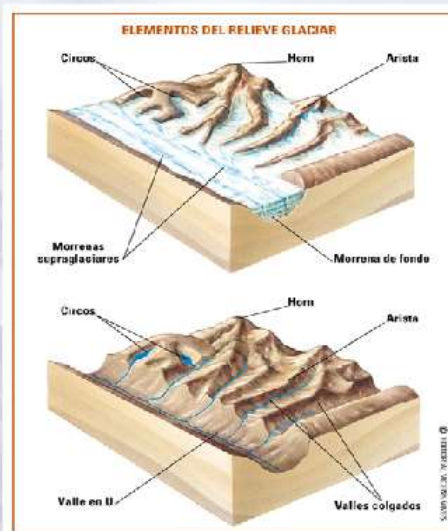
04



Perfil en U del valle glaciar colgado

Valle glaciar colgado Tajlla Whilkhi

Se trata de un antiguo valle glaciar en el que se observa su perfil transversal en U. Además del desnivel que tiene respecto al valle principal forma una ladera subvertical en el sector de la laguna Jankho Khota. Se trata de un valle tributario que no logró socavar y llegar al lecho del valle principal durante los periodos glaciares que se desarrollaron en el Cuaternario.



El gráfico muestra el paisaje durante los procesos glaciares y las geoformas que quedan después de los procesos glaciares.

Geomorfología glaciar

Figura 96. Propuesta de modelos de paneles informativos de los geositios potenciales

➤ **Asociar los diferentes recursos turísticos**

Milluni destaca los valores paisajísticos que están relacionados con los aspectos geológicos, sin embargo, también se encuentran elementos culturales e históricos en el área, estos aspectos permiten potenciar los recursos turísticos del área.

○ **Desarrollar los aspectos educativos y de divulgación**

En la gestión del patrimonio geológico y la geodiversidad la divulgación es un método general orientado a resaltar la importancia de los elementos en relación a la conservación de los valores geológicos (Carcavilla et al., 2007). Entonces por divulgación se entiende como el conjunto de acciones encaminadas a transmitir al público su valor promoviendo el entendimiento y estimular actitudes orientadas a la conservación (Carcavilla et al., 2007). Por lo tanto, la divulgación científica de la geodiversidad y el patrimonio geológico dentro de las actividades turísticas se convierte en una oportunidad para promover acciones respecto a la temática en la sociedad y cumplir las diferentes etapas para la gestión del mismo.

Las acciones que se plantean para desarrollar los aspectos educativos y de divulgación son:

➤ **Aplicar estrategias de divulgación del área de Milluni y los geositios potenciales**

Las estrategias de divulgación tienen tres enfoques:

- La difusión o promoción: hace referencia a las acciones de comunicación del patrimonio geológicos y la geodiversidad.
- Interpretación: hace referencia al ámbito educativo no formal, que tiene como objetivo motivar y transmitir los conocimientos del patrimonio geológico y la geodiversidad hacia el público.
- Didáctica: relacionada a la docencia y la educación formal, el objetivo es académico y consiste en transmitir los conocimientos científicos al público.

➤ **Capacitar a los guías de turismo y guías locales**

Crear programas de capacitación orientados a la comprensión las características de los aspectos geológicos de los geositios potenciales para transmitir la información adecuadamente a los visitantes. Además de realizar las interpretaciones de los diferentes paneles informativos.

➤ **Extender e incluir la temática de la geodiversidad en los programas educativos**

La comunicación sobre la geodiversidad debe orientarse a los diferentes niveles educativos, entonces las acciones se enfocan a la capacitación de profesores, realizar salidas con carácter académico, charlas en aulas, actividades de educación ambiental y la generación de material pedagógico con el objetivo de educar y dar a conocer sobre el patrimonio natural y la geodiversidad a la sociedad.

4.5.4.1. Acciones realizadas en el área de Milluni

- ***Evaluación de rutas turísticas y necesidad de implementación de señalética***

La generación de recorrido turísticos involucra desarrollar medidas de protección para el medio natural y sus elementos, entonces, se realizaron vistas con empresas, agencias turísticas y autoridades para implementar medidas de acción para desarrollar y promocionar estos recorridos. Durante la ejecución del presente trabajo se visitaron los recorridos Glaciar Italia (figura 97) y Charquini.



Figura 97. Visita a la ruta Glaciar Italia

La visita a ambos lugares evidenció la necesidad de la implementación de señalética para desarrollar el recorrido y delimitar los espacios de recorrido para proteger y evitar daños a los diferentes elementos naturales presentes en cada sector. En el sector Charquini se realizaron trabajos comunitarios (figura 98) entre la Gobernación, empresas privadas y la comunidad para generar una ruta en la que los elementos geológicos y naturales no sean vulnerables.



Figura 98. Trabajo comunitario realizado en el sector Charquini

Capítulo V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El estudio geológico y la aplicación de la metodología para la evaluación de geositos y determinación del patrimonio geológico en el área de Milluni permiten concluir:

a. Respecto a la geología y geodiversidad del área de Milluni:

Las unidades litológicas identificadas en el área de Milluni son: la Formación Amurata del Ordovícico, las Formaciones Cancañiri, Llallagua, Uncía y Catavi del Silúrico, la Formación Tiquina del Triásico. Finalmente se encuentran los depósitos del Cuaternario correspondientes a las glaciaciones Sorata y Choqueyapu I y II, además de los recientes depósitos glaciares, fluviales y coluviales.

El magmatismo desarrollado durante el Triásico en el área está representado por el plutón Huayna Potosí ubicado al Norte del área y el pórfido granítico Chacaltaya en el sector oriental.

La configuración de la geología estructural del área de Milluni se debe a los eventos de deformación desarrollados durante el Fanerozoico: Deformación Andina y pre Andina. Los elementos estructurales que se registran en el área corresponden a pliegues y fallas que presentan una disposición geométrica Noroeste – Sureste, formados bajo un contexto tectónico compresivo.

Los diferentes procesos geomorfológicos desarrollados durante el Cuaternario son responsables del paisaje que se observa en la actualidad. Los procesos glaciares son los que resaltan dentro de la geomorfología de la cuenca, seguidos de los procesos periglaciares, fluviales y de movimiento en masa.

Las unidades litoestratigráficas, los elementos estructurales, los aspectos de la mineralización, las rocas ígneas y la geomorfología constituyen la variedad de rasgos geológicos que conforman la geodiversidad del área de Milluni.

A partir de la síntesis geológica y la variedad de rasgos geológicos, los geositos potenciales propuestos son: los glaciares Charquini, Italia y Zongo - Nevado Huayna Potosí, el valle glacial colgado de *Tajlla Willkhi*, el Glaciar de roca, morrenas Charquini, morrenas y lagunas glaciares de colores, las lagunas Esmeralda y Negra que corresponden a la categoría

de geomorfología. El geosítio plutón Huayna Potosí de la categoría petrología. Finalmente, los anticlinales *Poposani* y *Chacaltaya* que son de la categoría de geología estructural – tectónica,

Los geosítios potenciales propuestos son categorizados como sitios modélicos, sitios relacionados con la geología ambiental y procesos geológicos activos de épocas recientes y sitios representativos de la geología del área de Milluni.

b. Respecto a la aplicación del Modelo de Inventario Español de Lugares de Interés Geológicos para la valoración y cuantificación de los geosítios

La aplicación del modelo de inventario de geosítios permite reconocer el valor patrimonial de los geosítios, estableciendo los valores científico, didáctico y turístico de los mismo.

Los resultados de la **valoración científica** clasifican a los geosítios potenciales propuestos en tres categorías.

- Los geosítios Glaciar Italia, Valle glaciar colgado, laguna Esmeralda y negra son clasificados como geosítios con valor científico medio.
- Los geosítios Glaciar Charquini, Glaciar Zongo – Nevado Huayna Potosí, Glaciar de roca, morrenas Charquini, morrenas y lagunas de colores y los anticlinales Poposani y Chacaltaya son clasificados como geosítios con valor científico alto.
- El geosítio plutón Huayna Potosí es clasificado como geosítio de valor científico muy alto.

Esto se debe a los diferentes trabajos de investigación realizados en el área que incrementan el grado de conocimiento científico del lugar, además, de la representatividad, el estado de conservación y las óptimas condiciones de observación de los diferentes geosítios propuestos.

Los resultados de la **valoración didáctica** de los geosítios potenciales propuestos indican que el Glaciar Italia es categorizado como geosítio de valor didáctico medio. Los demás geosítios son categorizados como geosítios de valor didáctico alto debido a que los elementos geológicos del área de Milluni permiten la posibilidad de desarrollar programas de enseñanza en los diferentes niveles del sistema educativo y la sociedad en general.

Los resultados de la **valoración turística** clasifican a los geosítios potenciales propuestos como geosítios con valor turístico alto, asimismo, el geosítio morrenas y lagunas glaciares de colores obtiene una valoración turística muy alta. Los resultados son el reflejo de la

espectacularidad, el contenido didáctico y la accesibilidad a estos geositorios. Adicionalmente, en la zona existe un amplio desarrollo del turismo debido a sus cualidades paisajísticas.

Finalmente, tomando en cuenta que la valoración final se hace considerando el valor más alto, los geositorios propuestos para el área de Milluni son clasificados en dos clases:

- **Geositorios con alto valor patrimonial:** Glaciar Charquini, Glaciar Italia, Glaciar Zongo, Valle glaciar colgado, Glaciar de roca, Morrenas Charquini, laguna Esmeralda, laguna Negra y los anticlinales Poposani y Chacaltaya.
- **Geositorios con muy alto valor patrimonial:** Plutón Huayna Potosí y las morrenas – lagunas glaciares de colores.

Por lo tanto, los diferentes geositorios potenciales propuestos constituyen el patrimonio geológico del área de Milluni debido al alto valor intrínseco y alto potencial de uso para actividades educativas y recreativas.

c. Respecto a los parámetros de geoconservación

La evaluación de los parámetros de geoconservación del área de Milluni se determina mediante el análisis del riesgo de degradación debido a causas naturales y antrópicas.

Riesgo de degradación por causas naturales: La principal amenaza que puede modificar los geositorios es el proceso del cambio climático que pone en riesgo las masas de hielo y los cuerpos de agua. Los resultados de la valoración del riesgo de degradación por causas naturales muestran que los geositorios Glaciar Charquini, Italia y la laguna Esmeralda tienen un valor muy alto. Los geositorios Glaciar Zongo, morrenas – lagunas glaciares de colores y la laguna Negra tienen un valor alto. Los geositorios Glaciar de roca y morrenas Charquini presentan una valoración media. Finalmente, los geositorios valle glaciar colgado, plutón Huayna Potosí y los anticlinales Poposani y Chacaltaya tienen riesgo de degradación bajo.

Riesgo de degradación por causas antrópicas: Las diferentes amenazas antrópicas está relacionada a los recursos naturales disponibles y las actividades desarrolladas en el territorio. Los resultados de la valoración indican que los geositorios Glaciar Charquini, Glaciar de roca, Morrenas Charquini, Morrenas – lagunas glaciares de colores y la laguna Esmeralda tienen riesgo alto. Los geositorios Glaciar Italia, Glaciar Zongo, Valle glaciar colgado y laguna Negra tienen riesgos medio. finalmente, los geositorios plutón Huayna Potosí y los anticlinales Poposani y Chacaltaya tienen riesgo medio.

Las estrategias de geoconservación del área de Milluni deben combinar la investigación científica, la participación local, la administración pública, el desarrollo de actividades educativas y proyectos orientadas a la conservación y preservación de los geositios y los elementos geológicos del área, los mismos deben estar incluidos en los planes territoriales de desarrollo integral.

d. Respecto a la incorporación del área de Milluni para el desarrollo del turismo geológico

La gestión del patrimonio geológico y la geodiversidad involucra el desarrollo de cuatro etapas fundamentales: el inventario, la legislación, la geoconservación y la divulgación. En el presente trabajo se identificaron geositios potenciales que constituyen el patrimonio geológico del área. Por lo tanto, continúa promover normativas a nivel local y administrativo para iniciar la protección de la zona.

Los Planes Territoriales de Desarrollo Integral son la base para administrar y proyectar los posibles usos a los diferentes recursos del área de Milluni, asimismo, las actividades económicas estratégicas y los aspectos legales. Entonces, el turismo geológico – geoturismo es una alternativa que fortalece los recursos turísticos desarrollados en el área.

5.2. Recomendaciones

- Los geositorios potenciales propuestos pertenecen principalmente a la categoría de geomorfología, por tanto, las otras categorías requieren de trabajos complementarios (levantamientos de columnas, inventario de fósiles, análisis de laboratorio petrográfico – mineragráfico, entre otros), además, de asegurar proyectos y normas para su protección.
- La gestión adecuada del patrimonio geológico y los geositorios requiere generar proyectos orientados al cuidado del medio natural del área de Milluni.
- El Modelo de Inventario Español de Lugares de Interés Geológico aplicado para la evaluación de los diferentes geositorios debe ser adecuado a las características del medio principalmente por el grado de conocimiento científico del lugar, la representatividad, la infraestructura, la densidad poblacional y la accesibilidad. Debido a que los parámetros de evaluación pueden incidir en los resultados y descartar zonas con valor patrimonial debido al poco conocimiento geológico de una determinada zona, para ello, se deben comparar las metodologías de evaluación utilizados en otras regiones.
- Las instalaciones del Museo Metalúrgico ubicado en el Distrito 13 en Alto Milluni, constituye un espacio en que se debería ser aprovechado para mostrar las características geológicas de la zona con la generación de cuadros interpretativos, diagramas y otros recursos, además de albergar el patrimonio geológico mueble (muestras minerales, rocas, fósiles, etc.).
- Para fortalecer las rutas turísticas existentes y promover el geoturismo en los mismos, la generación de paneles informativos y proyectos educativos de capacitación y divulgación científica son las estrategias de base para iniciar la gestión del patrimonio geológico.
- Los Planes Territoriales de Desarrollo Integral deben incluir los aspectos relacionados a la gestión del patrimonio geológico.
- Según las categorías de riesgo se evidencia la necesidad de aplicar planes de corto plazo para aquellos geositorios con valoración alta y muy alta, los geositorios con riesgo medio requieren de planes a mediano plazo y los geositorios de riesgo bajo deben ser analizados según el contexto para determinar si se requiere de planes.

REFERENCIAS

- Arce - Burgoa, O. (2007). *Guía a los Yacimientos Metálicos de Bolivia* (Primera edición).
- Argollo, J. (1994). *Geología del Plio—Cuaternario de Bolivia*. UMSA - ORSTOM.
- Argollo, J., y Iriando, M. (2008). *Cuaternario de Bolivia y Regiones Vecinas*.
- Benedetto, J. (2018). *El continente Gondwana a través del Tiempo* (3°). Academia Nacional de Ciencias.
- Carcavilla, L., López-Martínez, J., y Durán Valsero, J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad: Investigación, conservación y relación con los espacios naturales protegidos*. En *Serie Cuadernos del Museo Geominero* (Vol. 7). 360 p.
- Carcavilla, L. (2014). Guía práctica para entender el patrimonio geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22(1), pp. 5-18.
- Carcavilla, L., Delvene, G., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, Á., Lozano Otero, G., Rábano, I., Sánchez, A., y Vegas, J. (2014). *Geodiversidad y patrimonio geológico*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2922.9607>
- Cordani, U., Iriarte, R., y Sato, K. (2019). Geochronological systematics of the Huayna Potosí, Zongo and Taquesi plutons, Cordillera Real of Bolivia, by the K/Ar, Rb/Sr and U/Pb methods. *Brazilian Journal of Geology*, 49. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201920190016>
- Dalenz-Farjat, A., Alvarez, L. A., & Hernández, R. M. (2002). *Cuenca Siluro-Devónica del Sur de Bolivia y el Noroeste Argentino. Algunas Interpretaciones*. 18 p.
- Díaz-Martínez, E., y Fernández-Martínez, E. (2015). El valor del patrimonio geológico: 1. Fundamentos y significado. *Cuadernos del Museo Geominero*, 18, p. 13-18.
- Dobrovolny, E. (1962). *Geología del valle de La Paz*. Ministerio de Minas y Petróleo.
- Dowling, R., y Newsome, D. (2006). Geotourism. *Annals of Tourism Research*, 33(2), 581-583. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2005.12.004>
- Fernández, S., y Thompson, C. (1995). *Carta Geológica de Bolivia—Hoja Milluni (5945)* [Mapa Geológico]. Servicio Geológico de Bolivia - GEOBOL.
- García Cortés, Á., Díaz - Martínez, E., y Vegas, J. (2018). *Documento metodológico para la elaboración del inventario Español de Lugares de Interés geológico (IELIG)*. Instituto Geológico y Minero de España. 61 p.

- Ginot, P., Litt, M., Leonardini, G., Ramallo, C., Cerutti, A., Rojas, F., Fuertes, R., y Mendoza Rodríguez, J. (2010). Cuencas glaciares Zongo - Chacaltaya - Charquini Sur, Bolivia 16°S: Mediciones glaciológicas, hidrológicas y meteorológicas, año hidrológico 2008-2009. *Informe IRD - IHH - SENAMHI*. 93 p.
- Gorinova, E., Jiménez, N., Alarcón, H., Toro, M., y Vargas, C. (2006). Estudio petrológico y geoquímico de los granitoides mesozoicos de la zona de Huayna Potosí—Zongo. *Memorias del XVII Congreso Geológico Boliviano*, pp. 99-102.
- Gutierrez, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación, 920 p.
- Jiménez, N., López-Velásquez, S., y Santivañez, R. (2009). *Evolución tectomagmática de los Andes bolivianos*. pp. 36-67.
- Lehmann, B. (1977). *Milluni* [Mapa Geológico].
- Leonardini, G., Sicart, J.-E., Rabatel, A., Soruco, A., Ginot, P., y Ramirez, E. (2012). Análisis del balance de masa mensual y anual del glaciar tropical de Zongo (Bolivia). *Revista Boliviana de Física*, pp. 6-11.
- Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad., España - Jefatura del Estado, BOE-A-2007-21490 116 (2007).
- Ley del Medio ambiente, N.º 1333, Bolivia - Honorable Congreso Nacional (1992).
- Ley del Patrimonio Cultural Boliviano, N.º 530, Bolivia - Asamblea Legislativa Plurinacional (2014).
- Ley del Sistema de Planificación Integral del Estado Plurinacional de Bolivia, Nro. 777, Bolivia - Asamblea Legislativa Plurinacional (2016).
- Mayta, R. (2014). *Estudio geoquímico de compuestos de arsénico en sedimentos cuaternarios del Valle Milluni* [Tesis de Pre grado]. Universidad Mayor de San Andrés. 85 p.
- Meléndez, G., Moreira, J., y Carcavilla, L. (2017). Geoturismo: El paso de un recurso a un atractivo Geoturismo: o passo de um recurso a um atrativo Geoturism: the Step from a Resource to an Attraction. *Terr@ Plural*, 327-337. <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.11i2.0010>
- Meneses, R., Loza Herrera, S., Domic, A., Palabral-Aguilera, A., Zeballos, G., y Ortuño, T. (2015). *Bofedales altoandinos*. pp. 191-205
- Miranda, A., Arancibia, H., y Quispe, R. (2010). *Reconocimiento del patrimonio geológico y minero de la región de Milluni en La Paz Bolivia*. pp. 73-84.

- Moreira, J., Meléndez, G., y Soria, M. (2009). Geoturismo: ¿Explicación de la Geología al público o la Geología como foco de atracción turística? Ejemplos del desarrollo del Geoturismo en Brasil (Estado de Paraná) y España (Comunidad Autónoma de Aragón). *Encuentro Paranaense de Investigadores En Hotelería y Turismo*, 11 p.
- Poch, J. (2019). *Revisión y propuesta de mejora del modelo de gestión de la geodiversidad de los geoparques mundiales de la UNESCO* [Tesis Doctoral]. Universidad Autónoma de Barcelona. 320 p.
- Rabatel, A., Jomelli, V., Naveau, P., Francou, B., y Grancher, D. (2005). Dating of Little Ice Age glacier fluctuations in the tropical Andes: Charquini glaciers, Bolivia, 16°S. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(15), pp. 1311-1322. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2005.07.009>
- Rangecroft, S. (2015). Glaciares de roca y cambio climático en los Andes Bolivianos: Cartografía de nuevos recursos hídricos. *Informes de investigación de OXFAM*, 18 p.
- Sadry, B. N. (2009). *Fundamentals of Geotourism With a Special Emphasis on Iran*. pp. 148 - 186.
- Salvarredy-Aranguren, M. M., Probst, A., & Roulet, M. (2009). *Evidencias sedimentarias y geoquímicas de la Pequeña edad de Hielo en el Lago Milluni Grande del Altiplano Boliviano*. pp. 660 - 673.
- Sánchez, A. (1977). *Estudio geológico—Petrográfico del área de Chacaltaya* [Tesis de Pre grado]. Universidad Mayor de San Andrés. 70 p.
- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornari, M., Carlotto, V., Javier, J., Arispe, O., Néraudeau, D., Cárdenas, J., Rosas, S., y Jiménez, N. (2002). Late Permian–Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics. *Tectonophysics*, 345, pp. 153-181. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00211-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00211-6)
- Soruco, Á., Vincent, C., Francou, B., y Rabatel, A. (2014). *Comparación de métodos para estimar el balance de masa del glaciar de Zongo, Bolivia. (16° S, 68° O)*. pp. 154-165.
- Torrez, K. (2010). *Turismo alternativo sostenible ante la minería en la región de Milluni (La Paz - Bolivia)*. pp. 201-208.
- Valderrama, G. J., Garrido, M. L., & Torrejón, A. C. (2017). *Guía para el uso sostenible del Patrimonio Geológico de Andalucía*. 100 p.

ANEXOS

Anexo 01. Tabla de valoración de los geositios

Anexo 02. Mapa geológico - Milluni Escala 1 : 30.000

Anexo 03. Mapa geomorfológico Milluni Escala - 1 : 30.000

Anexo 04. Mapa de ubicación de geositios potenciales – Milluni 1 : 30.000

Anexo 04. Mapa de rutas turísticas del área de Milluni Escala 1 : 50.000

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geositio - 01		GLACIAR CHARQUINI SUR						
Parámetros		Puntuación	Valor					
			VC		VD		VTR	
			%	VC	%	VC	%	VC
Representatividad	R	1	30	30	5	5	0	0
Grado de conocimiento científico del lugar	K	4	15	60	0	0	0	0
Rareza	A	1	15	15	5	5	0	0
Carácter localidad tipo	T	1	10	10	5	5	0	0
Estado de conservación	C	4	10	40	5	20	0	0
Condiciones de observación	O	4	10	40	5	20	5	20
Diversidad geológica	D	2	10	20	10	20	0	0
Contenido didáctico / uso didáctico	C_{DD}	2	0	0	20	40	0	0
Infraestructura logística	I_L	1	0	0	15	15	5	5
Accesibilidad	A_C	1	0	0	10	10	10	10
Espectacularidad o belleza	B	2	0	0	5	10	20	40
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	E	2	0	0	5	10	15	30
Contenido divulgativo / uso divulgativo	C_{DV}	2	0	0	0	0	15	30
Entorno socioeconómico	E_S	2	0	0	0	0	10	20
Densidad de población	D_P	4	0	0	5	20	5	20
Asociación con elementos eco-culturales	N_H	1	0	0	5	5	5	5
Potencialidad para realizar actividades	P_{TR}	2	0	0	0	0	5	10
Cercanía a zonas recreativas	Z_R	1	0	0	0	0	5	5
Total %s			100	215	100	185	100	195

VC	Valor Científico	215	5.38
VD	Valor Didáctico	185	4.63
VTR	Valor Turístico	195	4.88
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geosito - 01				
GLACIAR CHARQUINI SUR				
Factor de tamaño del geosito	<i>Ef</i>	0.015		
Fragilidad	<i>F</i>	20		
Amenazas naturales	<i>An</i>	20		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	<i>Vm</i>	4	25	100
Vulnerabilidad al expolio	<i>Vex</i>	1	25	25
Proximidad a actividades o infraestructura	<i>Vi</i>	1	15	15
Accesibilidad	<i>Ac</i>	1	10	10
Régimen de protección	<i>R</i>	2	5	10
Protección física o indirecta	<i>Rp</i>	2	5	10
Titularidad del suelo y régimen de acceso	<i>Ts</i>	4	5	20
Densidad de población	<i>Ds</i>	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	<i>Zr</i>	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	<i>Vn</i>	400		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	<i>Va</i>	215		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	<i>Sdn</i>	6		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	<i>Sda</i>	3.225		

Valor Científico	<i>Vc</i>	215	5.375
Valor Didáctico	<i>Vd</i>	185	4.625
Valor Turístico	<i>Vt</i>	195	4.875

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$			
Riesgo de degradación natural y valor científico	<i>Rdnc</i>	3.23	3.23
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	<i>Rdnd</i>	2.78	
Riesgo de degradación natural y valor turístico	<i>Rdnt</i>	2.93	
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	<i>Rdac</i>	1.73	1.73
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	<i>Rdad</i>	1.49	
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	<i>Rdat</i>	1.57	

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geosito - 02		GLACIAR ITALIA						
Parámetros		Puntuación	Valor					
			VC		VD		VTR	
			%	VC	%	VC	%	VC
Representatividad	R	1	30	30	5	5	0	0
Grado de conocimiento científico del lugar	K	0	15	0	0	0	0	0
Rareza	A	0	15	0	5	0	0	0
Carácter localidad tipo	T	1	10	10	5	5	0	0
Estado de conservación	C	2	10	20	5	10	0	0
Condiciones de observación	O	4	10	40	5	20	5	20
Diversidad geológica	D	1	10	10	10	10	0	0
Contenido didáctico / uso didáctico	C_{DD}	1	0	0	20	20	0	0
Infraestructura logística	I_L	1	0	0	15	15	5	5
Accesibilidad	A_C	0	0	0	10	0	10	0
Espectacularidad o belleza	B	1	0	0	5	5	20	20
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	E	2	0	0	5	10	15	30
Contenido divulgativo / uso divulgativo	C_{DV}	2	0	0	0	0	15	30
Entorno socioeconómico	E_S	2	0	0	0	0	10	20
Densidad de población	D_P	4	0	0	5	20	5	20
Asociación con elementos eco-culturales	N_H	2	0	0	5	10	5	10
Potencialidad para realizar actividades	P_{TR}	4	0	0	0	0	5	20
Cercanía a zonas recreativas	Z_R	1	0	0	0	0	5	5
Total %s			100	110	100	130	100	180

VC	Valor Científico	110	2.75
VD	Valor Didáctico	130	3.25
VTR	Valor Turístico	180	4.50
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geositio - 02				
GLACIAR ITALIA				
Factor de tamaño del geositio	<i>Ef</i>	0.015		
Fragilidad	<i>F</i>	20		
Amenazas naturales	<i>An</i>	20		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	<i>Vm</i>	2	25	50
Vulnerabilidad al expolio	<i>Vex</i>	0	25	0
Proximidad a actividades o infraestructura	<i>Vi</i>	1	15	15
Accesibilidad	<i>Ac</i>	0	10	0
Régimen de protección	<i>R</i>	2	5	10
Protección física o indirecta	<i>Rp</i>	4	5	20
Titularidad del suelo y régimen de acceso	<i>Ts</i>	4	5	20
Densidad de población	<i>Ds</i>	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	<i>Zr</i>	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	<i>Vn</i>	400		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	<i>Va</i>	140		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	<i>Sdn</i>	6		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	<i>Sda</i>	2.1		

Valor Científico	<i>Vc</i>	110	2.75
Valor Didáctico	<i>Vd</i>	130	3.25
Valor Turístico	<i>Vt</i>	180	4.5

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$				
Riesgo de degradación natural y valor científico	<i>Rdnc</i>	1.65	2.70	
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	<i>Rdnd</i>	1.95		
Riesgo de degradación natural y valor turístico	<i>Rdnt</i>	2.70		
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	<i>Rdac</i>	0.58	0.95	
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	<i>Rdad</i>	0.68		
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	<i>Rdat</i>	0.95		

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geosito - 03		GLACIAR ZONGO - NEVADO HUAYNA POTOSÍ						
Parámetros		Puntuación	Valor					
			VC		VD		VTR	
			%	VC	%	VC	%	VC
Representatividad	<i>R</i>	2	30	60	5	10	0	0
Grado de conocimiento científico del lugar	<i>K</i>	4	15	60	0	0	0	0
Rareza	<i>A</i>	1	15	15	5	5	0	0
Carácter localidad tipo	<i>T</i>	1	10	10	5	5	0	0
Estado de conservación	<i>C</i>	4	10	40	5	20	0	0
Condiciones de observación	<i>O</i>	4	10	40	5	20	5	20
Diversidad geológica	<i>D</i>	1	10	10	10	10	0	0
Contenido didáctico / uso didáctico	<i>C_{DD}</i>	2	0	0	20	40	0	0
Infraestructura logística	<i>I_L</i>	2	0	0	15	30	5	10
Accesibilidad	<i>A_C</i>	1	0	0	10	10	10	10
Espectacularidad o belleza	<i>B</i>	2	0	0	5	10	20	40
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	<i>E</i>	4	0	0	5	20	15	60
Contenido divulgativo / uso divulgativo	<i>C_{DV}</i>	1	0	0	0	0	15	15
Entorno socioeconómico	<i>E_S</i>	2	0	0	0	0	10	20
Densidad de población	<i>D_P</i>	4	0	0	5	20	5	20
Asociación con elementos eco-culturales	<i>N_H</i>	2	0	0	5	10	5	10
Potencialidad para realizar actividades	<i>P_{TR}</i>	4	0	0	0	0	5	20
Cercanía a zonas recreativas	<i>Z_R</i>	1	0	0	0	0	5	5
Total %s			100	235	100	210	100	230

VC	Valor Científico	235	5.88
VD	Valor Didáctico	210	5.25
VTR	Valor Turístico	230	5.75
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositios

Geositio - 03				
GLACIAR ZONGO - NEVADO HUAYNA POTOSÍ				
Factor de tamaño del geositio	Ef	0.0075		
Fragilidad	F	20		
Amenazas naturales	An	20		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	Vm	2	25	50
Vulnerabilidad al expolio	Vex	1	25	25
Proximidad a actividades o infraestructura	Vi	1	15	15
Accesibilidad	Ac	1	10	10
Régimen de protección	R	2	5	10
Protección física o indirecta	Rp	0	5	0
Titularidad del suelo y régimen de acceso	Ts	1	5	5
Densidad de población	Ds	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	Zr	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	Vn	400		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	Va	140		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	Sdn	3		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	Sda	1.05		

Valor Científico	Vc	235	5.875
Valor Didáctico	Vd	210	5.25
Valor Turístico	Vt	230	5.75

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$			
Riesgo de degradación natural y valor científico	Rdnc	1.76	1.76
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	Rdnd	1.58	
Riesgo de degradación natural y valor turístico	Rdnt	1.73	
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	Rdac	0.62	0.62
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	Rdad	0.55	
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	Rdat	0.60	

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geosito - 04		VALLE GLACIAR COLGADO TAJLLA WILLKHI							
Parámetros		Puntuación	Valor						
			VC		VD		VTR		
			%	VC	%	VC	%	VC	
Representatividad	R	0	30	0	5	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar	K	0	15	0	0	0	0	0	
Rareza	A	1	15	15	5	5	0	0	
Carácter localidad tipo	T	0	10	0	5	0	0	0	
Estado de conservación	C	4	10	40	5	20	0	0	
Condiciones de observación	O	4	10	40	5	20	5	20	
Diversidad geológica	D	1	10	10	10	10	0	0	
Contenido didáctico / uso didáctico	C_{DD}	1	0	0	20	20	0	0	
Infraestructura logística	I_L	1	0	0	15	15	5	5	
Accesibilidad	A_C	1	0	0	10	10	10	10	
Espectacularidad o belleza	B	1	0	0	5	5	20	20	
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	E	4	0	0	5	20	15	60	
Contenido divulgativo / uso divulgativo	C_{DV}	1	0	0	0	0	15	15	
Entorno socioeconómico	E_S	2	0	0	0	0	10	20	
Densidad de población	D_P	4	0	0	5	20	5	20	
Asociación con elementos eco-culturales	N_H	4	0	0	5	20	5	20	
Potencialidad para realizar actividades	P_{TR}	1	0	0	0	0	5	5	
Cercanía a zonas recreativas	Z_R	1	0	0	0	0	5	5	
Total %s			100	105	100	165	100	200	

VC	Valor Científico	105	2.63
VD	Valor Didáctico	165	4.13
VTR	Valor Turístico	200	5.00
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geositio - 04				
VALE GLACIAR COLGADO TAJLLA WILLKHI				
Factor de tamaño del geositio	<i>Ef</i>	0.0075		
Fragilidad	<i>F</i>	10		
Amenazas naturales	<i>An</i>	5		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	<i>Vm</i>	2	25	50
Vulnerabilidad al expolio	<i>Vex</i>	2	25	50
Proximidad a actividades o infraestructura	<i>Vi</i>	2	15	30
Accesibilidad	<i>Ac</i>	1	10	10
Régimen de protección	<i>R</i>	2	5	10
Protección física o indirecta	<i>Rp</i>	4	5	20
Titularidad del suelo y régimen de acceso	<i>Ts</i>	4	5	20
Densidad de población	<i>Ds</i>	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	<i>Zr</i>	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	<i>Vn</i>	50		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	<i>Va</i>	215		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	<i>Sdn</i>	0.375		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	<i>Sda</i>	1.6125		

Valor Científico	<i>Vc</i>	105	2.625
Valor Didáctico	<i>Vd</i>	165	4.125
Valor Turístico	<i>Vt</i>	200	5

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$				
Riesgo de degradación natural y valor científico	<i>Rdnc</i>	0.10	0.19	
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	<i>Rdnd</i>	0.15		
Riesgo de degradación natural y valor turístico	<i>Rdnt</i>	0.19		
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	<i>Rdac</i>	0.42	0.81	
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	<i>Rdad</i>	0.67		
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	<i>Rdat</i>	0.81		

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geosito - 05		GLACIAR DE ROCA						
Parámetros		Puntuación	Valor					
			VC		VD		VTR	
			%	VC	%	VC	%	VC
Representatividad	R	2	30	60	5	10	0	0
Grado de conocimiento científico del lugar	K	4	15	60	0	0	0	0
Rareza	A	1	15	15	5	5	0	0
Carácter localidad tipo	T	1	10	10	5	5	0	0
Estado de conservación	C	4	10	40	5	20	0	0
Condiciones de observación	O	4	10	40	5	20	5	20
Diversidad geológica	D	1	10	10	10	10	0	0
Contenido didáctico / uso didáctico	C_{DD}	1	0	0	20	20	0	0
Infraestructura logística	I_L	1	0	0	15	15	5	5
Accesibilidad	A_C	1	0	0	10	10	10	10
Espectacularidad o belleza	B	2	0	0	5	10	20	40
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	E	2	0	0	5	10	15	30
Contenido divulgativo / uso divulgativo	C_{DV}	1	0	0	0	0	15	15
Entorno socioeconómico	E_S	2	0	0	0	0	10	20
Densidad de población	D_P	4	0	0	5	20	5	20
Asociación con elementos eco-culturales	N_H	4	0	0	5	20	5	20
Potencialidad para realizar actividades	P_{TR}	4	0	0	0	0	5	20
Cercanía a zonas recreativas	Z_R	1	0	0	0	0	5	5
Total %s			100	235	100	175	100	205

VC	Valor Científico	235	5.88
VD	Valor Didáctico	175	4.38
VTR	Valor Turístico	205	5.13
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geositio - 05				
GLACIAR DE ROCA				
Factor de tamaño del geositio	<i>Ef</i>	0.0075		
Fragilidad	<i>F</i>	20		
Amenazas naturales	<i>An</i>	10		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	<i>Vm</i>	4	25	100
Vulnerabilidad al expolio	<i>Vex</i>	2	25	50
Proximidad a actividades o infraestructura	<i>Vi</i>	1	15	15
Accesibilidad	<i>Ac</i>	1	10	10
Régimen de protección	<i>R</i>	2	5	10
Protección física o indirecta	<i>Rp</i>	1	5	5
Titularidad del suelo y régimen de acceso	<i>Ts</i>	4	5	20
Densidad de población	<i>Ds</i>	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	<i>Zr</i>	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	<i>Vn</i>	200		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	<i>Va</i>	235		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	<i>Sdn</i>	1.5		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	<i>Sda</i>	1.7625		

Valor Científico	<i>Vc</i>	235	5.875
Valor Didáctico	<i>Vd</i>	175	4.375
Valor Turístico	<i>Vt</i>	205	5.125

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$			
Riesgo de degradación natural y valor científico	<i>Rdnc</i>	0.88	0.88
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	<i>Rdnd</i>	0.66	
Riesgo de degradación natural y valor turístico	<i>Rdnt</i>	0.77	
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	<i>Rdac</i>	1.04	1.04
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	<i>Rdad</i>	0.77	
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	<i>Rdat</i>	0.90	

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositios

Geositio - 06		MORRENAS CHARQUINI						
Parámetros		Puntuación	Valor					
			VC		VD		VTR	
			%	VC	%	VC	%	VC
Representatividad	R	2	30	60	5	10	0	0
Grado de conocimiento científico del lugar	K	4	15	60	0	0	0	0
Rareza	A	1	15	15	5	5	0	0
Carácter localidad tipo	T	1	10	10	5	5	0	0
Estado de conservación	C	2	10	20	5	10	0	0
Condiciones de observación	O	4	10	40	5	20	5	20
Diversidad geológica	D	1	10	10	10	10	0	0
Contenido didáctico / uso didáctico	C_{DD}	1	0	0	20	20	0	0
Infraestructura logística	I_L	1	0	0	15	15	5	5
Accesibilidad	A_C	1	0	0	10	10	10	10
Espectacularidad o belleza	B	1	0	0	5	5	20	20
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	E	2	0	0	5	10	15	30
Contenido divulgativo / uso divulgativo	C_{DV}	2	0	0	0	0	15	30
Entorno socioeconómico	E_S	2	0	0	0	0	10	20
Densidad de población	D_P	4	0	0	5	20	5	20
Asociación con elementos eco-culturales	N_H	4	0	0	5	20	5	20
Potencialidad para realizar actividades	P_{TR}	2	0	0	0	0	5	10
Cercanía a zonas recreativas	Z_R	1	0	0	0	0	5	5
Total %s			100	215	100	160	100	190

VC	Valor Científico	215	5.38
VD	Valor Didáctico	160	4.00
VTR	Valor Turístico	190	4.75
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geosito - 06				
MORRENAS CHARQUINI				
Factor de tamaño del geosito	Ef	0.015		
Fragilidad	F	20		
Amenazas naturales	An	5		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	Vm	1	25	25
Vulnerabilidad al expolio	Vex	1	25	25
Proximidad a actividades o infraestructura	Vi	1	15	15
Accesibilidad	Ac	1	10	10
Régimen de protección	R	2	5	10
Protección física o indirecta	Rp	4	5	20
Titularidad del suelo y régimen de acceso	Ts	4	5	20
Densidad de población	Ds	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	Zr	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	Vn	100		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	Va	150		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	Sdn	1.5		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	Sda	2.25		

Valor Científico	Vc	215	5.375
Valor Didáctico	Vd	185	4.625
Valor Turístico	Vt	195	4.875

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$			
Riesgo de degradación natural y valor científico	Rdnc	0.81	0.81
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	Rdnd	0.69	
Riesgo de degradación natural y valor turístico	Rdnt	0.73	
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	Rdac	1.21	1.21
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	Rdad	1.04	
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	Rdat	1.10	

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositios

Geositio - 07		MORRENAS Y LAGUNAS GLACIARES DE COLORES							
Parámetros		Puntuación	Valor						
			VC		VD		VTR		
			%	VC	%	VC	%	VC	
Representatividad	R	2	30	60	5	10	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar	K	4	15	60	0	0	0	0	
Rareza	A	1	15	15	5	5	0	0	
Carácter localidad tipo	T	2	10	20	5	10	0	0	
Estado de conservación	C	2	10	20	5	10	0	0	
Condiciones de observación	O	4	10	40	5	20	5	20	
Diversidad geológica	D	4	10	40	10	40	0	0	
Contenido didáctico / uso didáctico	C_{DD}	2	0	0	20	40	0	0	
Infraestructura logística	I_L	1	0	0	15	15	5	5	
Accesibilidad	A_C	1	0	0	10	10	10	10	
Espectacularidad o belleza	B	4	0	0	5	20	20	80	
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	E	4	0	0	5	20	15	60	
Contenido divulgativo / uso divulgativo	C_{DV}	2	0	0	0	0	15	30	
Entorno socioeconómico	E_S	2	0	0	0	0	10	20	
Densidad de población	D_P	4	0	0	5	20	5	20	
Asociación con elementos eco-culturales	N_H	4	0	0	5	20	5	20	
Potencialidad para realizar actividades	P_{TR}	4	0	0	0	0	5	20	
Cercanía a zonas recreativas	Z_R	1	0	0	0	0	5	5	
Total %s			100	255	100	240	100	290	

VC	Valor Científico	255	6.38
VD	Valor Didáctico	240	6.00
VTR	Valor Turístico	290	7.25
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositios

Geositio - 07				
MORRENAS Y LAGUNAS GLACIARES DE COLORES				
Factor de tamaño del geositio	Ef	0.0075		
Fragilidad	F	20		
Amenazas naturales	An	20		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	Vm	4	25	100
Vulnerabilidad al expolio	Vex	4	25	100
Proximidad a actividades o infraestructura	Vi	4	15	60
Accesibilidad	Ac	1	10	10
Régimen de protección	R	2	5	10
Protección física o indirecta	Rp	4	5	20
Titularidad del suelo y régimen de acceso	Ts	4	5	20
Densidad de población	Ds	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	Zr	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	Vn	400		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	Va	345		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	Sdn	3		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	Sda	2.5875		

Valor Científico	Vc	255	6.375
Valor Didáctico	Vd	240	6
Valor Turístico	Vt	290	7.25

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$				
Riesgo de degradación natural y valor científico	Rdnc	1.91	2.18	
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	Rdnd	1.80		
Riesgo de degradación natural y valor turístico	Rdnt	2.18		
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	Rdac	1.65	1.88	
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	Rdad	1.55		
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	Rdat	1.88		

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geositio - 08		GLACIAR LAGUNA ESMERALDA						
Parámetros		Puntuación	Valor					
			VC		VD		VTR	
			%	VC	%	VC	%	VC
Representatividad	R	1	30	30	5	5	0	0
Grado de conocimiento científico del lugar	K	0	15	0	0	0	0	0
Rareza	A	0	15	0	5	0	0	0
Carácter localidad tipo	T	1	10	10	5	5	0	0
Estado de conservación	C	4	10	40	5	20	0	0
Condiciones de observación	O	4	10	40	5	20	5	20
Diversidad geológica	D	0	10	0	10	0	0	0
Contenido didáctico / uso didáctico	C_{DD}	1	0	0	20	20	0	0
Infraestructura logística	I_L	1	0	0	15	15	5	5
Accesibilidad	A_C	1	0	0	10	10	10	10
Espectacularidad o belleza	B	2	0	0	5	10	20	40
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	E	1	0	0	5	5	15	15
Contenido divulgativo / uso divulgativo	C_{DV}	2	0	0	0	0	15	30
Entorno socioeconómico	E_S	2	0	0	0	0	10	20
Densidad de población	D_P	4	0	0	5	20	5	20
Asociación con elementos eco-culturales	N_H	1	0	0	5	5	5	5
Potencialidad para realizar actividades	P_{TR}	2	0	0	0	0	5	10
Cercanía a zonas recreativas	Z_R	1	0	0	0	0	5	5
Total %s			100	120	100	135	100	180

VC	Valor Científico	120	3.00
VD	Valor Didáctico	135	3.38
VTR	Valor Turístico	180	4.50
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geositio - 03				
LAGUNA ESMERALDA				
Factor de tamaño del geositio	Ef	0.015		
Fragilidad	F	20		
Amenazas naturales	An	20		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	Vm	2	25	50
Vulnerabilidad al expolio	Vex	0	25	0
Proximidad a actividades o infraestructura	Vi	1	15	15
Accesibilidad	Ac	1	10	10
Régimen de protección	R	2	5	10
Protección física o indirecta	Rp	4	5	20
Titularidad del suelo y régimen de acceso	Ts	4	5	20
Densidad de población	Ds	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	Zr	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	Vn	400		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	Va	150		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	Sdn	6		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	Sda	2.25		

Valor Científico	Vc	120	3
Valor Didáctico	Vd	135	3.375
Valor Turístico	Vt	180	4.5

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$			
Riesgo de degradación natural y valor científico	Rdnc	1.80	2.70
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	Rdnd	2.03	
Riesgo de degradación natural y valor turístico	Rdnt	2.70	
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	Rdac	0.68	1.01
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	Rdad	0.76	
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	Rdat	1.01	

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geosítio - 09		LAGUNA NEGRA - AYLLAICA						
Parámetros		Puntuación	Valor					
			VC		VD		VTR	
			%	VC	%	VC	%	VC
Representatividad	R	1	30	30	5	5	0	0
Grado de conocimiento científico del lugar	K	1	15	15	0	0	0	0
Rareza	A	0	15	0	5	0	0	0
Carácter localidad tipo	T	0	10	0	5	0	0	0
Estado de conservación	C	2	10	20	5	10	0	0
Condiciones de observación	O	4	10	40	5	20	5	20
Diversidad geológica	D	1	10	10	10	10	0	0
Contenido didáctico / uso didáctico	C_{DD}	1	0	0	20	20	0	0
Infraestructura logística	I_L	1	0	0	15	15	5	5
Accesibilidad	A_C	1	0	0	10	10	10	10
Espectacularidad o belleza	B	2	0	0	5	10	20	40
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	E	1	0	0	5	5	15	15
Contenido divulgativo / uso divulgativo	C_{DV}	1	0	0	0	0	15	15
Entorno socioeconómico	E_S	2	0	0	0	0	10	20
Densidad de población	D_P	4	0	0	5	20	5	20
Asociación con elementos eco-culturales	N_H	4	0	0	5	20	5	20
Potencialidad para realizar actividades	P_{TR}	4	0	0	0	0	5	20
Cercanía a zonas recreativas	Z_R	1	0	0	0	0	5	5
Total %s			100	115	100	145	100	190

VC	Valor Científico	115	2.88
VD	Valor Didáctico	145	3.63
VTR	Valor Turístico	190	4.75
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geositio - 09				
LAGUNA NEGRA - AYLLAICA				
Factor de tamaño del geositio	Ef	0.0075		
Fragilidad	F	20		
Amenazas naturales	An	20		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	Vm	4	25	100
Vulnerabilidad al expolio	Vex	2	25	50
Proximidad a actividades o infraestructura	Vi	1	15	15
Accesibilidad	Ac	1	10	10
Régimen de protección	R	4	5	20
Protección física o indirecta	Rp	4	5	20
Titularidad del suelo y régimen de acceso	Ts	4	5	20
Densidad de población	Ds	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	Zr	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	Vn	400		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	Va	260		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	Sdn	3		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	Sda	1.95		

Valor Científico	Vc	115	2.875
Valor Didáctico	Vd	145	3.625
Valor Turístico	Vt	190	4.75

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$			
Riesgo de degradación natural y valor científico	Rdnc	0.86	1.43
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	Rdnd	1.09	
Riesgo de degradación natural y valor turístico	Rdnt	1.43	
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	Rdac	0.56	0.93
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	Rdad	0.71	
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	Rdat	0.93	

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geosito - 10		PLUTÓN HUAYNA POTOSÍ						
Parámetros		Puntuación	Valor					
			VC		VD		VTR	
			%	VC	%	VC	%	VC
Representatividad	<i>R</i>	2	30	60	5	10	0	0
Grado de conocimiento científico del lugar	<i>K</i>	4	15	60	0	0	0	0
Rareza	<i>A</i>	2	15	30	5	10	0	0
Carácter localidad tipo	<i>T</i>	2	10	20	5	10	0	0
Estado de conservación	<i>C</i>	4	10	40	5	20	0	0
Condiciones de observación	<i>O</i>	4	10	40	5	20	5	20
Diversidad geológica	<i>D</i>	2	10	20	10	20	0	0
Contenido didáctico / uso didáctico	<i>C_{DD}</i>	1	0	0	20	20	0	0
Infraestructura logística	<i>I_L</i>	1	0	0	15	15	5	5
Accesibilidad	<i>A_C</i>	1	0	0	10	10	10	10
Espectacularidad o belleza	<i>B</i>	2	0	0	5	10	20	40
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	<i>E</i>	4	0	0	5	20	15	60
Contenido divulgativo / uso divulgativo	<i>C_{DV}</i>	1	0	0	0	0	15	15
Entorno socioeconómico	<i>E_S</i>	2	0	0	0	0	10	20
Densidad de población	<i>D_P</i>	4	0	0	5	20	5	20
Asociación con elementos eco-culturales	<i>N_H</i>	4	0	0	5	20	5	20
Potencialidad para realizar actividades	<i>P_{TR}</i>	2	0	0	0	0	5	10
Cercanía a zonas recreativas	<i>Z_R</i>	1	0	0	0	0	5	5
Total %s			100	270	100	205	100	225

VC	Valor Científico	270	6.75
VD	Valor Didáctico	205	5.13
VTR	Valor Turístico	225	5.63
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geosito - 10				
PLUTÓN HUAYNA POTOSÍ				
Factor de tamaño del geosito	<i>Ef</i>	0.0025		
Fragilidad	<i>F</i>	1		
Amenazas naturales	<i>An</i>	1		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	<i>Vm</i>	2	25	50
Vulnerabilidad al expolio	<i>Vex</i>	2	25	50
Proximidad a actividades o infraestructura	<i>Vi</i>	1	15	15
Accesibilidad	<i>Ac</i>	1	10	10
Régimen de protección	<i>R</i>	2	5	10
Protección física o indirecta	<i>Rp</i>	4	5	20
Titularidad del suelo y régimen de acceso	<i>Ts</i>	4	5	20
Densidad de población	<i>Ds</i>	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	<i>Zr</i>	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	<i>Vn</i>	1		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	<i>Va</i>	200		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	<i>Sdn</i>	0.0025		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	<i>Sda</i>	0.5		

Valor Científico	<i>Vc</i>	270	6.75
Valor Didáctico	<i>Vd</i>	205	5.13
Valor Turístico	<i>Vt</i>	225	5.63

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$			
Riesgo de degradación natural y valor científico	<i>Rdnc</i>	0.00	0.00
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	<i>Rdnd</i>	0.00	
Riesgo de degradación natural y valor turístico	<i>Rdnt</i>	0.00	
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	<i>Rdac</i>	0.34	0.34
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	<i>Rdad</i>	0.26	
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	<i>Rdat</i>	0.28	

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositios

Geositio - 11		ANTICLINAL POPOSANI						
Parámetros		Puntuación	Valor					
			VC		VD		VTR	
			%	VC	%	VC	%	VC
Representatividad	R	1	30	30	5	5	0	0
Grado de conocimiento científico del lugar	K	1	15	15	0	0	0	0
Rareza	A	0	15	0	5	0	0	0
Carácter localidad tipo	T	1	10	10	5	5	0	0
Estado de conservación	C	4	10	40	5	20	0	0
Condiciones de observación	O	4	10	40	5	20	5	20
Diversidad geológica	D	2	10	20	10	20	0	0
Contenido didáctico / uso didáctico	C_{DD}	1	0	0	20	20	0	0
Infraestructura logística	I_L	1	0	0	15	15	5	5
Accesibilidad	A_C	1	0	0	10	10	10	10
Espectacularidad o belleza	B	1	0	0	5	5	20	20
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	E	4	0	0	5	20	15	60
Contenido divulgativo / uso divulgativo	C_{DV}	1	0	0	0	0	15	15
Entorno socioeconómico	E_S	2	0	0	0	0	10	20
Densidad de población	D_P	4	0	0	5	20	5	20
Asociación con elementos eco-culturales	N_H	4	0	0	5	20	5	20
Potencialidad para realizar actividades	P_{TR}	1	0	0	0	0	5	5
Cercanía a zonas recreativas	Z_R	1	0	0	0	0	5	5
Total %s			100	155	100	180	100	200

VC	Valor Científico	155	3.88
VD	Valor Didáctico	180	4.50
VTR	Valor Turístico	200	5.00
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

Geosito - 11				
ANTICLINAL POPOSANI				
Factor de tamaño del geosito	Ef	0.0025		
Fragilidad	F	5		
Amenazas naturales	An	5		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	Vm	4	25	100
Vulnerabilidad al expolio	Vex	4	25	100
Proximidad a actividades o infraestructura	Vi	0	15	0
Accesibilidad	Ac	1	10	10
Régimen de protección	R	2	5	10
Protección física o indirecta	Rp	4	5	20
Titularidad del suelo y régimen de acceso	Ts	4	5	20
Densidad de población	Ds	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	Zr	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	Vn	25		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	Va	285		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	Sdn	0.0625		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	Sda	0.7125		

Valor Científico	Vc	155	3.88
Valor Didáctico	Vd	180	4.50
Valor Turístico	Vt	200	5.00

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$			
Riesgo de degradación natural y valor científico	Rdnc	0.02	0.03
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	Rdnd	0.03	
Riesgo de degradación natural y valor turístico	Rdnt	0.03	
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	Rdac	0.28	0.36
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	Rdad	0.32	
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	Rdat	0.36	

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositios

Geosito - 12		ANTICLINAL CHACALTAYA							
Parámetros		Puntuación	Valor						
			VC		VD		VTR		
			%	VC	%	VC	%	VC	
Representatividad	R	1	30	30	5	5	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar	K	4	15	60	0	0	0	0	
Rareza	A	2	15	30	5	10	0	0	
Carácter localidad tipo	T	2	10	20	5	10	0	0	
Estado de conservación	C	4	10	40	5	20	0	0	
Condiciones de observación	O	4	10	40	5	20	5	20	
Diversidad geológica	D	4	10	40	10	40	0	0	
Contenido didáctico / uso didáctico	C_{DD}	1	0	0	20	20	0	0	
Infraestructura logística	I_L	1	0	0	15	15	5	5	
Accesibilidad	A_C	1	0	0	10	10	10	10	
Espectacularidad o belleza	B	2	0	0	5	10	20	40	
Tamaño del LIG (capacidad de carga)	E	4	0	0	5	20	15	60	
Contenido divulgativo / uso divulgativo	C_{DV}	1	0	0	0	0	15	15	
Entorno socioeconómico	E_S	2	0	0	0	0	10	20	
Densidad de población	D_P	4	0	0	5	20	5	20	
Asociación con elementos eco-culturales	N_H	4	0	0	5	20	5	20	
Potencialidad para realizar actividades	P_{TR}	4	0	0	0	0	5	20	
Cercanía a zonas recreativas	Z_R	1	0	0	0	0	5	5	
Total %s			100	260	100	220	100	235	

VC	Valor Científico	260	6.50
VD	Valor Didáctico	220	5.50
VTR	Valor Turístico	235	5.88
Resultados			

Anexo 01. Tablas de valoración de los geositos

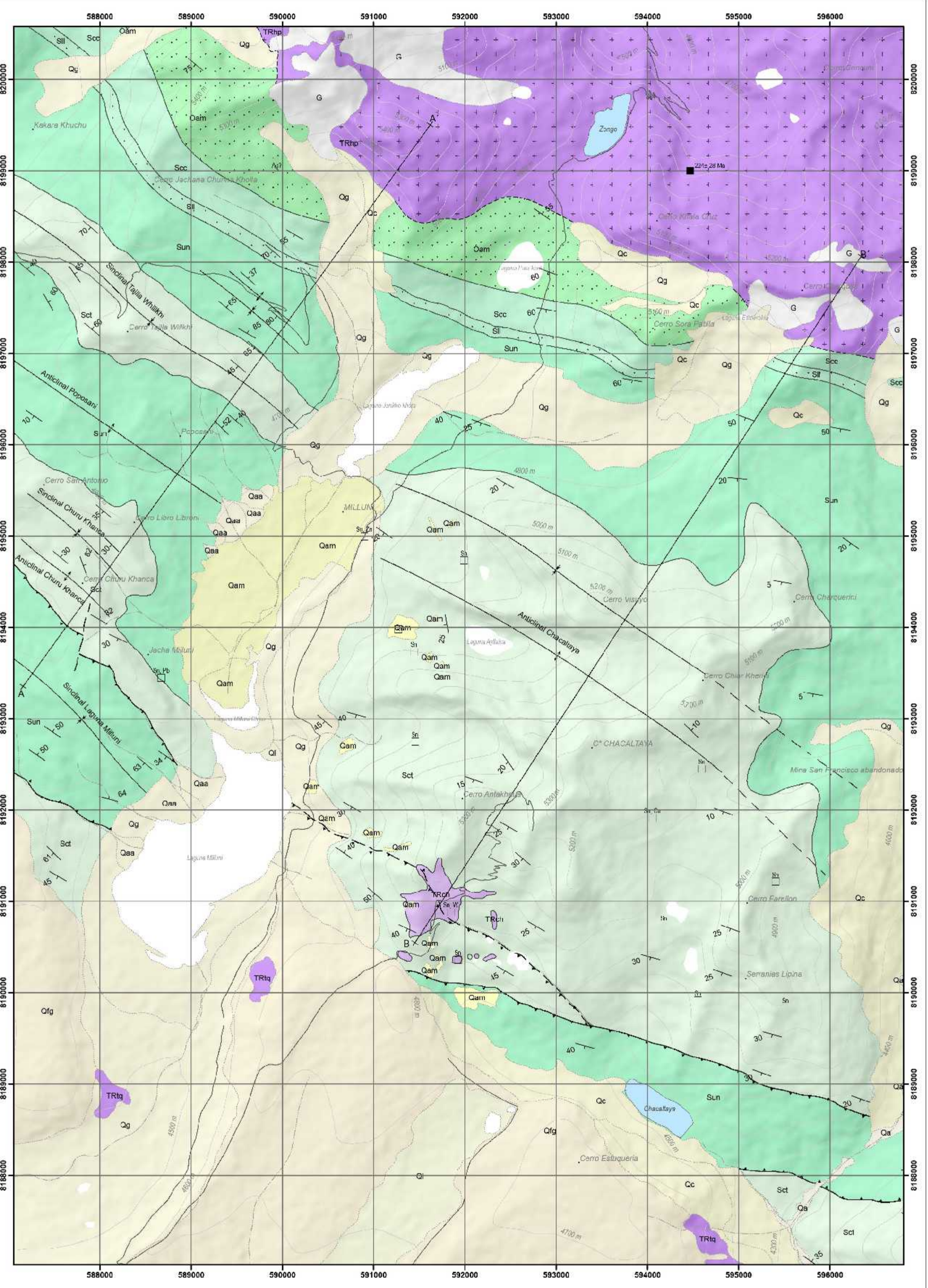
Geosito - 12				
CERRO CHACALTAYA				
Factor de tamaño del geosito	Ef	0.0025		
Fragilidad	F	5		
Amenazas naturales	An	1		

Parámetros de valoración de vulnerabilidad por amenazas antrópicas		Puntuación	%	Total
Interés para la explotación minera o hídrica	Vm	2	25	50
Vulnerabilidad al expolio	Vex	2	25	50
Proximidad a actividades o infraestructura	Vi	2	15	30
Accesibilidad	Ac	1	10	10
Régimen de protección	R	2	5	10
Protección física o indirecta	Rp	4	5	20
Titularidad del suelo y régimen de acceso	Ts	2	5	10
Densidad de población	Ds	4	5	20
Cercanía a zonas recreativas	Zr	1	5	5
Valoración de la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad natural	Vn	5		
Vulnerabilidad por causas antrópicas	Va	205		
Cálculo de la susceptibilidad de degradación				
Susceptibilidad de degradación por causas naturales	Sdn	0.0125		
Susceptibilidad de degradación por causas antrópicas	Sda	0.5125		

Valor Científico	Vc	260	6.5
Valor Didáctico	Vd	220	5.5
Valor Turístico	Vt	235	5.875

Cálculo del Riesgo de degradación $Rd = (1/10) \times Va \times Sd$			
Riesgo de degradación natural y valor científico	Rdnc	0.01	0.01
Riesgo de degradación natural y valor didáctico	Rdnd	0.01	
Riesgo de degradación natural y valor turístico	Rdnt	0.01	
Riesgo de degradación antrópico y valor científico	Rdac	0.33	0.33
Riesgo de degradación antrópico y valor didáctico	Rdad	0.28	
Riesgo de degradación antrópico y valor turístico	Rdat	0.30	

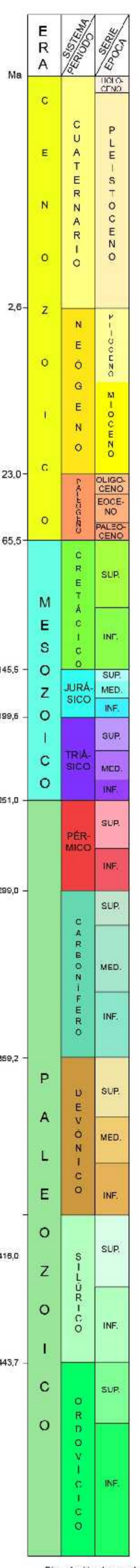
MAPA GEOLÓGICO SECTOR NORTE CUENCA MILLUNI



Escala: 1:30.000



Referencia de curvas de nivel: 100 m
 Proyección: Universal Transversa de Mercator Sora 20 Sur
 Datum: Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)
 Declinación magnética media para 2021: 8° W
 Aclaración y base: CARTA NACIONAL - BOLIVIA
 Hojas topográficas: 5844 - I y 5945 - II
 INSTITUTO GEOGRÁFICO VILTOR



COLUMNA CRONO-ESTRATIGRAFICA

ERA	SISTEMA PERIODO	SERIE ETAPA		
EZOICO	CUATERNARIO	Qam		
		Qc		
		Qa		
		Qaa		
		Qi		
		Qtg		
		Qg		
		NEOGENO	PLEISTOCENO	
MESOZOICO	CRETÁCICO			
PALEOZOICO	PERMIANO			

SIMBOLOS GEOLÓGICOS

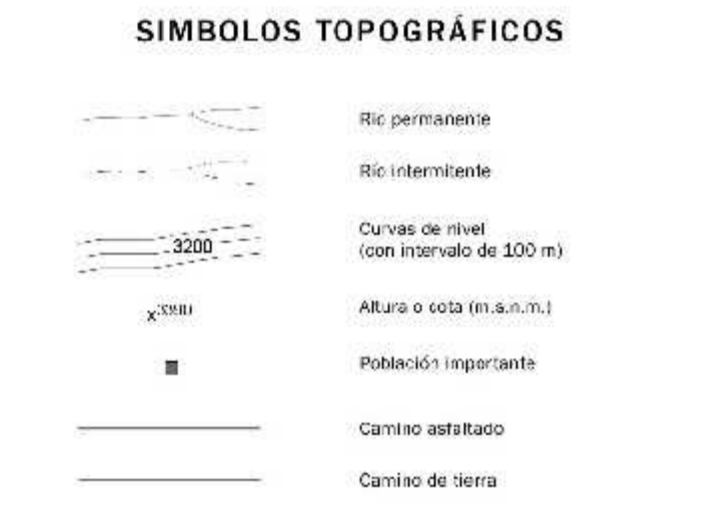
Qam	Dep. antropicos mineros	Diamantes, diques y desechos mineros
Qc	Dep. coluviales	Bloques, arenas y gravas.
Qa	Dep. aluvial	Cantos, gravas, arenas, limos y arcillas
Qaa	Dep. abanicos aluviales	Cantos, gravas, arenas, limos y arcillas
Qi	Dep. lacustres	Limos, arcillas y arenas.
Qtg	Dep. fluvio - glacial	Bloques, gravas, arenas y arcillas
Qg	Dep. glacial	Bloques, gravas, arenas y arcillas

SIMBOLOS TOPOGRÁFICOS

TRch	Intrusivo Chacaltaya	Pórfido granítico metasomatizado
TRhp	Intrusivo Huayna Potosí	Granito bimicáceo con xenolitos de rocas sedimentarias monzonitas, cuarzo monzonitas, diques de apfites y granitos leucocráticos.
TRti	Fm. Tiquina	Areniscas y arcillitas rojas con niveles de yeso

SIMBOLOS TOPOGRÁFICOS

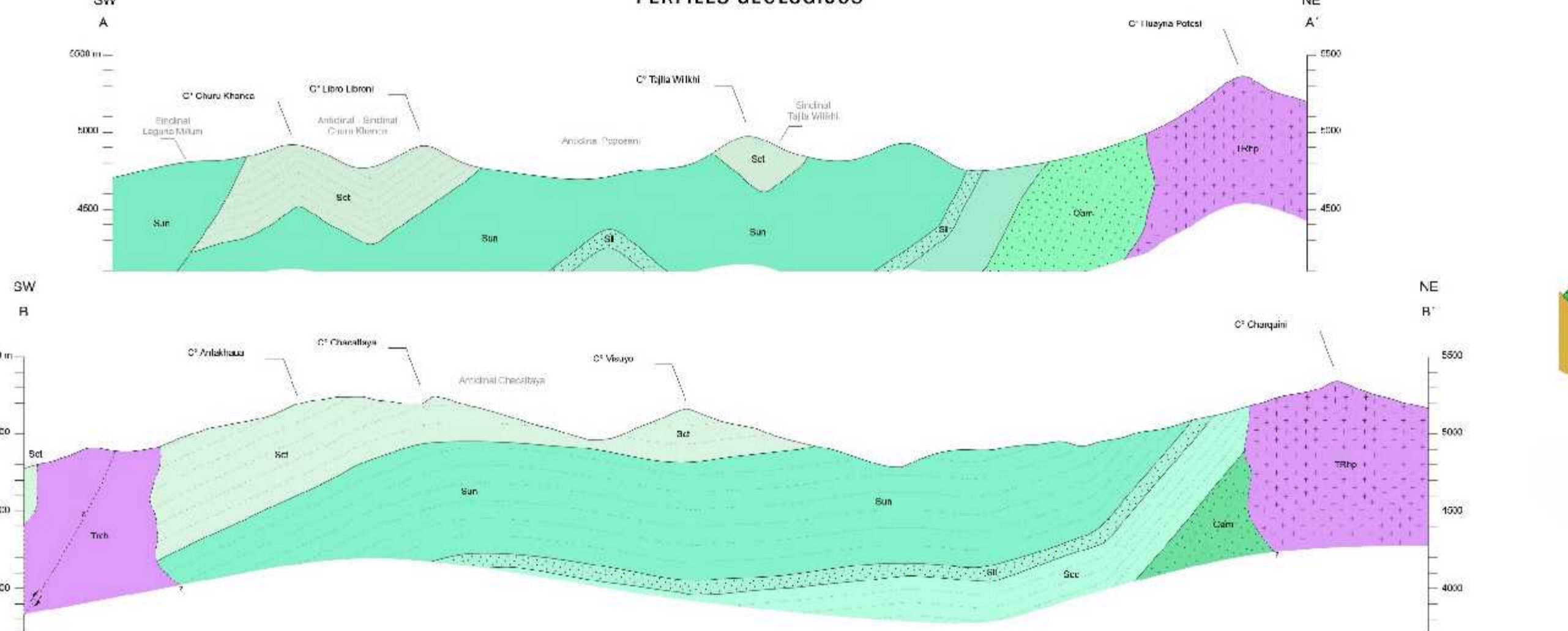
Sct	Fm. Catavi	Areniscas cuarzosas gris verdes tabulares con niveles de palitas.
Sun	Fm. Uncia	Lutitas, lutitas gris verdosas con niveles de areniscas.
Sl	Fm. Liallaga	Cuarzitas gris claras y marrones, areniscas, limolitas y lutitas.
Scc	Fm. Cancañiri	Diamictitas marrones a gris verdosas, areniscas cuarzosas y limolitas.
Qam	Fm. Amurara	Areniscas cuarcíticas y areniscas gris claras, con capas delgadas de limolitas y lutitas.



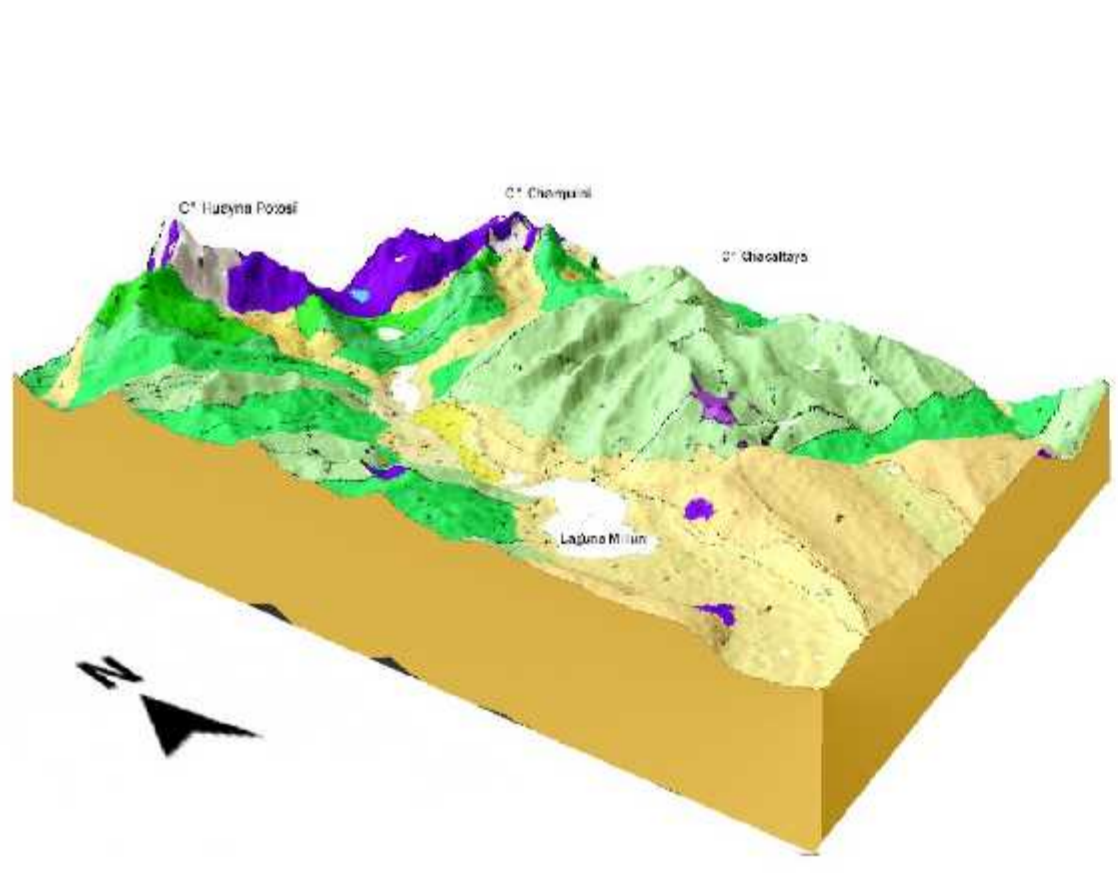
MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



PERFILES GEOLÓGICOS



BLOQUE DIAGRAMA



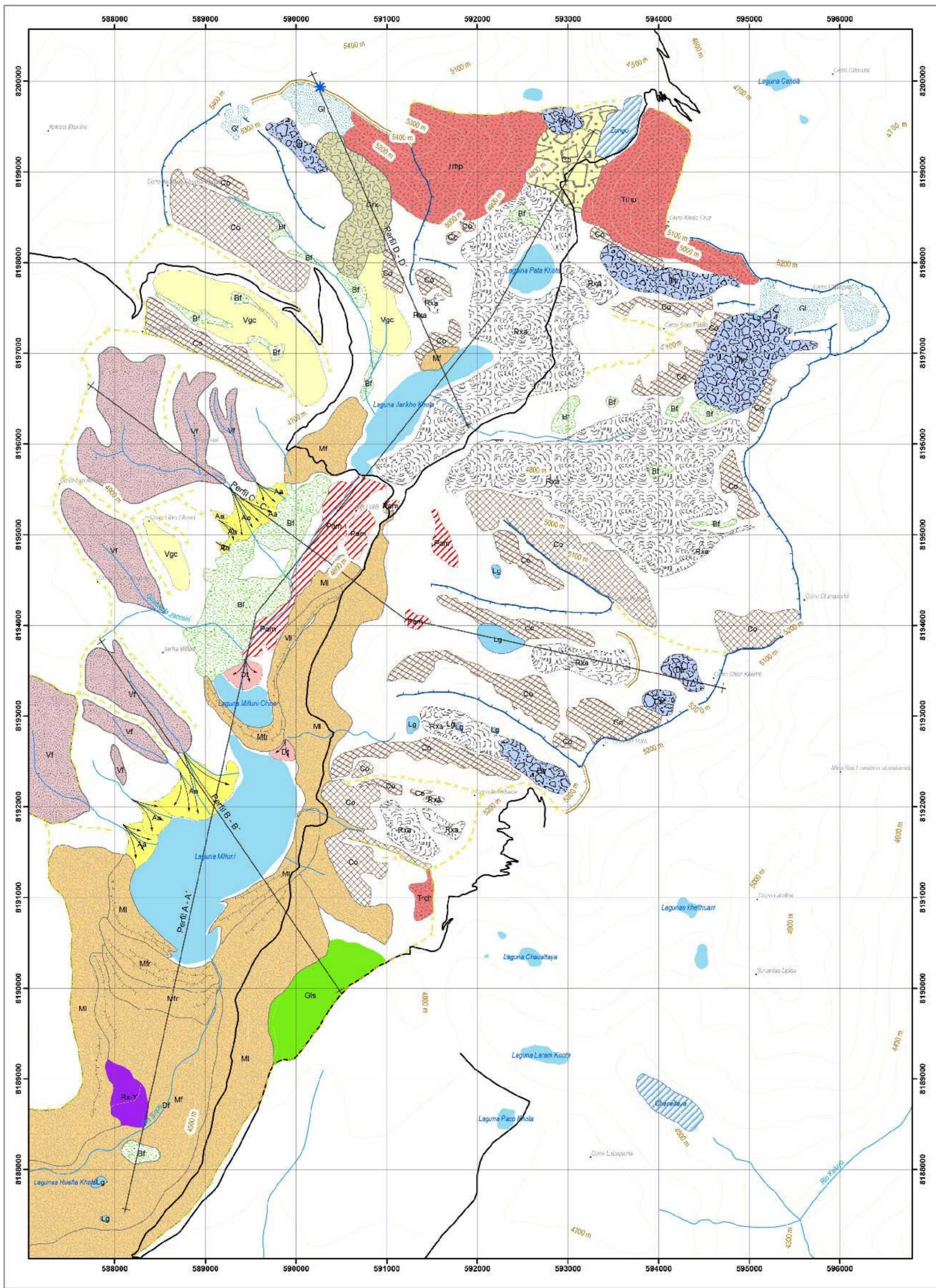
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
 FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
 CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MAPA GEOLÓGICO

"IDENTIFICACIÓN DE GEOSITIOS POTENCIALES PARA LA PROPUESTA DE PATRIMONIO GEOLÓGICO EN EL AREA DE MILLUNI, DPTO. LA PAZ"

Univ. Luis Mario Jimenez Huanca
 Tutor: Ing. Elena Gorinova

MAPA GEOMORFOLÓGICO SECTOR NORTE CUENCA MILLUNI



Escala: 1:30.000

Intervalo de curvas de nivel: 100 m
 Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona 20 Sur
 Datum: Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)
 Desviación imagen satelital por 2021.8.9
 Adaptación y base: CARTA NACIONAL - BOLIVIA
 Hojas topográficas: E644 - 1 y 1045 - II
 INSTITUTO GEOMORFOLÓGICO MILLUNI

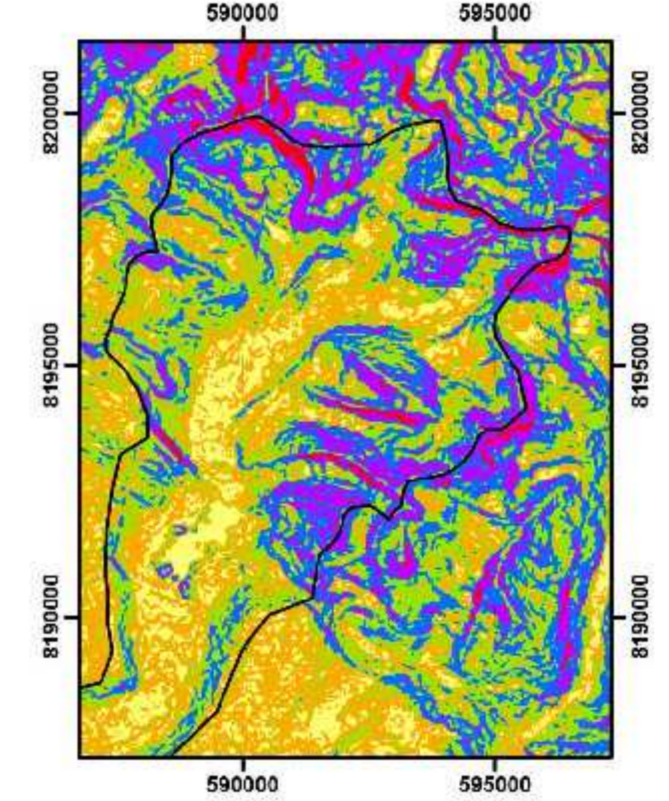
SIMBOLOGÍA

- GEOFORMAS DE ORIGEN GLACIAR**
- MI-Mf-Mfr: Morrenas frontales, laterales y de fondo.
 - Gl: Glaciar
 - Df: Depósitos de till recientes
 - Vgc: Valle glacial colgado
 - Rxa: Rocas aborregadas
 - Lg: Lagunas en rosario
 - Cir: Circo glaciar
 - Ar: Aristas
 - Cr: Crestas de morrenas
 - H: Horn
- GEOFORMAS DE ORIGEN PERIGLACIAR**
- Grx: Glaciar de roca
 - Cb: Campos de bloque
- GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL**
- Aa: Abanicos aluviales
 - Vf: Valles fluviales
 - Df: Depósitos aluviales
 - Dt: Delta
- GEOFORMAS DE ORIGEN GRAVITACIONAL**
- Ca: Conos de detrites
- GEOFORMAS DE ORIGEN POLIGÉNICAS**
- Gls: Glacis
 - Bf: Bufedales
 - Rxy: Aflojamiento de yeso
 - Rx-Ig: Plutón Huayna Potosí - Stock Chacaltaya
- PROCESOS ANTRÓPICOS**
- Pam: Pasivos ambientales, desechos mineros
 - Rpr: Represas

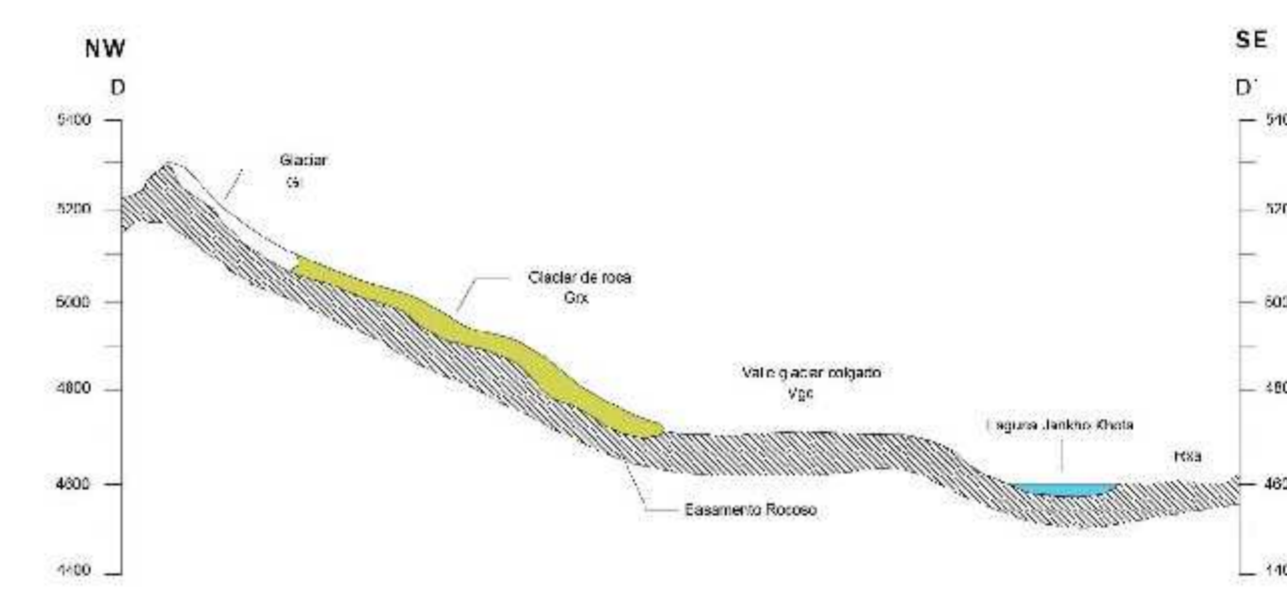
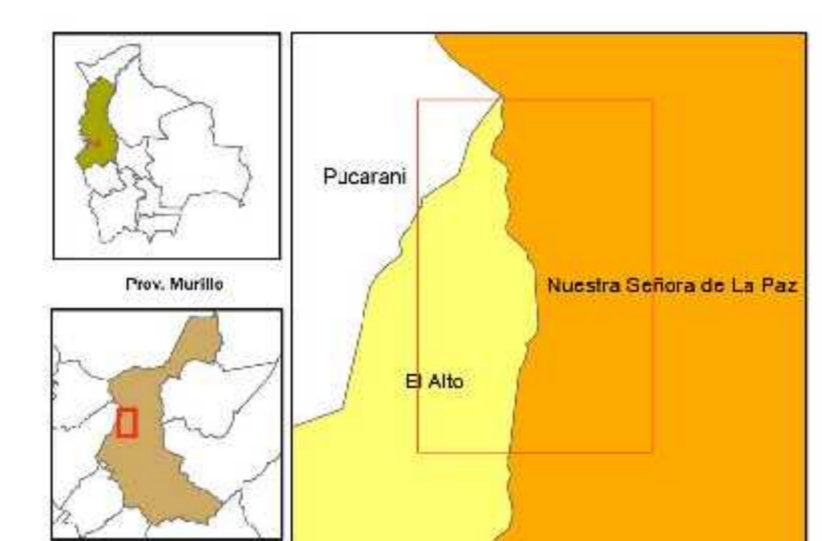
SIMBOLOGÍA TOPOGRÁFICA

- Divisoria de aguas
- Curvas de nivel, intervalo de 100 m.
- Ríos, quebradas
- Vías de accesos, camino de tierra
- Toponimia
- Cuerpos de agua
- Línea de perfil geomorfológico

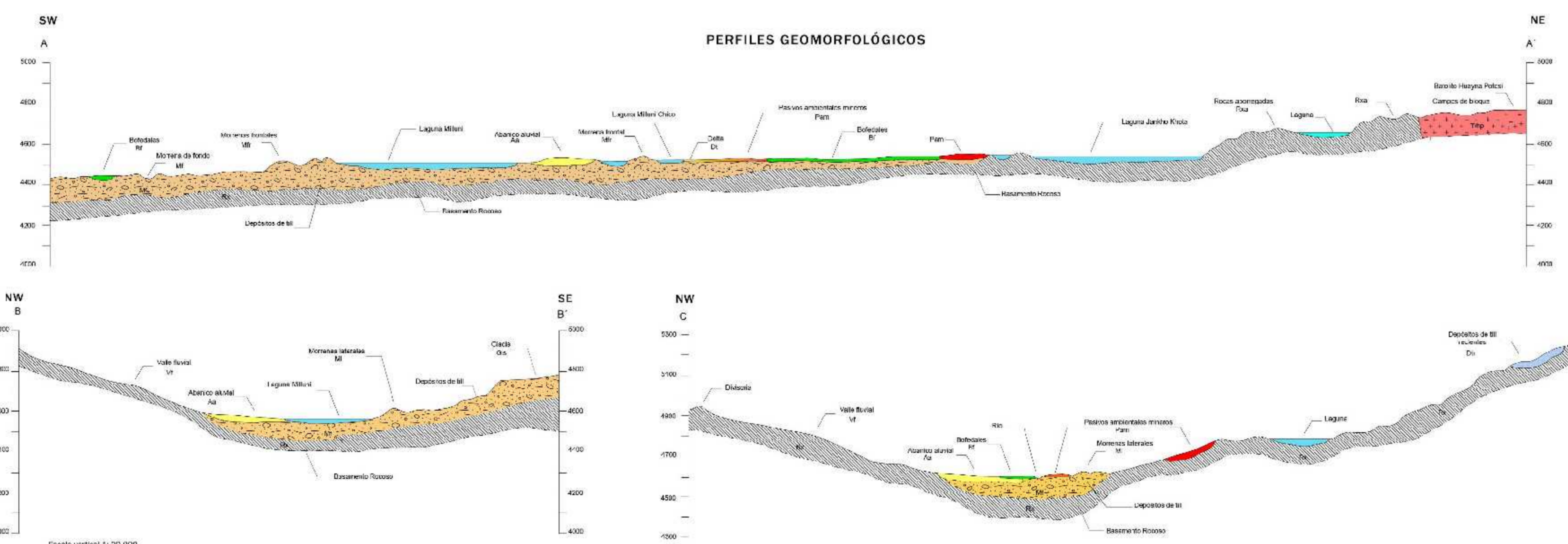
MAPA DE PENDIENTES



MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



PERFILES GEOMORFOLÓGICOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
 FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
 CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MAPA GEOMORFOLÓGICO

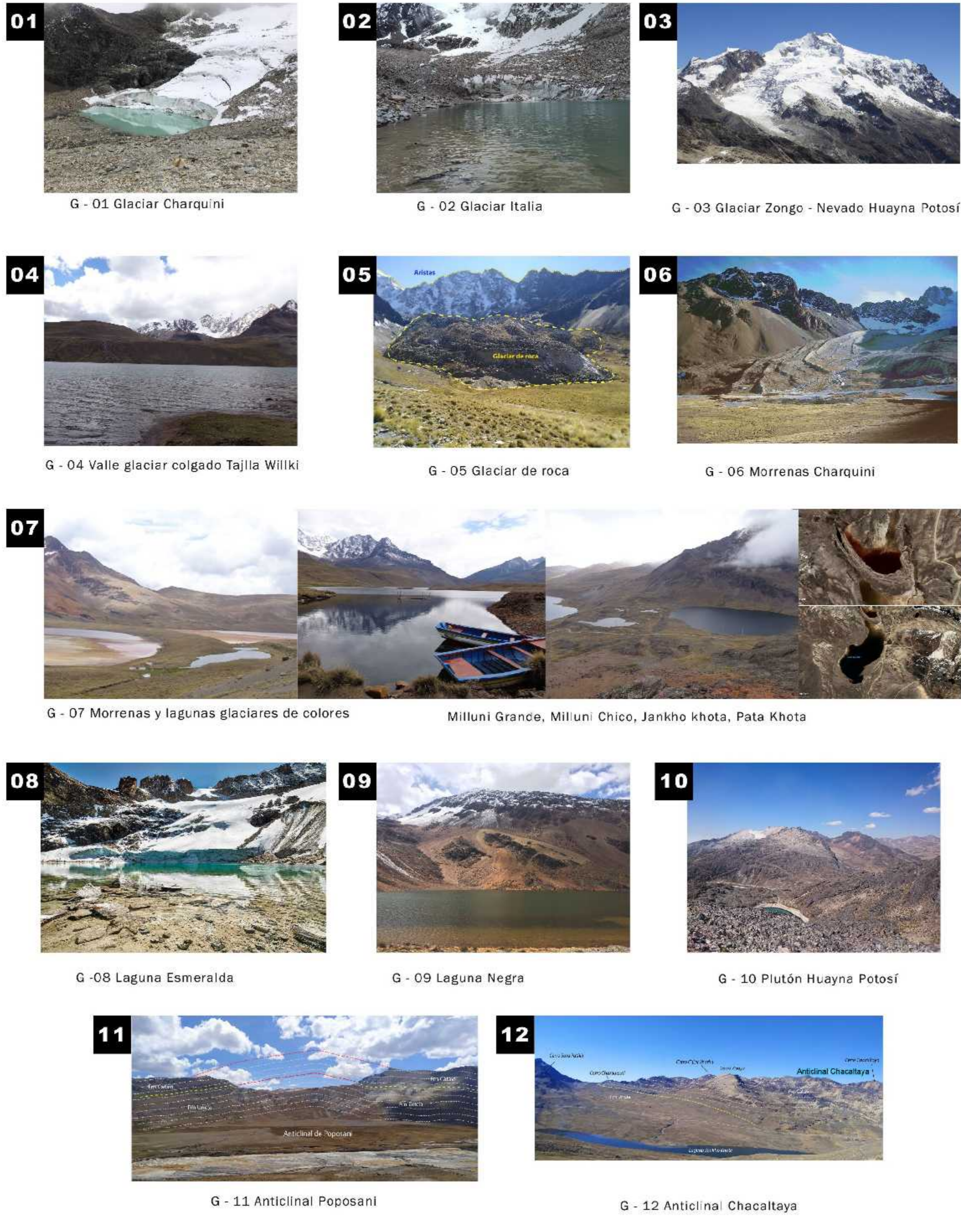
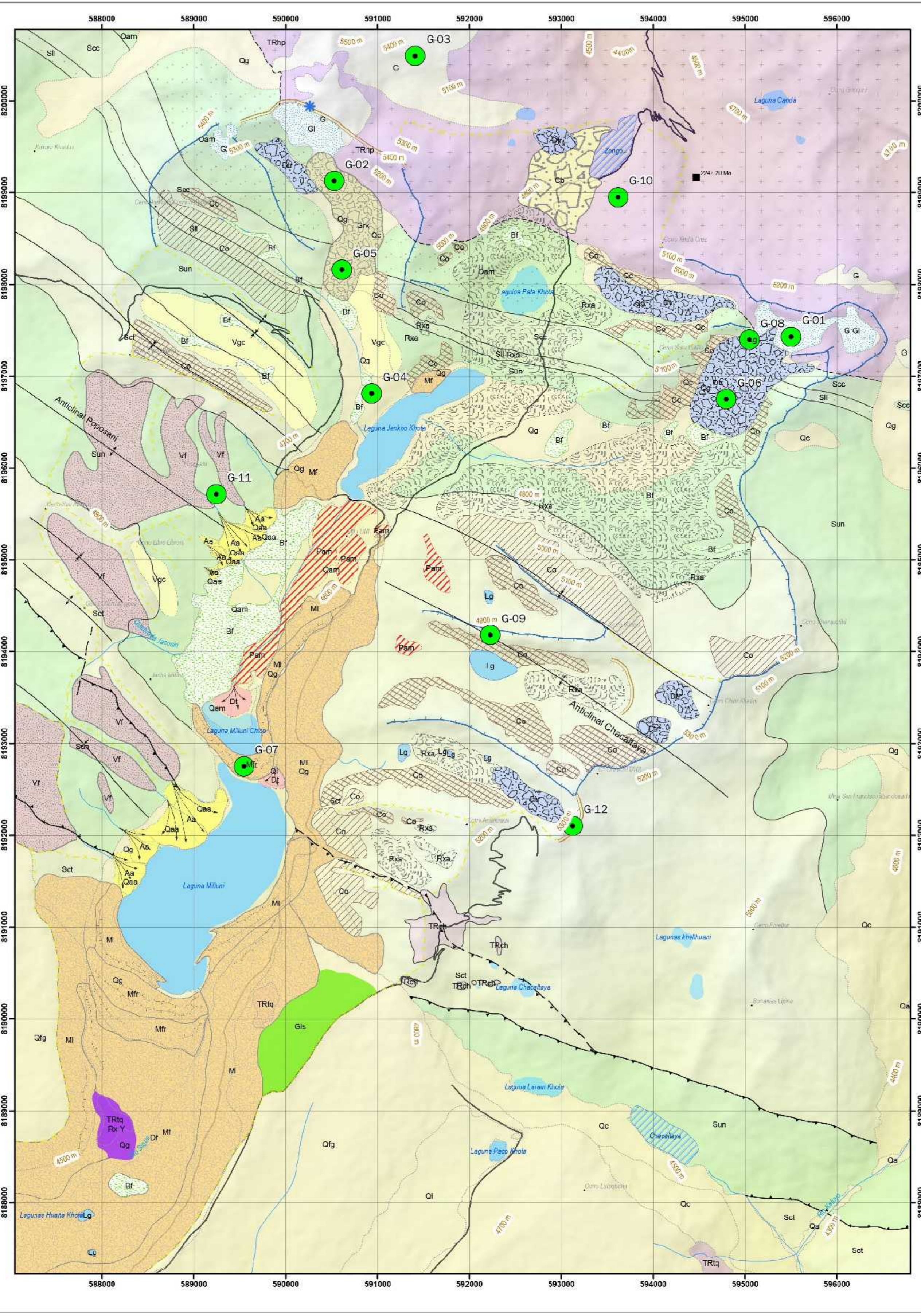
"IDENTIFICACIÓN DE GEOSITOS POTENCIALES
 PARA LA PROPUESTA DE PATRIMONIO GEOLÓGICO
 DEL ÁREA DE MILLUNI, DPTO. LA PAZ"

Univ. Luis Mario Jimenez Huanca
 Tutor: Ing. Elena Gorrova

LA PAZ - BOLIVIA, 2022 ESCALA 1 : 30000 MAPA N° 2

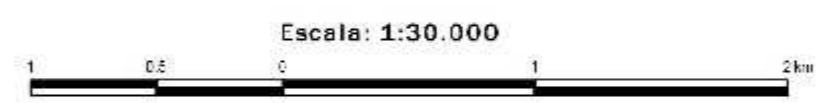
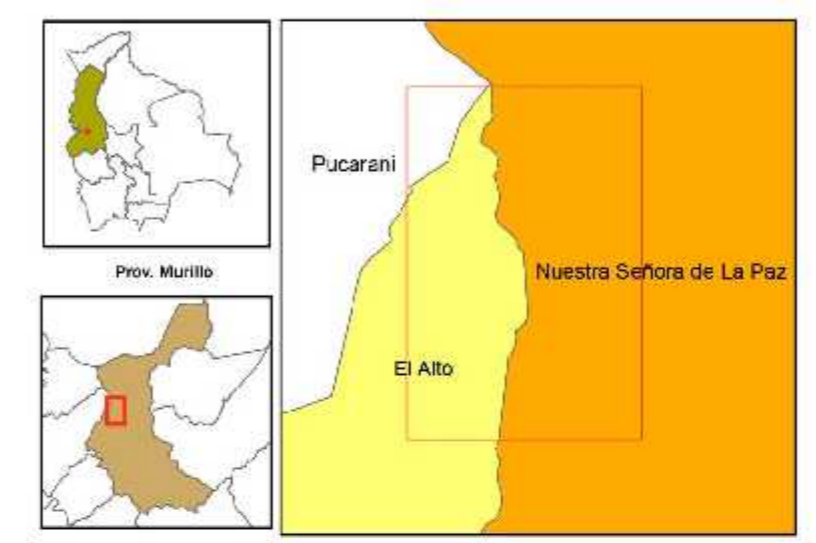
MAPA DE UBICACIÓN DE GEOSITIOS POTENCIALES DEL ÁREA DE MILLUNI

GEOSITIOS PROPUESTOS



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: WGS 84 Zona 19 Sur
 Adaptación y base: Carta nacional de Bolivia
 Hojas topográficas: 5044 - I y 5045 - II

MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



UNIDADES GEOLÓGICAS		SIMBOLOS GEOLÓGICOS	
CENOZOICO: CUATERNARIO			
Qam	Dep. antrópicos mineros	Desmontes, dques y desechos mineros	
Qc	Dep. coluviales	Bloques, arenas y gravas.	
Qa	Dep. aluvial	Carrizos, gravas, arenas, limos y arcillas	
Qaa	Dep. abaricos aluviales	Carrizos, gravas, arenas, limos y arcillas	
Qi	Dep. lacustres	Limos, arcillas y arenas.	
Qfg	Dep. fluvio - glacial	Bloques, gravas, arenas y arcillas	
Qg	Dep. glacial	Bloques, gravas, arenas y arcillas	
MESOZOICO: TRIÁSICO			
TRch	Intrusivo Chacaltaya	Péridos granítico metaxenocrinados	
TRhp	Intrusivo Huayna Potosí	Granito bimicáceo con xenolitos de rocas sedimentarias, monzonitas, cuarzo monzonitas, diques de apilitas y granitos leucocráticos.	
TRta	Fm. Tiquina	Areniscas y arcillas rojizas con niveles de yeso	
PALEOZOICO: ORDOVÍCICO - SILÚRICO			
Sct	Fm. Catavi	Areniscas cuarzosas gris verdosas; tabulares con niveles de pelitas.	
Sun	Fm. Uncia	Lutitas, lutitas gris verdosas con niveles de areniscas.	
cli	Fm. Lial agua	Cuarzitas gris claras y manones, areniscas, limolitas y lutitas.	
Soc	Fm. Cancalfiri	Diamictitas marrones a gris verdosas, areniscas cuarzosas y limolitas.	
Osm	Fm. Amutera	Areniscas cuarzosas y areniscas gris claras, con capas calcáreas de limolitas y lutitas.	
		GEOSITIOS POTENCIALES	
		Ubicación de los geosittos	

SIMBOLOS GEOMORFOLOGÍA	
GEOFORMAS DE ORIGEN GLACIAL	
Morrenas frontales, laterales y de fondo.	
Glaciar	
Depósitos de till recientes	
Valle glaciar colgado	
Rocas aborregadas	
Lagunas en rosario	
Circo glaciar	
Aristas	
Crestas de morrenas	
Horn	
GEOFORMAS DE ORIGEN PERIGLACIAR	
Glaciar de roca	
Campos de bloque	
GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL	
Abaricos aluviales	
Valles fluviales	
Depósitos aluviales	
Delta	
GEOFORMAS DE ORIGEN GRAVITACIONAL	
Conos de detritos	
GEOFORMAS DE ORIGEN POLIGÉNICAS	
Glacis	
Bofedales	
Afloramiento de yeso	
Batolito Huayna Potosí	
Stock Chacaltaya	
PROCESOS ANTRÓPICOS	
Pasivos ambientales, desechos mineros	
Represas	
SIMBOLOGÍA TOPOGRÁFICA	
Divisoria de aguas	
Curvas de nivel, intervalo de 100 m.	
Rios, quebradas	
Vías de accesos, camino de tierra	
Topografía	
Cuerpos de agua	

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
 FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
 CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

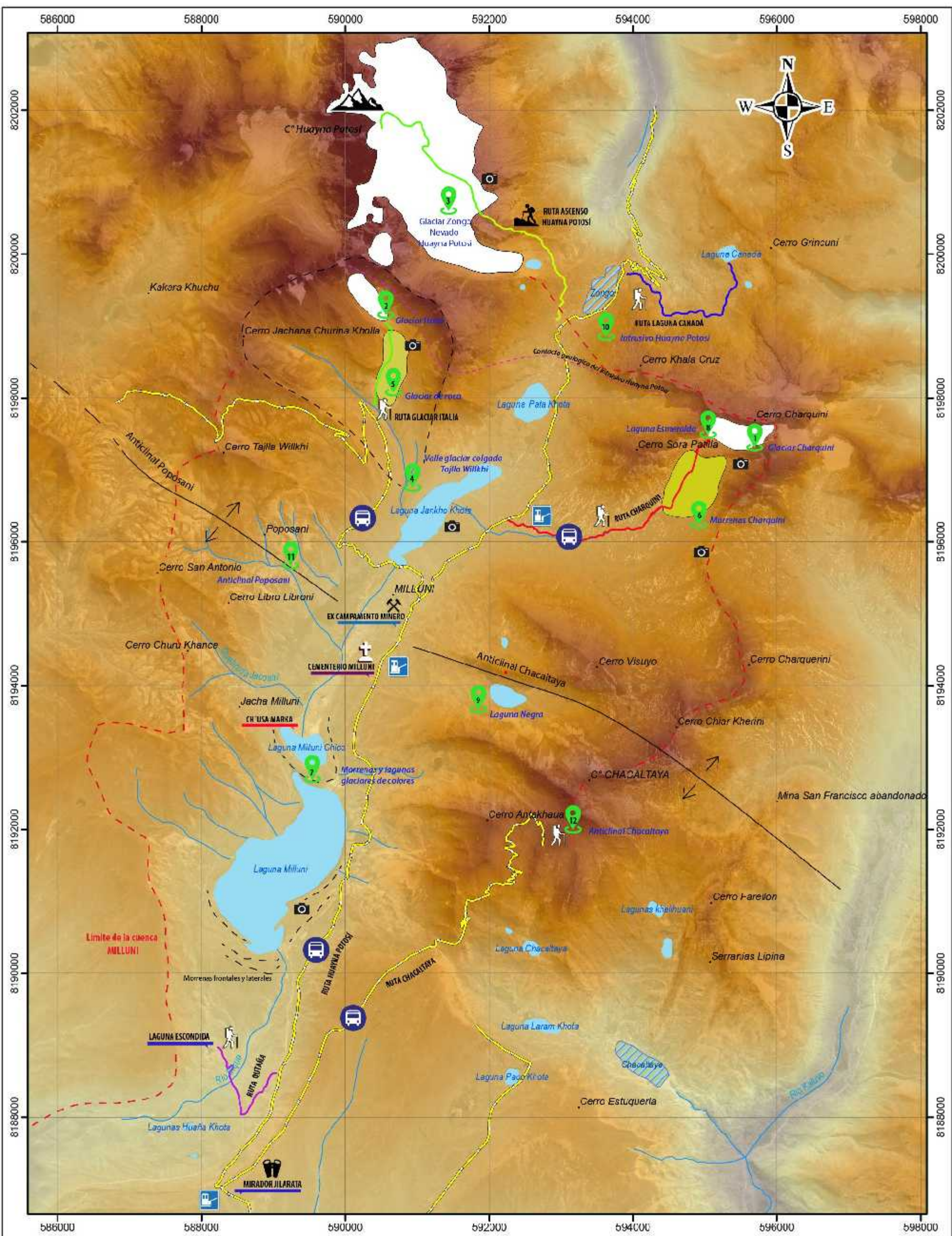
MAPA DE UBICACIÓN DE GEOSITIOS POTENCIALES

"IDENTIFICACIÓN DE GEOSITIOS POTENCIALES PARA LA PROPUESTA DE PATRIMONIO GEOLÓGICO EN EL AREA DE MILLUNI, DPTO. LA PAZ"

Univ. Luis Mario Jimenez Huanca
 Tutor: Ing. Elena Gorinova

LA PAZ - BOLIVIA, 2022 ESCALA 1 : 30000 MAPA N° 3

MAPA DE RUTAS TURISTICAS DEL ÁREA DE MILLUNI



REFERENCIAS Escala: 1:30.000

Sistema de Referencia: Universal Transversal de Mercator WGS 84 - 19 Sur

	Troncos		Ascenso de montaña		Caminos
	Reconido en Vehículos		Lagos y Lagunas	Rutas	
	Caminatas		Rios y quebradas		

1. Glaciar Charquini
2. Glaciar Italia
3. Glaciar Zongo - Nevado Huayna Potosí
4. Valle glaciar colgado Tajlla Wilkhi
5. Glaciar de Roca
6. Morrenas Charquini
7. Morrenas y lagunas glaciares de colores
8. Laguna Esmeralda
9. Laguna Negra
10. Plutón Huayna Potosí
11. Anticlinal Paposani
12. Anticlinal Chacaltaya

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA

MAPA DE RUTAS TURISTICAS DEL ÁREA DE MILLUNI

"IDENTIFICACIÓN DE GEOSITOS POTENCIALES PARA LA PROPUESTA DE PATRIMONIO GEOLÓGICO EN EL ÁREA DE MILLUNI, DPTO. LA PAZ"

Univ. Luis Mario Jimenez Juanca
Tutor: Ing. Elera Gorinova

ESCALA: 1 : 50.000

MAPA N° 4

LA PAZ - BOLIVIA, 2022