

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**



**“CUANTIFICACIÓN E IMPACTO DEL RETROCESO
GLACIAR SOBRE LOS RECURSOS NATURALES
DETERMINADOS MEDIANTE EL SIG Y TELEDETECCIÓN –
MICROCUENCA LLULLÁN, ANCASH - PERÚ”**

Presentada por:

MARÍA PATRICIA GAITA IPARRAGUIRRE

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**

Lima – Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**

**“CUANTIFICACIÓN E IMPACTO DEL RETROCESO
GLACIAR SOBRE LOS RECURSOS NATURALES
DETERMINADOS MEDIANTE EL SIG Y TELEDETECCIÓN –
MICROCUENCA LLULLÁN, ANCASH - PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

MARÍA PATRICIA GAITA IPARRAGUIRRE

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Eduardo Chávarri Velarde
PRESIDENTE

Dr. Néstor Montalvo Archiñigo
PATROCINADOR

Ph.D. Absalón Vásquez Villanueva
MIEMBRO

Mg. Sc. Guillermo Vílchez Ochoa
MIEMBRO

A mi Madre

Tesis elaborada en el marco del proyecto CIENCIACTIVA 144-2015

ÍNDICE GENERAL

	RESUMEN	
I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERARIA	3
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1	CARACTERIZACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	27
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS	61
3.3	ETAPAS DEL PROCESO METODOLÓGICO	62
3.4	METODOLOGÍA	65
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	106
4.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	106
4.2	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES	117
4.3.	ANÁLISIS DE RIESGO	123
4.4.	PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LA MICROCUENCA LLULLÁN	126
V.	CONCLUSIONES	136
VI.	RECOMENDACIONES	137
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
VIII.	ANEXOS	141

ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1: Estación parón: Caudales medios mensuales (m ³ /s) - Periodo 1953-1995	38
Cuadro 2: Estación Parón: Serie histórica de precipitación total mensual (mm) – Periodo 1949 - 2015	40
Cuadro 3: Temperatura media mensual Estación Querococha adaptados a la Estación Parón 1965 - 1999	43
Cuadro 4: Zonas de vida de la microcuenca Llullán	46
Cuadro 5: Distrito de Caraz: población, superficie y densidad poblacional	58
Cuadro 6: Número de viviendas por Centro poblado en la microcuenca Llullán	59
Cuadro 7: Comunidad Campesina en la microcuenca Llullán	60
Cuadro 8: Índice de Desarrollo Humano Distrito Caraz, 2012	61
Cuadro 9: Ubicación de Estaciones meteorológicas	68
Cuadro 10: Combinaciones de bandas imágenes 1987, 2001, 2009 y 2014	78
Cuadro 11: Calificación de los atributos de la variable Pendiente en el submodelo auxiliar de peligros por movimientos en masa	83
Cuadro 12: Calificación de los atributos de la variable Geología en el submodelo auxiliar de peligros por movimientos en masa	84
Cuadro 13: Calificación de los atributos de la variable Geomorfología en el submodelo auxiliar de peligros por movimientos en masa	84
Cuadro 14: Calificación de los atributos de la variable Cobertura en el sub modelo auxiliar de peligros por movimientos en masa	85
Cuadro 15: Calificación de los atributos de la variable Precipitación en el Sub modelo auxiliar de peligros por movimientos en masa	86
Cuadro 16: Matriz para el análisis de vulnerabilidad (elementos expuestos)	92
Cuadro 17: Rangos de las curvas hipsométricas	108
Cuadro 18: Datos para elaborar las curvas hipsométricas	108
Cuadro 19: Valores de <i>Li</i> para el cálculo del rectángulo equivalente	110

Cuadro 20: Tramos del cauce principal	111
Cuadro 21: Resultados de la evolución de las cobertura vegetal de los años 1987, 2001, 2009 y 2014	119
Cuadro 22: Tasa de cambio anual periodo 1987 – 2014	122
Cuadro 23: Áreas prioritarias para la propuesta del Plan de manejo por centro poblado y rango altitudinal	129
Cuadro 24: Alternativa 1. Áreas potenciales para forestación y reforestación en la microcuenca Llullán	131
Cuadro 25: Especies nativas y exóticas consideradas para la forestar y reforestar por piso altitudinal	132
Cuadro 26: Listado de especies propuesta para ser instaladas por tipo de plantación y distanciamiento con diseño a tres bolillos	134
Cuadro 27: Alternativa 2. Áreas potenciales para construcción de zanjas de infiltración y pastos naturales en la microcuenca Llullán	135

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag
Figura 1: Secuencia del retroceso glacial en la microcuenca del río Lullán periodo 1969-2014	.
Figura 2: Lenguas de los cuatro glaciares estudiados para dibujar cronosecuencia	2
Figura 3: Posición geográfica de la Cordillera Parón dentro de la Cordillera Blanca	4
Figura 4: Ciudad de Caraz aledaña a la Cordillera Parón	5
Figura 5: Resultados del mapeo obtenido a partir de la imagen LANDSAT 24/05/2008	6
Figura 6: Mapa de ubicación de la microcuenca Lullán	27
Figura 7: Mapa de vías y accesos - Microcuenca Lullán	28
Figura 8: Mapa de Áreas Naturales Protegidas en la microcuenca Lullán	29
Figura 9: Mapa de Cuencas hidrográficas	30
Figura 10: Mapa geológico de la microcuenca Lullán	31
Figura 11: Mapa geomorfológico de la microcuenca Lullán	32
Figura 12: Mapa fisiográfico de la microcuenca Lullán	33
Figura 13: Mapa de pendientes de la microcuenca Lullán	34
Figura 14: Mapa de Capacidad de Uso Mayor de la microcuenca Lullán	35
Figura 15: Mapa de suelos de la microcuenca Lullán	36
Figura 16: Estación Parón: Caudal medio mensual (m^3/s), Serie 1953 – 1995.	39
Figura 17: Estación Parón: Precipitaciones anuales 1949 – 2015	42
Figura 18: Estación Parón: Precipitación promedio mensual, serie 1949 - 2015	42
Figura 19: Bioclima de la Microcuenca Lullán – Estación Parón	44
Figura 20: Mapa de Zonas de vida de la microcuenca Lullán	45

Figura 21: Mapa base con imagen satelital de la microcuenca Lullán	49
Figura 22: Glaciares en la microcuenca Lullán	50
Figura 23: Afloramiento rocoso - Comunidades litofíticas en la microcuenca Lullán	51
Figura 24: Cuerpos de agua en la microcuenca Lullán	52
Figura 25: Bosques naturales en la microcuenca Lullán	53
Figura 26: Vegetación ribereña - Monte ribereño en la microcuenca Lullán	54
Figura 27: Matorral en la microcuenca Lullán	55
Figura 28: Pajonal con arbustos dispersos en la microcuenca Lullán	56
Figura 29: Plantación forestal en la microcuenca Lullán	57
Figura 30: Mosaico de cultivo agrícola en la microcuenca Lullán	58
Figura 31: Comunidad Campesina Cruz de mayo	60
Figura 32: Etapas del proceso metodológico para la ejecución del estudio	62
Figura 33: Sr. Adán Pajuelo, Ex Presidente de la Comisión de Usuarios Parón – Lullán (2010 – 2014)	63
Figura 34: Secuencia desarrollada durante la etapa de gabinete	64
Figura 35: Modelo Digital del Terreno de la Elevación (Altitud m s.n.m.)	69
Figura 36: Precipitación promedio mensual por estación meteorológica	72
Figura 37: Gradiente altitudinal por estación meteorológica	72
Figura 38: Precipitación por estación meteorológica	73
Figura 39: Mapa de precipitación en la microcuenca Lullán	73
Figura 40: Flujo de procesamiento para la imagen LANDSAT	74
Figura 41: Imagen nivel digital Reflectancia TOA, Calibración	75
Figura 42: Imagen con el proceso finalizada la radiancia	75
Figura 43: Aplicación del modelo matemático	76
Figura 44: Proceso finalizado, imagen procesada	76
Figura 45: Corrección geométrica	77
Figura 46: Ubicación aproximada modelos GCC formato para Erdas. Se visualiza el error cuadrático medio, errores residuales.	77

Figura 47: Configurando la salida	78
Figura 48: Flujo GIS para el submodelo auxiliar de peligros por movimientos en masa	87
Figura 49: Diseño del submodelo auxiliar de peligros por movimientos en masa en la plataforma Model Builder	87
Figura 50: Ejecución del modelo lógico del submodelo auxiliar de movimientos en masa	88
Figura 51: Implementación y ejecución del algoritmo del Submodelo auxiliar de movimientos en masa	89
Figura 52: Implementación de la leyenda del Submodelo auxiliar de movimientos en masa	89
Figura 53: Mapa de peligros por movimiento en masa de la microcuenca Llullán	90
Figura 54: Mapa de Peligros por movimiento en masa en la microcuenca Llullán sin PNH	90
Figura 55: Flujo GIS para el submodelo vulnerabilidad (elementos expuestos)	97
Figura 56. Implementación y ejecución del algoritmo del SM de Vulnerabilidad	98
Figura 57: Implementación de la leyenda del SM de Vulnerabilidad	98
Figura 58: Mapa de Vulnerabilidad de la microcuenca Llullán	99
Figura 59: Flujo GIS para el modelo de Riesgos	100
Figura 60: Diseño del modelo de riesgo en la plataforma Model Builder	100
Figura 61: Ejecución del modelo lógico del SM Riesgos	101
Figura 62: Implementación y ejecución del algoritmo del SM Riesgos	101
Figura 63: Implementación de la leyenda del SM Riesgos	102
Figura 64: Mapa de Riesgo en la microcuenca Llullán	102
Figura 65: Flujo GIS para el modelo de Riesgos por unidad de Capacidad de Uso Mayor	103
Figura 66: Diseño del modelo de Riesgos por unidad de Capacidad de Uso Mayor en la plataforma Model Builder	103
Figura 67: Ejecución del modelo lógico Riesgos por unidad de CUM	104
Figura 68: Implementación de la leyenda del modelo lógico Riesgos por unidad de CUM	104

Figura 69: Mapa de Escenarios de riesgo por Capacidad de Uso Mayor de la microcuenca Llullán	105
Figura 70: Río Huancotay (izquierda) y río Parón (derecha)	106
Figura 71: Mapa de orden de canales de la microcuenca Llullán	107
Figura 72: Mapa de Curvas hipsométricas de la microcuenca Llullán	109
Figura 73: Curvas hipsométricas	110
Figura 74: Rectángulo equivalente Microcuenca Llullán	111
Figura 75: Mapa de los tramos del cauce principal	112
Figura 76: Perfil longitudinal del cauce principal	112
Figura 77: Parcelas agrícolas en la microcuenca Llullán	113
Figura 78: Turismo en la microcuenca Llullán	114
Figura 79: Registro de turistas convencionales 2010 - 2014	114
Figura 80: Registro de turistas de aventura 2010 - 2014	115
Figura 81: Centro Educativo, Letrinas en la CC. Cruz de mayo y canal revestido	116
Figura 82: Cobertura vegetal 1987	117
Figura 83: Cobertura vegetal 2001	118
Figura 84: Cobertura vegetal 2009	118
Figura 85: Cobertura vegetal 2014	119
Figura 86: Deglaciación en el tiempo periodo 1987 - 2014	120
Figura 87: Área glaciár vs. Precipitación periodo 1987 – 2014	121
Figura 88: Área glaciár vs. Temperatura periodo 1987 – 2014	122
Figura 89: Tasa de cambio anual 1987 - 2014	122
Figura 90: Mapa del Modelo de peligros por movimientos en masa	123
Figura 91: Mapa del Modelo de peligros por movimientos en masa fuera del ANP	124
Figura 92: Mapa del Modelo de Vulnerabilidad	125
Figura 93: Escenarios de riesgo en la microcuenca Llullán	126
Figura 94: Mapa de Escenarios de riesgo por Capacidad de Uso Mayor en la microcuenca Llullán	127

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objeto caracterizar el estado actual de los recursos naturales en la microcuenca Llullán mediante los Sistemas de Información Geográfica y teledetección; lo que ha permitido formular alternativas de manejo y gestión integrada de la microcuenca ante el retroceso glaciar. Para ello, se ha cuantificado el retroceso glaciar a través del análisis multitemporal de 4 imágenes satelitales en el periodo de 27 años, como resultado se tienen los mapas de coberturas de los años: 1987, 2001, 2009 y 2014. Asimismo, se estima el grado de influencia de las variables climáticas (precipitación y temperatura), variables físicas (hidrografía, geología, geomorfología, fisiografía, capacidad de uso mayor del suelo y suelos), biológicas (zonas de vida y cobertura vegetal) y poblacionales (centros poblados e infraestructura), del área de estudio; lo que permite elaborar el modelo de riesgo para determinar las poblaciones y zonas vulnerables a deslizamientos.

Palabras clave: *retroceso glaciar, microcuenca Llullán, teledetección, SIG.*

ABSTRAC

The current investigation had as its main objective to show and explain the natural resources current state of the Lullán watershed (basin) among the Geographical and Teledetection Systems (Sistemas de Información Geográfica y Teledetección); which have allowed to formulate integrated management and administration alternatives over the watershed's glacial retreat. Thus (therefore), the glacial retreat has been quantified throughout a multitemporal analysis of 4 images of a 27 years period of time; as a result the maps make cover of the following years: 1987, 2001, 2009 and 2014. Likewise, the climatic variables (precipitation and temperatura) grade of influence is estimated; physical variables (hidrography, geology, geomorphology, physiogeography and the capacity of mayor use of land and lands); biological variables (life áreas and vegetal cover); and populations variables (populated áreas and infrastructures) of the área of study. This will allow to elaborate the risk model to determine the vulnerable slide áreas and populations.

Key words: *glacial retreat, Lullán watershed, teledetection, SIG .*

I. INTRODUCCIÓN

Los glaciares son reguladores climáticos y gran reserva de agua dulce del mundo, a nivel de Sudamérica, el Perú es el país con mayor porcentaje de superficie glaciaria tropical, sin embargo, durante las últimas décadas, el hielo de la Cordillera Blanca está experimentando una recesión gradual, la deglaciación es tan notoria que áreas bastante extensas que estuvieron cubiertas por el hielo, actualmente se encuentran descubiertas, lo que demuestra que el hielo se encuentra en franco retroceso activo. Esto trae consigo la inestabilidad del casquete que puede ocasionar grandes aludes, y más aún, si es incentivado por los movimientos sísmicos, causando consecuencias desastrosas para los centros poblados y obras de ingeniería instaladas en la cuenca. MINAM (2009).

Como evidencia del retroceso glaciario en la microcuenca Lullán, presentamos las imágenes captadas por el Google Earth en el periodo comprendido desde el año 1969 al año 2014 muestran la secuencia del retroceso glaciario en los años 1969 (Foto a), 2005 (Foto b), 2009 (Foto c) y 2014 (Foto d). (Figura 1).

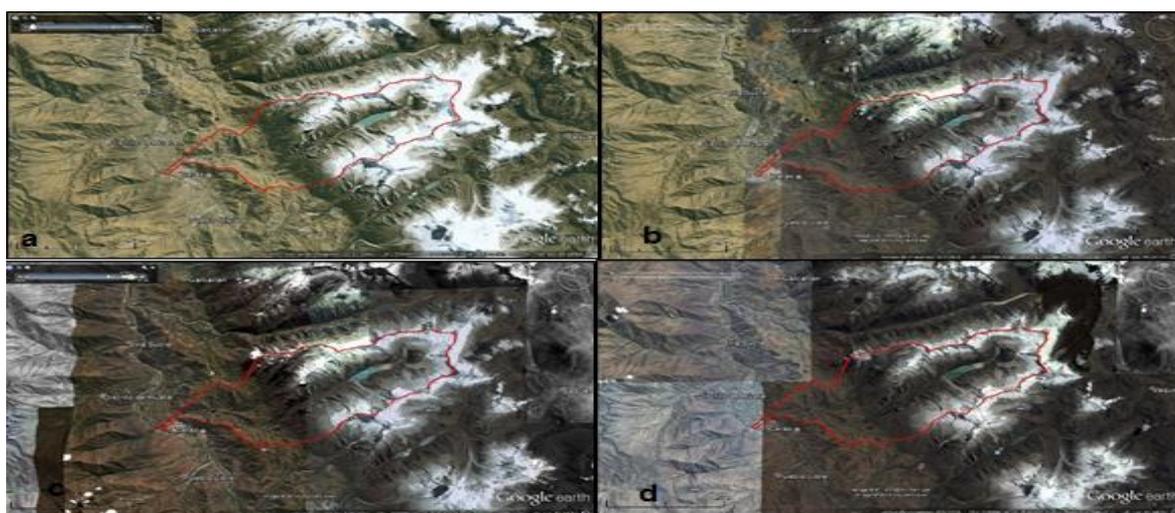


Figura 1: Secuencia del retroceso glaciario en la microcuenca del río Lullán periodo 1969-2014.

FUENTE: Google Earth. Años: 1969, 2005, 2009 y 2014

Por otro lado, gran parte de la microcuenca Lullán se encuentra superpuesta al Parque Nacional Huascarán, los servicios ambientales que oferta el Parque Nacional Huascarán son múltiples y giran principalmente en torno al agua y al uso del recurso natural paisaje. La biodiversidad existente es variada y mixta con potenciales muy importantes para el sustento de la vida misma dentro del Parque Nacional Huascarán y de la población en su conjunto: paisajes, bosques, bofedales, matorrales y pastizales con una fauna muy importante. Se han registrado al menos 168 especies de vertebrados, 901 especies de flora, hecho que evidencia la riqueza en biodiversidad de especies y genética de la zona estudiada. Esta biodiversidad asociada a sus paisajes atrae turistas nacionales e internacionales fomentando el trabajo y el sustento de las poblaciones del área de influencia. MINAM (2009).

El manejo del agua de un territorio en forma sostenible es necesario que esté acompañado por un manejo de cuencas, para ello se tiene que conocer el territorio, y como herramienta base está la zonificación ecológica económica que nos indica los posibles usos del territorio. MORENO, A; RENNER, I. (2007).

La cuenca hidrográfica constituye el ámbito territorial básico para la planificación de la gestión del agua. MINAGRI (2010).

Una de las herramientas para estudiar la evolución de los glaciares es la Percepción Remota la cual a través del análisis multitemporal de las imágenes de satélite, permite evaluar la evolución de los glaciares y obtener datos importantes para determinar la influencia del calentamiento global sobre ellos. VARGAS, C.; VILLON, C.; PASAPERA, J. (2009).

Frente a este escenario, el presente trabajo de investigación consiste en caracterizar el estado actual de los recursos naturales en la microcuenca Lullán para proponer alternativas de manejo y gestión integrada de los recursos naturales ante el retroceso glaciar. La cuantificación del retroceso glaciar mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica y teledetección ha permitido identificar las zonas de peligros, población vulnerable y zonas de riesgo por procesos de deglaciación en la microcuenca Lullán.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes del tema referidos al problema

Lama. (2008). *Perú, Deshielo andino amenaza al ambiente regional.*

"La reducción de los hielos andinos nos hace estremecer de preocupación, porque significa una amenaza de reducción progresiva del aporte hídrico de los ríos que se forman en los glaciares de los Andes", expresó Antoine Erout, del Instituto Francés de Estudios Andinos.

Soruco (2009). *"Glaciares de los Andes Tropicales víctimas del Cambio Climático."*

A través de la comparación de fotos de distintas épocas se podrá estimar el repliegue de los glaciares de las cuestas de las montañas (Figura 2). Las líneas utilizadas son: años 1975-1976 (azul), 1983 (amarillo), 1997 (naranja), 2006 (Rojo) y 2014 (glaciar actual).

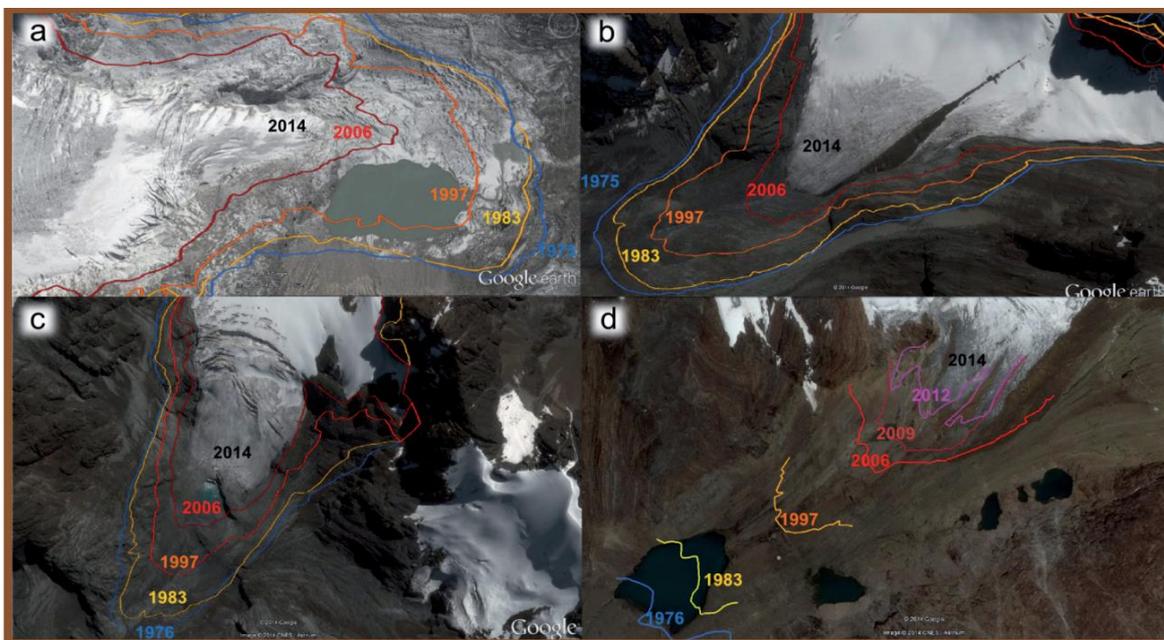


Figura 2: Lenguas de los cuatro glaciares estudiados para dibujar cronosecuencia a). Glaciar Zongo (referencia WGS 84: D5150); b). Glaciar Taria (D4960); c). Glaciar "10" (D5100) y d). Glaciar Yanamarey (E9654).

FUENTE: Soruco, 2009.

Medina y Mejía (2014). “*Análisis multitemporal y multifractal de la deglaciación de la Cordillera Parón en los Andes de Perú*”. El objetivo de este trabajo consistió en cuantificar el volumen glaciar de la Cordillera Parón en los últimos 24 años empleando tanto técnicas multifractales como el Sistema de Información Geográfica para determinar en qué medida los eventos El Niño y La Niña influyen en su deglaciación. Para diferenciar la masa glaciar de otros elementos como nubes, agua, etc., en las imágenes seleccionadas, se utilizó el NDSI o índice de nieve y también el ratio imagen 4/5 en las imágenes binarizadas. La superficie glaciar de la Cordillera Parón se ha reducido en 18% en los últimos 24 años.

Propósito de este artículo es presentar las bases del método multifractal y efectuar una aplicación de esta teoría para cuantificar el volumen y otros parámetros multifractales de los glaciares de la Cordillera Parón ante los eventos El Niño y La Niña.

El área de estudio abarca los glaciares de la Cordillera Parón (Artesonraju, Pirámide, Huandoy, Broggi, etc.), glaciares que circundan y abastecen a la laguna Parón, ubicada en la Cordillera Blanca de Perú, cerca de la ciudad de Caraz, y muy próxima al Huascarán (Figura 3).

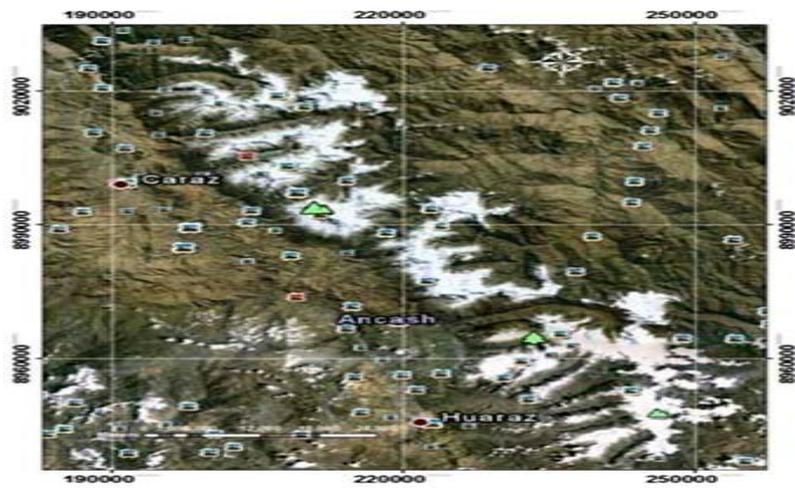


Figura 3: Posición geográfica de la Cordillera Parón dentro de la Cordillera Blanca
FUENTE: Medina y Mejía, 2014.

La Cordillera Parón es una de las más elevadas de la Cordillera Blanca, dada su vecindad al glaciar más alto del Perú: El Huascarán (6768 m s.n.m.).

La ciudad de Caraz está tan solo a 20,25 km de distancia de la Cordillera Parón; esta maqueta elaborada por la UGRH (Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos) se hizo a escala 1/100 000 (Figura 4).

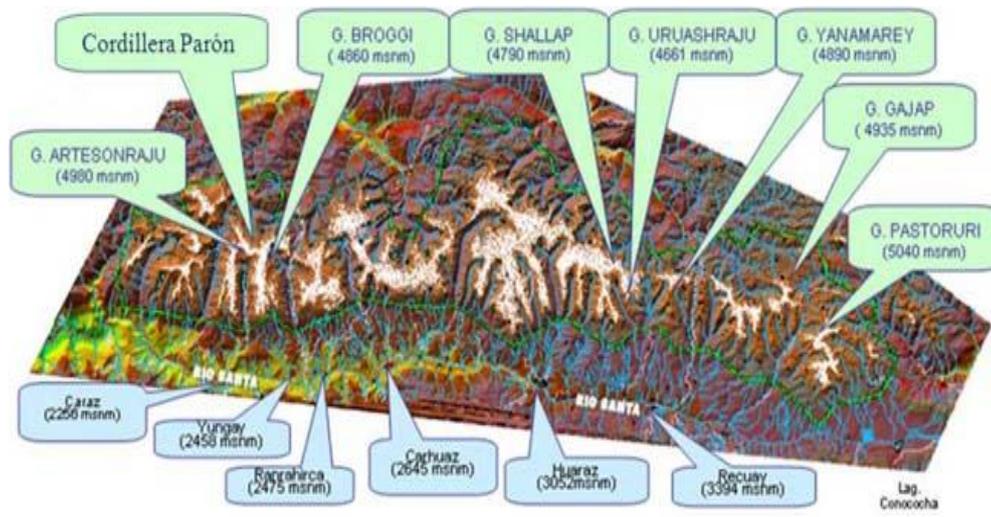


Figura 4: Ciudad de Caraz aledaña a la Cordillera Parón

FUENTE: Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, 2013.

Métodos

- Diferenciación entre nieve y hielo en las imágenes remotas.
- Comparación entre el NDSI y el ratio imagen 4/5
- Resultados y discusión.
- Cuantificación del Volumen Glaciar.
- Correlación de volúmenes con SIG y Multifractales
- Tendencia de la temperatura y precipitación en la zona.
- Comportamiento multifractal.
- Parámetros multifractales

Conclusiones

- El volumen glaciar tuvo un comportamiento variable en el tiempo; la reducción promedio del volumen glaciar de la Cordillera Parón obtenido por SIG y multifractales fue del 18% en el periodo 1987 al 2011.
- No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los volúmenes hallados con métodos SIG o multifractales.

- El parámetro multifractal $\Delta\alpha$ es el que mejor revela la presencia de los eventos El Niño y La Niña. El promedio de la dimensión entropía D1 fue de 1,44.

Vargas, Villon y Pasapera (2009) “*Comparación de Técnicas para el mapeo de cobertura glaciar con imágenes LANDSAT y ASTER en la Cordillera Blanca, Ancash, Perú.* Una de las herramientas para estudiar la evolución de los glaciares es la Percepción Remota la cual a través del análisis multitemporal de las imágenes de satélite, permite evaluar la evolución de los glaciares y obtener datos importantes para determinar la influencia del calentamiento global sobre ellos.

Fueron analizados dos métodos de mapeo de cobertura glaciar, como son el método del ratio entre la banda roja y la banda infrarroja y el Índice Normalizado de Nieve (Normalized Difference Snow Index – NDSI), los mismos que han sido comparados para evaluar su efectividad.

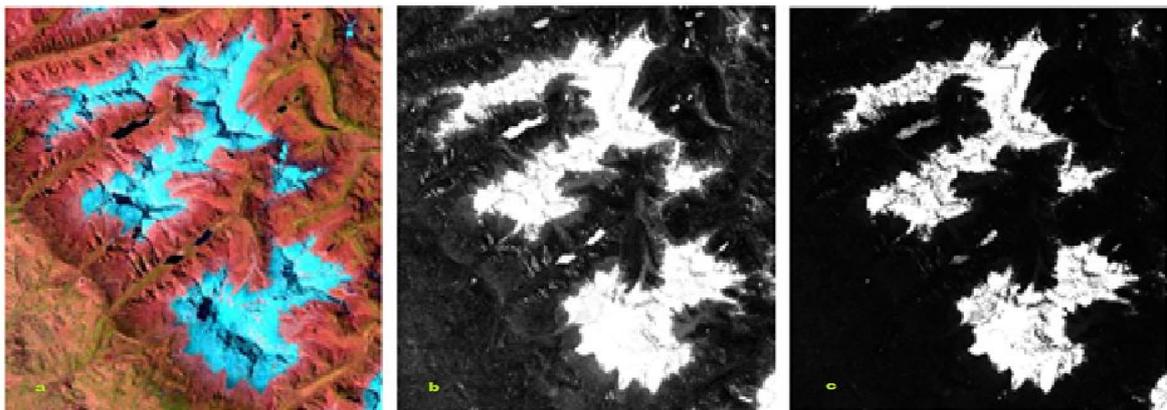


Figura 5: Resultados del mapeo obtenido a partir de la imagen LANDSAT 24/05/2008.
a). RGB 742 – LANDSAT b). Resultado del NDSI c). Resultado del ratio b3/b5
FUENTE: Vargas, 2009.

Colonia (2011). “*Determinación del retroceso glaciar en la microcuenca de Llanganuco, a través del análisis multitemporal en el periodo 1987 - 2007*”

El cambio climático está produciendo procesos intensos de ablación (retroceso glaciar) con una dramática pérdida de masa en los glaciares de la Cordillera Blanca, generando transformaciones hidrológicas en toda la cuenca del río Santa e incrementando la vulnerabilidad de la población en cuanto a la reducción de la disponibilidad de agua dulce en las subcuencas glaciares. En consecuencia, este fenómeno ocasiona efectos negativos en el desarrollo y la economía de la cuenca Santa.

Marco conceptual

- **Cambio Climático**

Se llama cambio Climático a la modificación del clima que ha tenido lugar respecto de su historial a escala regional y global. En general, se trata de cambios de orden natural, pero actualmente, se los encuentra asociados con el impacto humano sobre el planeta. Se trata de un fenómeno complejo que sólo puede ser observado y analizado mediante simulaciones computacionales.

Si bien cambio climático no es sinónimo de calentamiento global, ya que responde a diversas causas y da como resultado múltiples consecuencias, comúnmente lo encontramos asociado a este fenómeno de aumento de la temperatura promedio en la atmósfera y en los océanos. Pero además de calentamiento, también el cambio climático influye en las precipitaciones, nubosidad y muchos otros parámetros.

Las distintas teorías sobre este fenómeno dan cuenta de variaciones solares, orbitales, impacto de meteoritos, deriva continental, composición atmosférica, corrientes oceánicas, campo magnético terrestre y efectos antropogénicos (o causados por el hombre) como factores influyentes en la modificación del clima. A su vez, cierto grupo de teorías, propone que ante este escenario, o bien el planeta Tierra podría responder reforzando los efectos, o bien moderándolos y recuperando un equilibrio natural.

- **Calentamiento Global**

La noción de calentamiento global permite referirse a dos cuestiones relacionadas: por un lado, se trata de un fenómeno observado en el promedio de la temperatura de las últimas décadas, que sube de manera sostenida; por otra parte, es una teoría que, a partir de distintas proyecciones, sostiene que la temperatura seguirá creciendo en el futuro a causa de la acción del hombre.

Pese a la popularidad que el tema ha alcanzado en los últimos años, es importante realizar algunas distinciones. El calentamiento global suele asociarse al cambio climático, aunque este fenómeno siempre ha existido y es natural. De todas formas, en la actualidad suele

conocerse como cambio climático al producido por la acción humana, que genera variaciones anómalas.

- **Efecto Invernadero**

Por otra parte, el efecto invernadero, es un fenómeno por el cual ciertos gases que componen la atmósfera terrestre retienen parte de la energía emitida por el suelo tras haber sido calentado por la acción del Sol. El efecto invernadero funciona de la siguiente manera: la radiación solar atraviesa la atmósfera, rebota contra el suelo y debería volver a atravesar la atmósfera; sin embargo, los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono y el metano, producen una capa de contaminación que impide que los rayos solares vuelvan a salir, produciendo un aumento de temperatura en la tierra.

Aunque ciertos especialistas consideran que el calentamiento global es un mito, existe un cierto consenso sobre la necesidad de reducir las emisiones contaminantes para impedir que el calentamiento siga en aumento. De no revertirse la tendencia, los glaciares podrían derretirse, aumentando el nivel de agua en los océanos e inundando numerosas ciudades.

- **Escenarios Climáticos**

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático – IPCC (siglas en inglés), los “escenarios” son descripciones coherentes y consistentes de cómo el sistema climático de la Tierra puede cambiar en el futuro. La metodología empleada para la construcción de escenarios varía de acuerdo al propósito de la evaluación. Por muchos años, los escenarios han sido utilizados por los gobiernos en los ámbitos empresariales y militares como base para el planeamiento estratégico. Estos escenarios socioeconómicos proporcionan un marco para el pensamiento estructurado de cómo el futuro se puede revelar. Por ejemplo, los escenarios pueden requerirse para:

- Ilustrar el cambio climático (en términos del clima presente)
- Proyección de las consecuencias potenciales del cambio climático, como por ejemplo, estimar el cambio futuro de la vegetación natural e identificar especies en riesgo.
- Planeamiento estratégico ante riesgos de incrementos de nivel del mar y de inundaciones.

– Políticas de control de las emisiones, etc.

- **Escenarios de Emisiones**

Existen escenarios del “posible clima futuro”, que son derivados de los escenarios de posibles emisiones futuras de gases de efecto invernadero, los cuales se utilizan en modelos climáticos como elemento introducido para el cálculo de proyecciones climáticas. Cualquier descripción posible del clima futuro dependerá de asunciones sobre las emisiones futuras de los gases de invernadero y otros agentes contaminantes; es decir, dependerán de la opción del panorama de las emisiones.

Un panorama en el cual la emisión de gases de invernadero es baja, debe conllevar a un cambio menos rápido del clima que uno en el cual las emisiones son altas. Un panorama del cambio del clima por lo tanto es una descripción coherente de un cambio futuro del clima bajo asunciones específicas sobre el crecimiento de emisiones de gases de invernadero y de otros agentes contaminantes y sobre otros factores que puedan influenciar en el clima futuro.

Tyndall Centre for Climate Change Research (2002). Señala que los escenarios son una descripción del clima futuro, el cual depende de asunciones acerca de futuras emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, dependiendo de las opciones de los escenarios de emisiones.

- **Cobertura vegetal**

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos, La cobertura vegetal es la expresión integral de la interacción entre los factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado, es decir es el resultado de la asociación espacio- temporal de elementos biológicos vegetales característicos (especies), los cuales conforman unidades estructurales y funcionales (Alcaraz, 2012).

– **Recurso forestal**

Según la Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre los recursos forestales, cualquiera sea su ubicación en el territorio nacional son los siguientes:

- ✓ Los bosques naturales
- ✓ Las plantaciones forestales
- ✓ Las tierras cuya capacidad de uso mayor sea forestal y para protección, con o sin cobertura arbórea
- ✓ Los demás componentes silvestres de la flora terrestre y acuática emergente, incluyendo su diversidad genética

– **Bosque**

Según el Inventario Nacional Forestal (INF): Bosque es el ecosistema predominantemente arbóreo con una cubierta mínima del 10% en la proyección de las copas de los árboles sobre la superficie del suelo, los árboles son de consistencia leñosa y una altura mínima de 2 metros en su estado adulto para costa y sierra y 5 metros de altura mínima para la selva Amazónica, en superficies mayores a 0,5 ha, y con un ancho mínimo de 20 metros. En el caso del bosque denso está estructurado en varios estratos. El bosque en su concepción integral que comprende el suelo, el agua, la fauna silvestre y los microorganismos, los cuales dependen de la densidad del estrato arbóreo o arbustivo, la composición florística, temperatura media y pluviosidad anual, y pendientes, del terreno, dando lugar a asociaciones florísticas, edáficas, topográficas y climáticas, y en todos los casos con una capacidad funcional auto-sostenible para brindar bienes y servicios” (Basado en la consultoría de Jorge Malleux “Definición de bosque en el contexto del Inventario Nacional Forestal del Perú”, Noviembre, 2012).

Otra definición de Bosque, es toda formación vegetal en la que predominan los árboles u otras especies leñosas, incluyendo la fauna asociada a estas. Unidad ambiental conformada por vegetación arbórea, como característica más importante. La estratificación que presenta un bosque (estratos: arbóreo, arbustivo, herbáceo y musical) permite una máxima utilización de la energía solar así como una diversificación de nichos ecológicos, por cuanto las distintas poblaciones animales se van distribuyendo en los distintos estratos vegetales (Pinell, 2003).

– **Tipos de Bosques**

Según la Ley N° 29763: Forestal y de Fauna Silvestre los tipos de bosques son los siguientes:

○ **Bosques de producción permanente**

Los bosques de producción permanente se establecen por Resolución Ministerial del Ministerio del Ambiente, a propuesta del SERFOR, en bosques de las categorías I y II, con fines de producción permanente de madera y otros productos forestales diferentes a la madera, así como de fauna silvestre y la provisión de servicios de los ecosistemas.

○ **Bosques protectores**

Los bosques protectores se establecen sobre bosques de categoría III en zonas de producción permanente o bosques residuales o permanentes en zonas de tratamiento especial, para la conservación de cuencas y fuentes de agua, suelos y hábitats críticos, en los que se permite actividades productivas forestales y de fauna silvestre que no conlleven la pérdida de las funciones de protección. Para el otorgamiento de concesiones de conservación, de ecoturismo, de aprovechamiento de productos forestales diferentes a la madera, y de manejo de fauna silvestre, así como la extracción para consumo local o de subsistencia.

– **Plantaciones forestales**

Según la Ley N° 29763. Ley Forestal y de Fauna Silvestre, define las Plantaciones forestales como ecosistemas forestales constituidos a partir de la intervención humana mediante la instalación de una o más especies forestales, nativas o introducidas, con fines de producción de madera o productos forestales diferentes a la madera, de protección, de restauración ecológica, de recreación, de provisión de servicios ambientales o cualquier combinación de los anteriores. No son plantaciones forestales los cultivos agroindustriales ni los cultivos agroenergéticos.

– **Objetivo de las plantaciones forestales**

El objetivo de toda plantación es tener como resultado un producto de buena calidad y al menor costo posible, esto se logra eligiendo bien la especie y el lugar o sitio donde se ha de plantar, además de ello se debe seleccionar plantas de buena calidad y utilizar técnicas adecuadas para el establecimiento de la plantación PRONAMACHCS - FEMAP (1998).

– **Tipos de plantaciones forestales**

○ **Plantaciones Agroforestales**

Se usa en tierras con fines de producción y protección, para lo cual se utiliza en asociación árboles y arbustos con cultivos agrícolas y /o pastos. Como por ejemplo: el cultivo mixto de especies arbóreas y agrícolas, cercos vivos, cortina de contención de vientos y heladas, plantaciones silvopastoriles.

○ **Plantaciones como obras de conservación de suelos**

Sistemas agroforestales que tienen como objetivo principal alcanzar la mejor producción agrícola y de pastos, lo cual se logra por la función de protección y mejoramiento del suelo que cumplen los árboles asociados con estos cultivos (plantaciones con terrazas de formación lenta, zanjas de infiltración).

○ **Plantaciones de protección**

Cuyo objetivo es estrictamente de protección y para la rehabilitación de ambientes en proceso de deterioro (plantaciones para protección de cabeceras de cuencas, riberas, canales, estabilización de cárcavas, entre otros).

○ **Plantaciones de producción / macizo**

Es el establecimiento de bosques, realizados con el propósito de obtener bienes y /o servicios en forma continua.

– **Finalidad de las plantaciones**

Según la Ley N° 29763. Ley Forestal y de Fauna Silvestre, las Plantaciones forestales tienen las siguientes finalidades:

○ **Plantaciones de producción de madera y otros productos forestales**

Las plantaciones de producción se instalan en suelos que permitan actividades de extracción y se orientan predominantemente al suministro de madera, fibra y productos forestales no maderables, incluyendo fauna silvestre y servicios ambientales. Pueden desempeñar también funciones protectoras, recreativas, paisajísticas y otras, no excluidas por la extracción de productos.

○ **Plantaciones de protección**

Las plantaciones de protección se orientan a la protección de suelos frente a la erosión y al mantenimiento de las fuentes y cursos de agua, privilegiando el empleo de especies nativas y pudiendo incorporar especies exóticas dependiendo de las características ecológicas de cada zona. Permiten la recolección de frutos y otros productos diferentes a la madera, así como el manejo de la fauna silvestre.

○ **Plantaciones de recuperación o restauración**

Las plantaciones de recuperación o restauración se orientan a restaurar el ecosistema natural empleando especies nativas del lugar. Permiten la recolección de frutos y otros productos diferentes a la madera y el manejo de la fauna silvestre.

– **Categorías de zonificación forestal**

Según la Ley N° 29763. Ley Forestal y de Fauna Silvestre la zonificación forestal considera las siguientes categorías:

- **Zonas de producción permanente**

Son las que, por su naturaleza, tienen mayor aptitud para uso forestal, Están constituidas por bosques de las siguientes categorías:

- ✓ **Bosques de categoría I**

Son áreas de bosque natural primario¹ o secundario² cuyas condiciones bióticas y abióticas permiten el aprovechamiento sostenible de recursos forestales y de fauna silvestre, donde es posible la extracción de madera bajo sistemas intensivos o mecanizados, la extracción de productos no maderables y de fauna silvestre y el aprovechamiento económico de servicios de los ecosistemas.

- ✓ **Bosques de categoría II**

Son áreas de bosque natural primario o secundario cuyas condiciones bióticas y abióticas permiten el aprovechamiento sostenible de recursos forestales y de fauna silvestre, donde es posible la extracción de madera solo bajo sistemas de baja intensidad, la extracción de productos no maderables y de fauna silvestre y el aprovechamiento económico de servicios de los ecosistemas.

- ✓ **Bosques de categoría III**

Son áreas de bosque natural primario o secundario, cuyas condiciones bióticas y abióticas le confieren valor especial para la provisión de servicios de los ecosistemas y que permiten el aprovechamiento sostenible de recursos forestales diferentes a la madera sin reducir la cobertura vegetal, así como de la fauna silvestre y de los servicios de los ecosistemas.

¹ Sitio poblado de árboles y matas en donde la acción del hombre es inapreciable y su estructura y composición corresponde a su evolución natural.

² Sitio poblado de árboles y matas en donde se ha producido una acción del hombre que ha modificado su estructura y composición original.

✓ **Bosques plantados**

Son áreas de ecosistemas forestales, producto de la forestación o reforestación con fines de producción sostenible de madera y otros productos forestales, así como el aprovechamiento económico de servicios de los ecosistemas de acuerdo a sus condiciones bióticas y abióticas.

○ **Zonas de protección y conservación ecológica**

Son ecosistemas frágiles que, por su baja resiliencia o capacidad de retorno a sus condiciones originales, resultan inestables ante eventos de naturaleza antropogénica. Constituyen áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en las que se restringen o limitan los usos extractivos.

Cuando en esta categoría de zonificación forestal existan Áreas Naturales Protegidas (ANP), la gestión del patrimonio forestal y de fauna silvestre de la Nación se rige por la Ley N° 26834. Ley de Áreas Naturales Protegidas, y su reglamento; el Decreto Legislativo N° 1013. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, Decreto Legislativo N° 1039. Decreto Legislativo que modifica disposiciones del Decreto Legislativo N° 1013; y Decreto Legislativo N° 1079. Decreto Legislativo que establece medidas que garanticen el patrimonio de las áreas naturales protegidas, y sus reglamentos y normas complementarias.

○ **Zonas de recuperación**

Son áreas que requieren de una estrategia especial para reponer ecosistemas forestales, están constituidas por las siguientes zonas:

✓ **Zonas de recuperación de la cobertura forestal con fines de producción forestal maderera**

Son tierras que no tienen cobertura de bosques primarios o bosques secundarios maduros mayor o igual al treinta por ciento del área, cuyas condiciones bióticas y abióticas favorecen la instalación de plantaciones forestales con fines de producción de madera y otros productos forestales y de fauna silvestre, Sus plantaciones se incorporan como bosques plantados a la categoría de zonas de producción permanente.

✓ **Zonas de recuperación de la cobertura forestal con fines de restauración y conservación**

Son tierras de aptitud forestal o de protección que no tienen cobertura de bosques primarios o secundarios maduros mayor o igual al treinta por ciento del área, cuyas condiciones bióticas y abióticas favorecen la reforestación con especies nativas destinadas a la restauración ecológica, a la provisión de servicios de los ecosistemas y al aprovechamiento de fauna silvestre y de productos forestales diferentes a la madera que no afecten la cobertura vegetal, según los casos.

○ **Zonas de tratamiento especial**

Son las áreas que, por su naturaleza biofísica, socioeconómica, cultural y geopolítica, requieren de una estrategia especial para su asignación de uso, Son categorías de estas zonas:

✓ **Reservas de tierras para pueblos indígenas en situación de aislamiento o contacto inicial**

Estas reservas se rigen por la Ley N° 28736. Ley para la Protección de Pueblos Indígenas u Originarios en Situación de Aislamiento y en Situación de Contacto Inicial, su reglamento y normas complementarias, En ellas no se otorga títulos habilitantes.

✓ **Zonas de producción agroforestal y silvopastoriles**

Son ecosistemas transformados, ubicados sobre tierras forestales o de protección que fueron objeto en el pasado de retiro de la cobertura boscosa, en los que se ha instalado y desarrollado sistemas sostenibles de producción permanente, compatibles con la zonificación ecológico económica (ZEE). En ellos se combinan vegetación forestal o leñosa y plantas domesticadas con fines de producción forestal, agrícola o pecuaria en forma sostenible, contribuyendo a la provisión de servicios ecosistémicos. Comprenden el uso silvopastoril en los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre en tierras bajo dominio del Estado.

✓ **Bosques residuales o remanentes**

Son bosques naturales primarios aislados producto de la fragmentación del hábitat por procesos de ocupación y transformación de paisajes anteriormente forestales. Por sus condiciones de relativo aislamiento y tamaño limitado y por la presión antrópica sobre ellos, sus valores de biodiversidad son generalmente menores a los bosques primarios, a pesar de ello, contribuyen a la salud ambiental de su entorno y proveen servicios ecosistémicos y bienes, principalmente a la población local. De acuerdo a sus condiciones bióticas y abióticas, pueden destinarse a funciones de protección, aprovechamiento de productos no maderables y los servicios de los ecosistemas forestales y otros tipos de vegetación silvestre. Se permite la extracción de madera con regulaciones estrictas y el aprovechamiento económico de servicios de los ecosistemas en las condiciones que establezca el reglamento de la Ley N° 28736.

✓ **Asociaciones vegetales no boscosas**

Son ecosistemas de vegetación silvestre constituida por especies herbáceas y arbustivas principalmente. De acuerdo a sus condiciones bióticas y abióticas, pueden destinarse a funciones de protección, aprovechamiento de productos no maderables y al aprovechamiento económico de servicios de los ecosistemas en las condiciones que establezca el reglamento de la Ley N° 28736.

– **Forestación**

La forestación es aquella actividad que se ocupa de estudiar, fomentar y de gestionar la práctica de las plantaciones, especialmente de los bosques, como lo que son, recursos naturales renovables.

Según la FAO, define a la Reforestación como el establecimiento de plantaciones forestales en tierras desboscadas temporalmente que se consideran bosque. En otras palabras, reforestar consiste en plantar árboles donde ya no existen o quedan pocos así como su cuidado para que estos se desarrollen adecuadamente, además, define a la Forestación como el establecimiento de plantaciones forestales en tierras que hasta ese momento no estaban clasificados como bosque.

– **Silvicultura**

Es la ciencia que trata del cultivo del bosque; es decir, de las técnicas que se aplican a las masas forestales para obtener de ellas una producción continua y sostenible de bienes y servicios demandados por la sociedad. Estas técnicas se pueden definir como tratamientos silvícolas, cuyo objetivo es garantizar dos principios básicos: la persistencia y mejora de la masa (continuidad en el tiempo y aumento de su calidad) y su uso múltiple. El silvicultor emplea diferentes tratamientos silvícolas en función de lo que quiera obtener, como madera, leña, frutos, calidad ambiental. Por ello, la silvicultura siempre ha estado orientada a la conservación del medio ambiente y de la naturaleza, a la protección de cuencas hidrográficas, al mantenimiento de pastos para el ganado y a la fruición pública de los bosques.

– **Capacidad de Uso Mayor de las Tierras**

Se refiere a la aptitud natural de las tierras para producir en forma constante, bajo tratamientos continuos y usos específicos; su Clasificación, es un sistema eminentemente técnico-interpretativo de los estudios de suelos, con ayuda de información climática y de relieve; su único objetivo es asignar a cada unidad de suelo, su uso y manejo más apropiado (D.S. N° 017-2009-AG).

– **Sistemas de Información geográfica (SIG)**

a) Cartografía

Es la ciencia encargada de la preparación de todo tipo de mapas y cartas, incluyendo cada operación desde el planeamiento hasta la impresión final de los mapas, Esto significa que la cartografía comprende la elaboración completa de mapas, es decir, geodesia, topografía, fotogrametría, compilación y reproducción (Roggero, 1995).

b) Mapa

Es la representación gráfica de información geográfica, Incluye datos geográficos del mapa (una o más capas) y otros elementos del mapa como un título, flecha de Norte, leyenda, barra de escala, etc. En un mapa se puede visualizar y consultar interactivamente los datos geográficos y posteriormente prepararlo para imprimir (Bosque, 1992).

c) Sistemas de Información geográfica (SIG)

Es una herramienta empleada en la recopilación, selección, automatización, recuperación, análisis de datos numéricos y gráficos, y su aplicación de los mismos en base de modelos lógicos y descriptivos por medio de superposición de mapas, medición de distancias y localización de áreas de influencias. También se define como un sistema de hardware, software y procedimientos analíticos que integra modernas técnicas de mapeo computarizado con potentes operadores analíticos de base de datos geográficos o espaciales, capaces de efectuar consultas y transformaciones sobre el espacio constituyéndose en una herramienta versátil, eficiente y oportuna para el planeamiento regional urbano-rural y la toma de decisiones. Los SIG tienen en común una ubicación geográfica para el registro de la información. El Sistema de coordenadas pueden ser parte de la red geográfica del mundo, como suele ocurrir frecuentemente, puede pertenecer a otra clase de reticulado nacional o local configurado dentro del sistema geográfico del mundo (Tomlinson, 2007).

d) Base de datos SIG

Es una serie de capas de información espacial en formato digital, que representan diversas variables (formato ráster), o bien capas que representan objetos (formato vectorial) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada (Tomlinson, 2007).

e) File Geodatabase (Geodatabase basada en archivos)

Utiliza un formato propietario de ESRI, que integra los datos en un único directorio o carpeta. Ofrece mejor rendimiento que la geodatabase personal, almacena hasta 1Tb por Dataset y es multiplataforma (Rigaux, 2002).

- **Teledetección**

a) Definición de teledetección

Definido como la disciplina que engloba el estudio de los fundamentos físicos de la observación remota de la superficie terrestre, y de los procedimientos que permiten obtener datos de la misma y su posterior tratamiento. Aquí debemos detenernos para hacer una distinción importante: por dato entenderemos a las representaciones (valores crudos) de un elemento obtenidas por un sensor, y que son plausibles de ser manipulados mediante distintas técnicas computacionales; por información entenderemos al conjunto de aquellos datos que fueron interpretados por un ser humano, a los fines de un objetivo determinado (Gutiérrez, 2000) y (Chuvieco, 2010).

b) Sensores remotos

Equipos electrónicos complejos de observación que tienen la capacidad de detección del flujo energético proveniente de un objeto, como puede ser una cobertura de la superficie terrestre, y almacenar dicha información de diversas formas, como por ejemplo, discretizándola en una matriz digital numérica de filas y columnas (imagen). Los sensores se fundamentan en el origen de la energía empleada para la observación de los objetos (Chuvieco, 2010).

c) Resolución de un Sensor remoto

La resolución de un sistema sensor es su habilidad para discriminar información de detalle. En cuanto al significado de “información de detalle”, conviene considerar que se refiere no solo al detalle espacial que proporciona el sensor, sino también al número y anchura de las bandas del espectro que alberga, a su cadencia temporal, y a su capacidad para distinguir variaciones en la energía que detecta. Todas estas son dimensiones de gran interés a la hora de discriminar cubiertas o establecer modelos de significado físico. En definitiva, el concepto de resolución implica cinco distinciones: espacial, espectral, radiométrica, temporal y angular (Chuvieco, 2010).

d) La imagen

Mientras que una escena se define como la distribución espacial y temporal de la materia y los flujos de energía de la superficie de la cual el sensor extrae mediciones, la imagen representa una colección de los valores de energía procedentes de la observación, los cuales son detectados por el sensor y ordenados electrónicamente de forma sistemática en una matriz de números mediante un sistema de filas y columnas.

Asociado íntimamente al concepto de imagen, está el concepto de celda o píxel (proveniente del término en inglés *picture element*), que representa la mínima unidad de formación de esa matriz de datos, y es donde se “alberga” como número digital (ND) cada uno de los valores de intensidad de energía observados (Chuvieco, 2010).

e) Procesamiento de imágenes

El procesamiento digital de imágenes de satélites es el conjunto de métodos y técnicas orientado a manipulación y análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes digitales, su corrección, mejoramiento, transformación y/o clasificación temática con el fin de generar información útil sobre objetos, áreas y fenómenos (Chuvieco, 2010).

f) Índice de Vegetación de Diferencias Normalizado (NDVI)

Un índice de vegetación es una combinación de valores de reflectancia en diferentes longitudes de onda, con alta sensibilidad cambios en la vegetación y baja sensibilidad a otra información (atmósfera o suelo). La gran mayoría de los Índices de Vegetación están basados en el alto contraste entre la banda del rojo (R) y la del infrarrojo cercano (IRC) para la vegetación viva y verde. (Tucker, 1979).

La ecuación que lo define es:

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R} = \frac{TM_4 - TM_3}{TM_4 + TM_3}$$

Donde:

TM: Número de banda de la imagen satélite LandSat

Por su definición los valores del NDVI varían entre +1 y -1 con valores más altos para la vegetación densa y valores muy bajos (o negativos) para nieve, agua y nubes.

- **Programa LandSat**

La NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), brindan la siguiente información relacionada al programa LandSat.

a) El programa LandSat

El programa Landsat ha revolucionado la forma de ver y estudiar nuestro planeta. Esta serie de datos, que se inició en 1972, es la más larga de la historia y continua registrando los cambios en la superficie terrestre desde el espacio, Landsat ha sido el único sistema de satélite diseñado y operado para observar repetidas veces la cubierta de la tierra con una resolución moderada; de manera general cada pixel en su imagen tiene un tamaño con el que se podría cubrir un campo de béisbol.

En la actualidad el programa se encuentra en su octava versión denominada: “*Landsat Data Continuity Mission*” (LDCM) es el octavo satélite de observación de la serie LandSat y continuará el legado de archivo de los anteriores satélites, convirtiéndose de

esta manera en el futuro de los satélites de observación de la tierra de mediana resolución con más historia.

b) Imágenes satelitales LandSat 8

Las imágenes LandSat 8 obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda nueva (1) (azul-profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus, La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución. El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km).

c) Características orbitales del LandSat 8

- ✓ Órbita polar Heliosíncrona
- ✓ 705 km de altura orbital
- ✓ Inclinación 98,2°
- ✓ Cruce del Ecuador a las 10:00 am (± 15 min) local time (modo descendente)
- ✓ WRS-2 (Worldwide Reference System) path/row system
- ✓ Swat 180 km
- ✓ Tiempo de revisita 16 días, 233 ciclos orbitales
- ✓ Período de Revolución : 98,9 minutos; ~14,5 órbitas

- **Software**

a) ERDAS IMAGINE

Es un potente programa de tratamiento digital de imágenes satelitales y fotos aéreas, orientado a organizaciones con grandes volúmenes de datos espaciales. Permite realizar una amplia gama de análisis y procesos a los siguientes tipos de imágenes: ópticas, pancromáticas, multiespectrales, hiperspectrales, Radar y LiDAR.

b) ENVI

Es un programa construido sobre un lenguaje (IDL) especializado en el manejo, visualización y análisis de datos multidimensionales. Se diferencia de otros programas similares en que contiene funciones especialmente adaptadas al trabajo con información espacial y datos provenientes de sensores remotos, Sus últimas versiones permiten trabajar con datos Radar y Lidar.

c) ArcGIS Desktop

Conjunto integrado de aplicaciones SIG avanzadas para PC de escritorio (ArcCatalog, ArcMap, ArcToolBox, ArcReader, ArcScene, ArcGlobe y diversas extensiones específicas). Se distribuye bajo tres niveles de licencias que, en orden creciente de funcionalidades y coste, son las siguientes: ArcView, ArcEditor y ArcInfo (Bosque, 1992).

d) ArcMap

Es la aplicación central del ArcGIS, este módulo permite visualizar, consultar, editar y realizar análisis sobre los datos en un entorno de visualización, edición y presentación (preparación de salidas gráficas) totalmente integrado. Además posee un potente entorno de análisis con generación de buffer, selecciones espaciales, por atributos, análisis de redes y otras funcionalidades disponibles directamente desde la interfaz (Bosque, 1992).

e) Proyecto o documento de mapa (*.mxd)

No es un archivo de datos espaciales, simplemente contiene en su interior la ruta y las características de visualización de cada una de las capas a las que hace referencia (colores, símbolos, tramas, grosor de línea, etc.) del agregado de imágenes y datos del mapa y las especificaciones de la vista de diseño del mapa final (Bosque, 1992).

De acuerdo a la Ley N° 29664 y su reglamento aprobado mediante D.S. N° 048-2011-PCM se presentan las siguientes definiciones:

- **Peligro o amenaza**

Es la probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos. Viene a ser la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno físico con capacidad de ocasionar daños físicos, económicos y ambientales al interactuar con unidades sociales expuestas y en condiciones de vulnerabilidad. Son de origen natural, socio natural, antrópico o tecnológico y se manifiestan con una intensidad, localización y tiempo determinado. El evento físico una vez ocurrido no es un peligro, sino un evento físico, consumado. El nivel de daño que puede ocasionar está en función de la exposición de los elementos y el nivel de vulnerabilidad que estos presenten; es en estas condiciones en que se convierte en peligro y genera un escenario de riesgo.

- **Vulnerabilidad**

Es la susceptibilidad, de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, a sufrir daños por acción de un peligro o amenaza. Esta susceptibilidad se debe al grado de exposición de las unidades sociales a un peligro y a los factores de vulnerabilidad: fragilidad social y baja resiliencia. En cuanto a la exposición física; se considera el uso y ocupación del territorio sin una adecuada planificación y sin tomar en cuenta criterios de ordenamiento territorial, ni la observancia de normas constructivas.

- **Riesgo de desastre**

Es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro. El riesgo de desastre hace referencia a un contexto o entorno social cuyas características y condicionantes anuncian o presagian daños y pérdidas en el futuro, cuya magnitud, intensidad e impacto serían de un nivel tal que interrumpen el funcionamiento rutinario o normal de la sociedad afectada como un todo, y pongan en peligro la sobrevivencia misma de la unidad afectada, requiriendo de apoyos y ayuda externa para lograr la recuperación

y reconstrucción. Como condición, el riesgo de desastre requiere, sine qua non, la presencia, confluencia, interacción de dos factores o componentes: las amenazas físicas y comunidades o conglomerados humanos expuestos a sus impactos y existiendo en determinadas condiciones de vulnerabilidad.

- **Desastre**

Conjunto de daños y pérdidas, en la salud, fuentes de sustento, hábitat físico, infraestructura, actividad económica y medio ambiente, que ocurre a consecuencia del impacto de un peligro o amenaza cuya intensidad genera graves alteraciones en el funcionamiento de las unidades sociales, sobrepasando la capacidad de respuesta local para atender eficazmente sus consecuencias, pudiendo ser de origen natural o inducido por la acción humana.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

3.1.1. UBICACIÓN

La microcuenca del río Lullán se encuentra en el distrito de Caraz, provincia de Huaylas en el Departamento de Ancash. Abarca una superficie de 147,30 km. El rango altitudinal va desde las cumbres del nevado Huandoy (6390 m s.n.m.) hasta la desemboca del río Lullán al río Santa, a 2200 m s.n.m. (Figura 6).

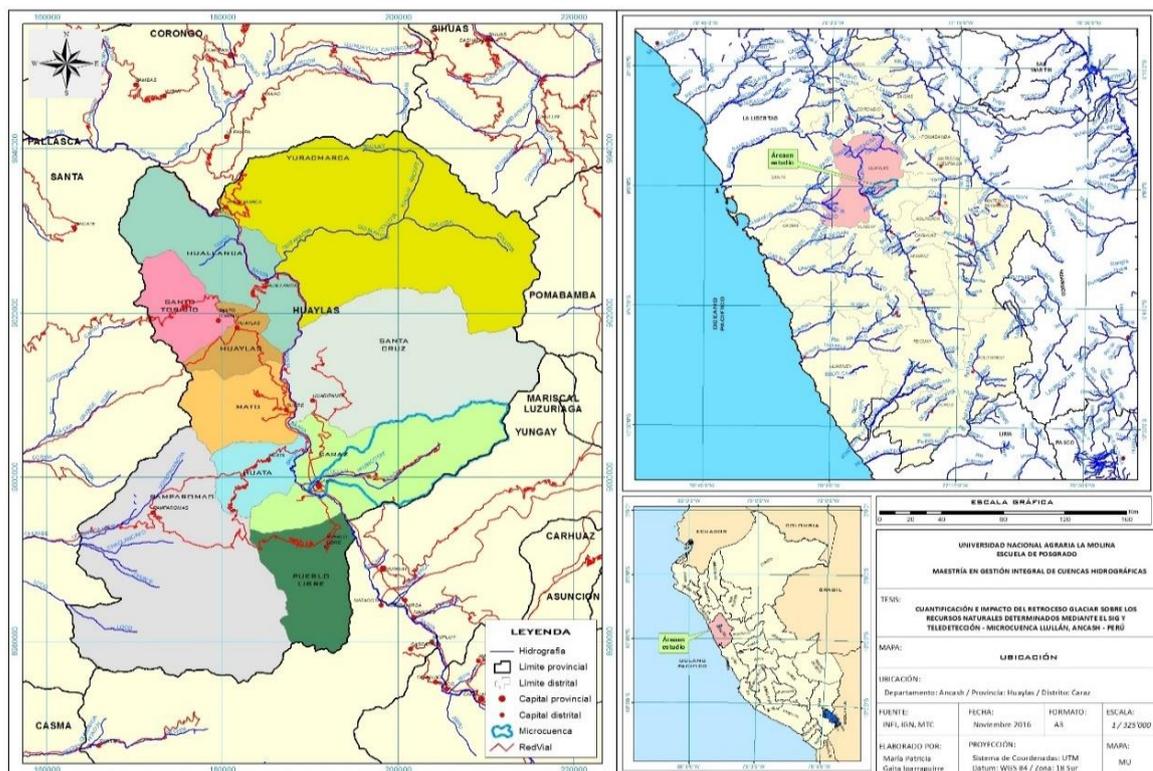


Figura 6: Mapa de ubicación de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC.

Elaboración propia.

3.1.2. VÍAS Y ACCESOS

La microcuenca Lullán cuenta con vías que integra el acceso desde la ciudad de Caraz se accede a la Laguna Parón a través de un camino afirmado recorriendo unos 32 km. (Figura 7).

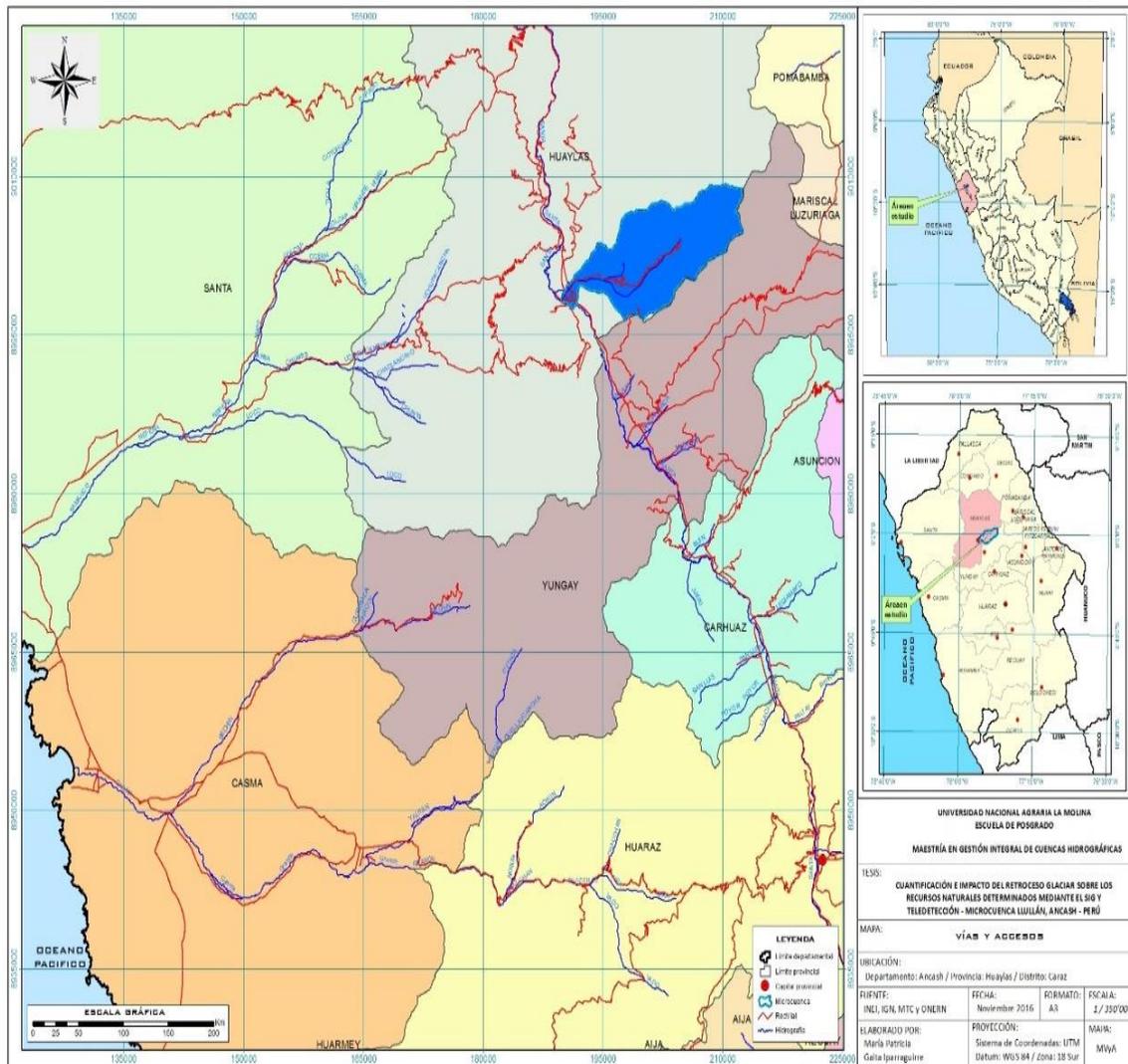


Figura 7: Mapa de vías y accesos - Microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia.

3.1.3. PARQUE NACIONAL HUASCARÁN

Del área total de la microcuenca Lullán 98,01 km² se superpone al Parque Nacional Huascarán es decir el 73%. El PNH fue creado mediante Decreto Supremo N° 0622-75-AG, sobre una extensión territorial de 340 000 hectáreas. En estas áreas está prohibido el asentamiento de nuevos grupos humanos y el aprovechamiento de los recursos naturales. Se permite el ingreso de visitantes que van a realizar actividades con fines científicos, educativos, turísticos y culturales, bajo condiciones debidamente reguladas. El uso científico es privilegiado en estas áreas, por encima de cualquier otro uso público. Pueden realizarse intervenciones en el área con fines de manejo para asegurar la conservación de aquellos componentes de la diversidad biológica que así lo requieran. Dichas intervenciones deben estar definidas en el Plan Maestro respectivo. MINAM, (2009). (Figura 8).

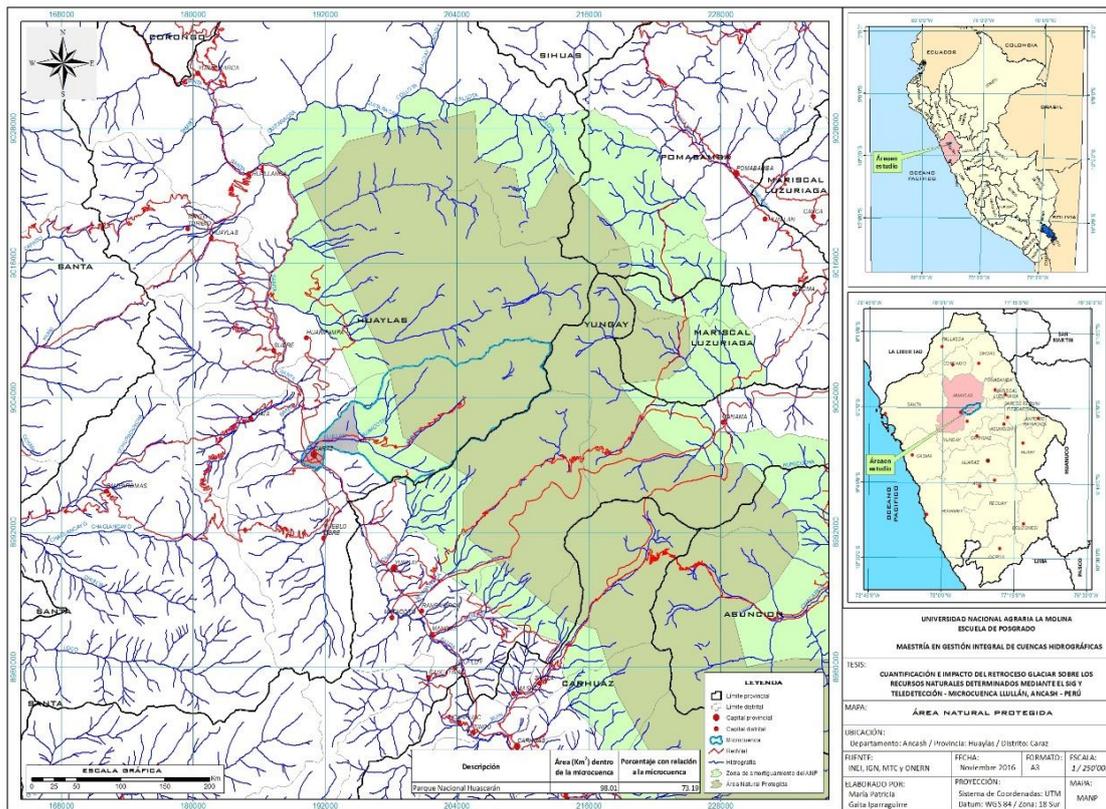


Figura 8: Mapa de Áreas Naturales Protegidas en la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia.

3.1.4. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Hidrográficamente la microcuenca Lullán se ubica en la vertiente del Pacífico de la Cordillera Blanca, en la margen derecha del río Santa; forma parte de la Cuenca del río Santa. (Figura 9).

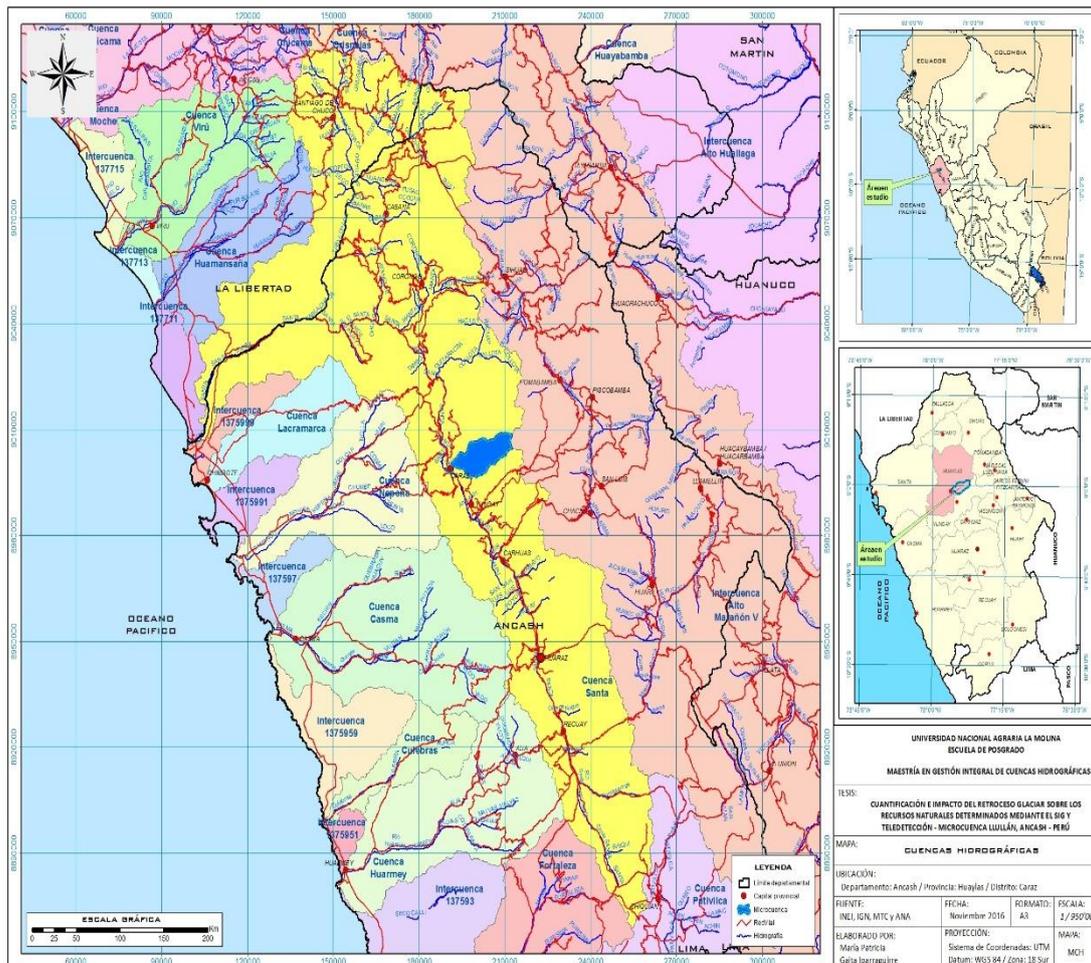


Figura 9: Mapa de Cuencas hidrográficas

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ANA.

Elaboración propia.

3.1.5. GEOLOGÍA

La geología de la microcuenca comprende una secuencia de rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas cuyas edades varían desde el cretáceo inferior hasta el cuaternario reciente. Los depósitos cuaternarios en general yacen sobre la cuenca media y alta, estos depósitos forman conos de deyección de los ríos y quebradas de las antiplanicies y montañas. Los depósitos recientes son materiales sueltos, gravas, arenas, arcillas, materiales porosos que funcionan como acuíferos libres, por ello están expuestos a la contaminación. Normalmente forman las partes centrales de las cuencas conformadas por canales de grava, barras arenosas, llanuras de inundación (limo, arcilla, arenas). Las rocas volcánicas están constituidas por andesitas piroclásticas y brechas de color gris verdoso de textura porfirítica, que conforman terrenos aceptables para la ubicación de obras de ingeniería. De acuerdo al Mapa geológico de la microcuenca Llullán (Figura 10) 39,30% pertenece al Cuaternario holoceno-continental, seguido del Neógeno granodirita-tonalita con 38,22%, Neógeno plioceno-volcánico 18,54% y Cretáceo inferior marino continental en un 3,94%.

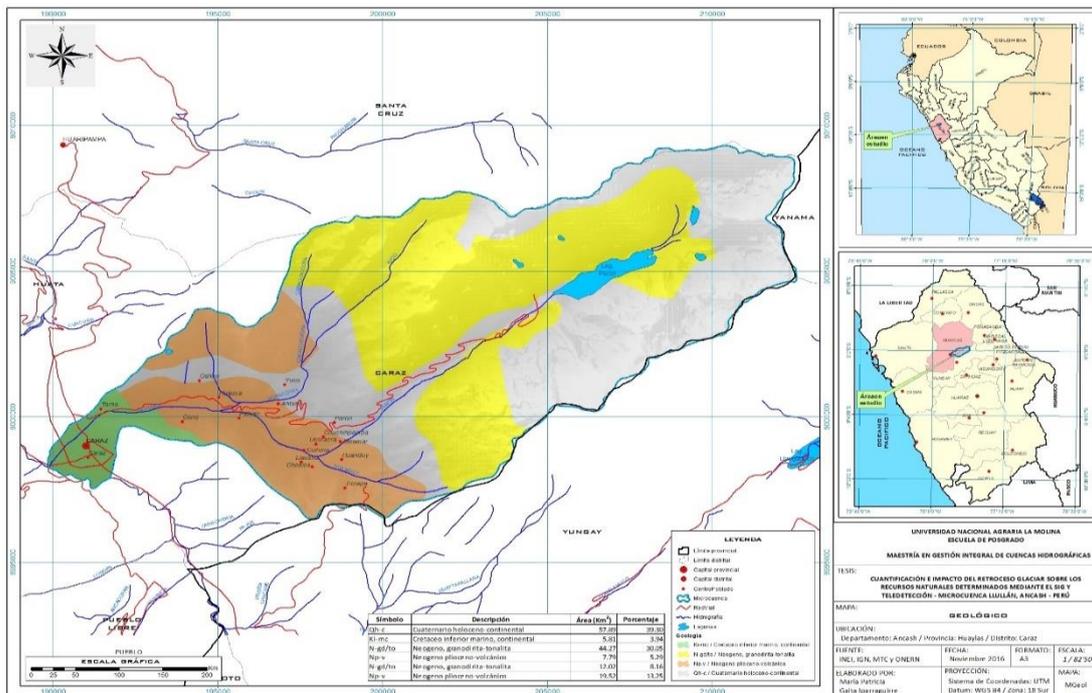


Figura 10: Mapa geológico de la microcuenca Llullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia

3.1.6. GEOMORFOLOGÍA

La microcuenca Llullán posee dos macro unidades geomorfológicas: Flanco Occidental de los Andes y Altiplano. El flanco occidental se encuentra desde los 2200 m s.n.m. a los 3500 m s.n.m., este se caracteriza por unidades geológicas de fuerte pendiente y por estar intensamente disectadas por valles profundos. La unidad del Altiplano se desarrolla en la sección oriental de la cuenca, aproximadamente desde los 3500 m s. n. m., se caracteriza por su topografía suave y más o menos ondulada. INGEMMET (1989). Las unidades geomorfológicas identificadas en la microcuenca Llullán son: Estribaciones del frente andino, Altiplanicies y Área glaciada. (Figura 11).

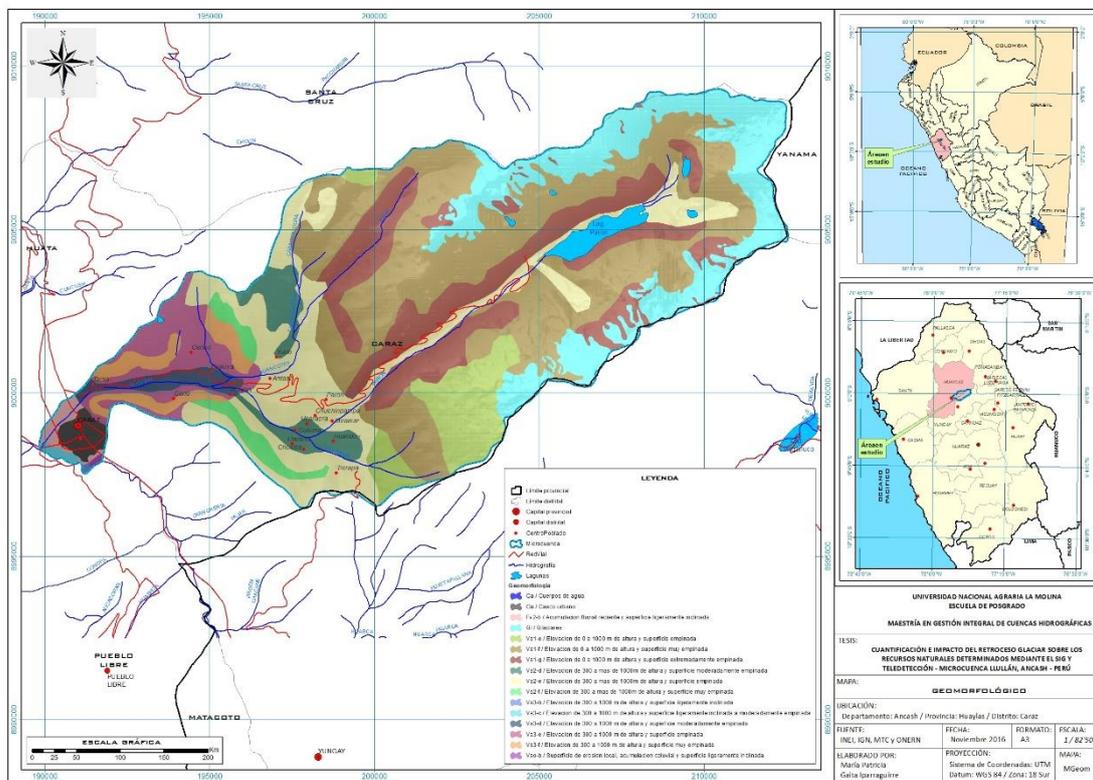


Figura 11: Mapa geomorfológico de la microcuenca Llullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia

3.1.7. FISIOGRAFÍA

Fisiográficamente la Sierra Altoandina - Colina y Montaña es predominante en el área de estudio ocupando el 50,82%, el 22,36% corresponde a la Sierra Mesoandina - Montaña seguido de la Sierra Bajoandina - Montaña con 7,16%, la Sierra Mesoandina – Planicie y Sierra Mesoandina – Planicie ondulada a disectada comprende el 2,31% y 0,06%, respectivamente. Mientras que el 17,26% corresponden a glaciares, poblaciones, cuerpos de agua. (Figura 12).

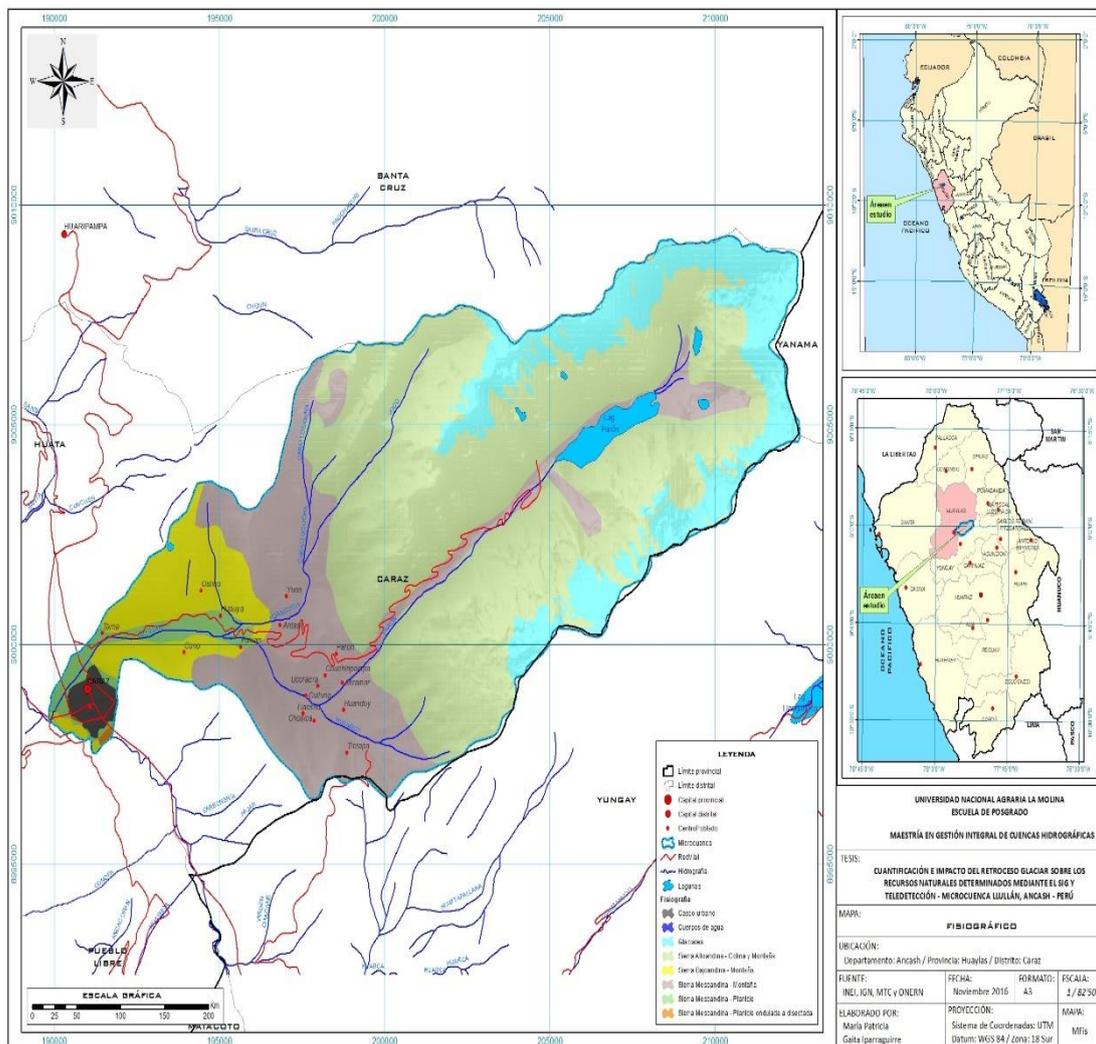


Figura 12: Mapa fisiográfico de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN

Elaboración propia

3.1.8. PENDIENTE

En el área de estudio predominan las pendientes mayores al 25%, que abarcan el 88,42% de la superficie total, es decir 130,25 km². (Figura 13).

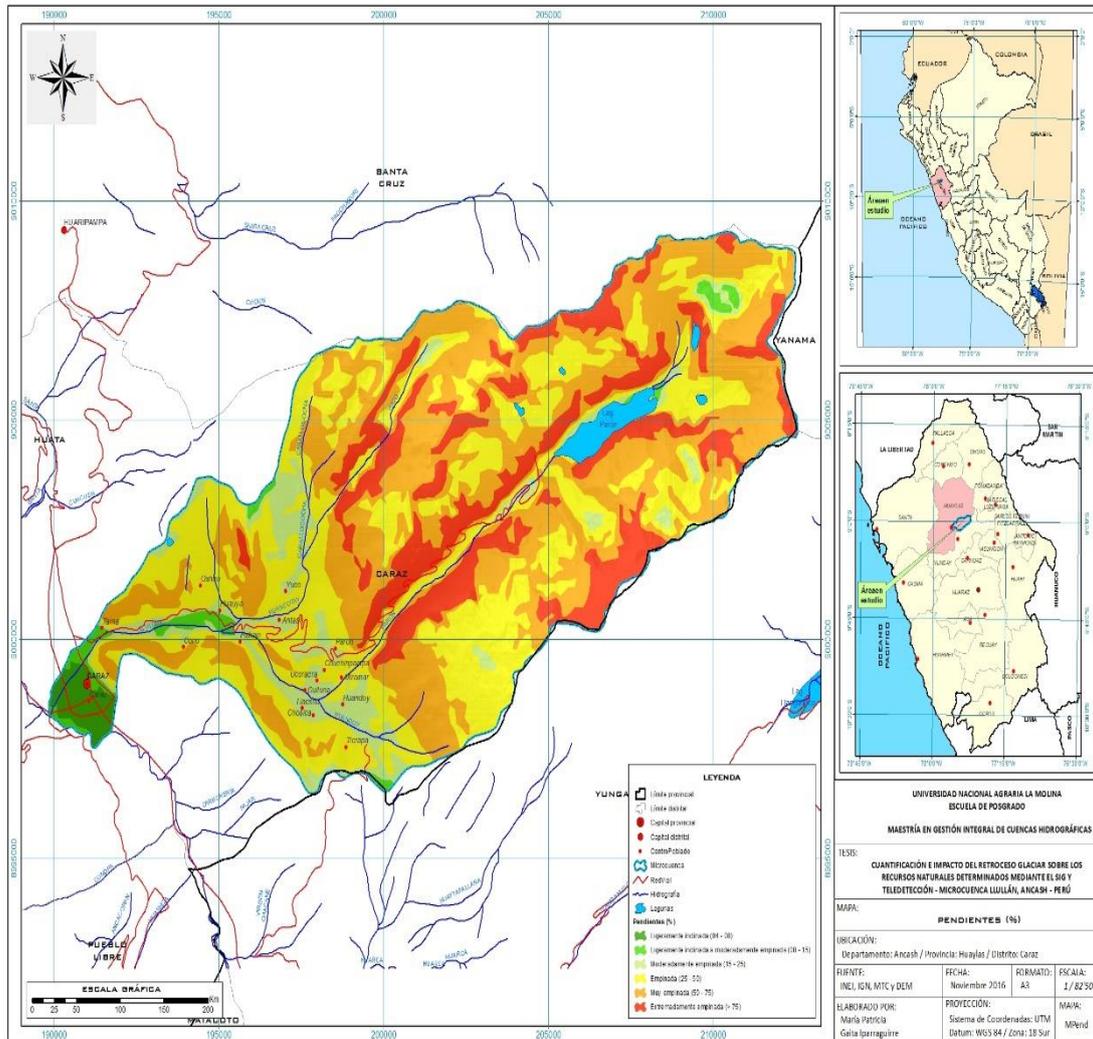


Figura 13: Mapa de pendientes de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y DEM

Elaboración propia

3.1.9. CAPACIDAD DE USO MAYOR

En la microcuenca Lullán existen tierras de protección para producción forestal en sierra – cultivo en limpio, ambas de calidad agrologica baja (23,53%); tierra de protección – pastos temporales cultivo en limpio, ambas de calidad agrologica baja, los cultivos requieren riego suplementario (10,55%); tierras para pastos de calidad agrologica baja (42,85%) y tierras para pastos de calidad agrologica baja – protección (5,78%). (Figura 14).

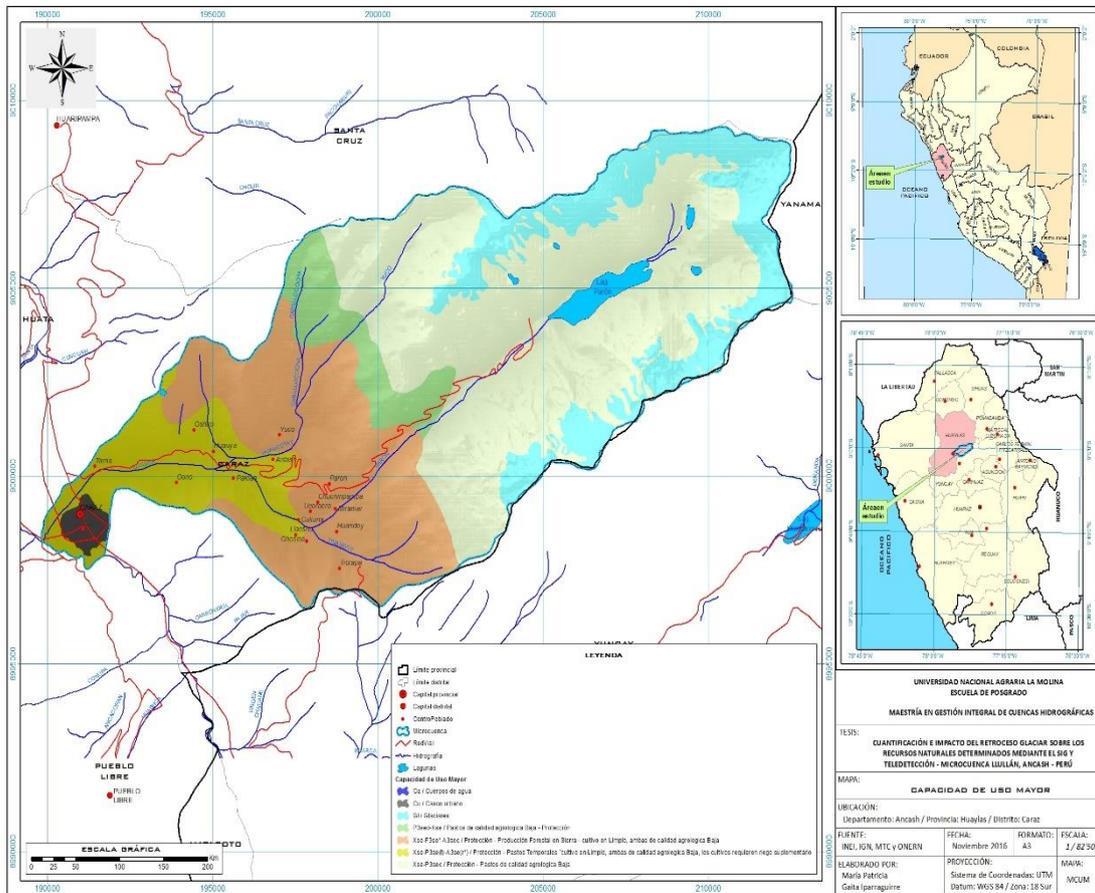


Figura 14: Mapa de Capacidad de Uso Mayor de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia

3.1.10. SUELOS

La mayor parte de la superficie de la microcuenca Lullán está constituida por el suelo tipo Regosol distrito – afloramiento lítico (80,83%), solo 2,77 km² son del tipo Leptosol distrito – afloramiento lítico (1,88%). (Figura 15).

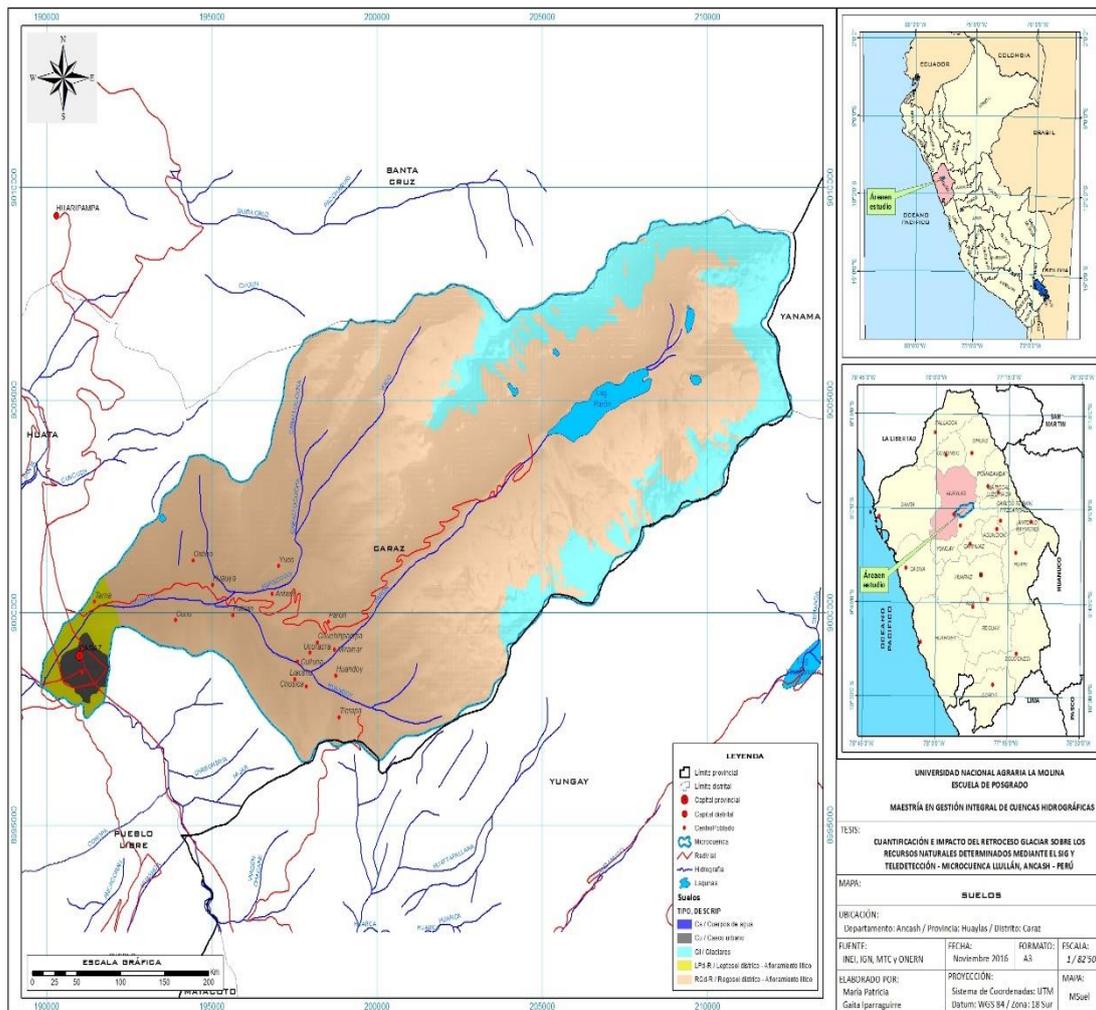


Figura 15: Mapa de suelos de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia

3.1.11. CAUDAL

Los registros de caudal provienen de la Estación Limnigráfica de Parón ubicada a 4100 m s.n.m coordenadas UTM Este 865190, Norte 9005695 del año 1953 a 1995.

Cuadro 1: Estación parón: Caudales medios mensuales (m³/s) - Periodo 1953-1995.

Cuadro 1: Estación parón: Caudales medios mensuales (m³/s) - Periodo 1953-1995

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1953	2,26	2,66	2,46	2,18	1,84	1,53	1,59	1,83	1,57	1,01	1,42	2,23
1954	2,56	2,51	2,30	2,14	1,72	1,18	0,90	0,77	0,77	0,81	0,84	1,23
1955	1,52	1,71	2,12	2,30	1,68	1,16	0,78	0,66	0,61	0,61	0,87	1,32
1956	1,79	1,95	2,15	1,91	1,58	1,11	0,80	0,68	0,69	0,76	1,11	1,70
1957	2,60	2,87	SD	2,12	1,76	1,44	1,16	1,15	1,05	1,11	1,37	2,02
1958	2,99	2,95	2,82	2,60	2,35	1,81	1,27	1,15	1,22	1,31	1,65	2,56
1959	3,41	2,86	2,56	2,78	1,78	1,32	0,96	0,95	0,93	1,15	1,28	1,89
1960	2,26	2,43	2,24	2,09	1,57	1,29	1,15	1,09	1,05	1,06	1,31	2,02
1961	2,91	2,77	2,68	2,47	1,64	1,15	0,81	0,71	0,70	0,69	0,94	1,17
1962	1,66	2,42	2,55	2,28	1,50	1,02	0,78	0,74	0,79	0,94	1,16	1,50
1963	1,77	1,89	2,12	2,21	1,69	1,15	0,78	0,68	1,57	1,40	1,56	1,67
1964	2,33	2,93	2,70	2,20	1,55	1,04	0,85	0,83	0,78	0,91	1,06	1,20
1965	1,25	1,56	1,74	1,49	1,26	0,99	0,86	0,83	0,93	1,12	1,38	1,86
1966	2,21	2,32	2,17	1,69	1,44	1,34	1,24	1,19	1,29	1,30	1,46	1,62
1967	1,58	1,93	2,17	1,74	1,31	1,06	0,85	0,74	0,82	0,90	1,25	1,65
1968	1,83	1,82	1,63	1,48	1,33	1,11	0,94	0,86	1,00	1,09	1,29	1,72
1969	2,24	2,41	2,46	2,43	2,19	1,67	1,36	1,11	1,15	1,33	1,35	1,68
1970	2,05	1,94	2,29	2,16	1,85	SD	1,59	1,83	1,09	1,14	1,37	1,75
1971	2,13	2,39	2,75	2,56	1,75	1,38	1,04	0,82	0,84	1,02	1,38	1,64
1972	1,51	1,81	2,11	2,38	2,51	1,47	1,30	1,15	1,13	1,15	1,39	1,78
1973	2,59	2,95	2,95	2,38	2,14	1,65	1,39	1,30	1,12	1,24	1,53	1,78
1974	1,92	2,05	2,28	1,98	1,61	1,40	1,05	0,92	0,83	0,93	1,28	1,62
1975	1,68	1,76	2,08	2,10	1,84	1,39	1,10	0,76	1,04	0,97	1,29	1,47
1976	1,60	1,77	1,99	2,16	1,80	1,49	1,10	0,88	0,92	1,29	1,84	2,10
1977	2,48	2,53	2,38	2,33	2,06	1,63	1,45	1,43	1,39	1,53	1,71	1,96
1978	2,15	2,63	2,43	2,23	2,00	1,64	1,51	1,38	1,40	1,38	1,76	1,98
1979	3,54	3,74	3,20	2,53	2,11	1,85	1,38	1,46	1,38	1,65	1,88	2,54
1980	3,05	2,87	3,03	2,78	2,31	2,15	1,88	1,70	1,99	2,08	2,14	2,34
1981	2,93	3,41	3,51	2,59	2,38	2,17	1,74	1,60	1,58	1,72	1,94	2,08
1982	2,35	2,61	2,73	2,64	2,35	1,91	1,53	1,31	1,23	1,34	1,59	1,77
1983	3,19	4,23	3,54	3,23	2,41	1,93	1,72	1,92	2,03	1,95	2,17	2,39
1984	2,16	3,16	3,52	4,46	2,94	0,58	0,54	0,64	0,71	0,75	0,83	1,23
1985	1,74	5,04	4,38	3,92	3,72	3,61	3,57	3,58	2,85	2,56	2,37	2,39
1986	2,62	2,53	2,41	2,39	2,26	2,06	1,99	1,87	1,92	1,76	1,94	2,11
1987	2,75	2,95	3,12	3,04	2,94	2,96	2,35	1,93	1,98	1,88	2,02	2,27
1988	2,70	2,82	2,85	2,81	2,42	2,43	2,42	2,37	2,46	2,21	1,97	1,70
1989	2,08	2,35	2,66	2,66	2,43	2,02	1,91	1,69	1,30	1,26	1,49	1,77
1990	3,50	5,61	3,17	2,31	1,69	1,75	1,59	1,83	1,57	1,40	1,85	1,91
1991	1,83	3,89	6,57	SD	2,26	2,21	2,06	1,93	1,88	1,48	1,58	4,61
1992	4,32	7,72	0,53	0,44	0,42	1,32	1,21	5,68	4,68	2,14	3,84	1,84
1993	1,53	0,59	0,58	0,56	0,51	1,20	5,53	7,55	3,14	1,13	0,87	0,93
1994	0,31	0,31	0,32	0,17	SD	SD	4,27	4,25	1,57	3,11	1,44	0,67
1995	0,51	0,33	0,34	0,38	0,34	SD	1,59	1,83	1,57	1,40	1,56	1,84

FUENTE: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

El caudal medio mensual resultado de una serie de 42 años, oscila entre 1,35 m³/s a 2,65 m³/s, correspondiente éste último, al mes de febrero. (Figura 16).

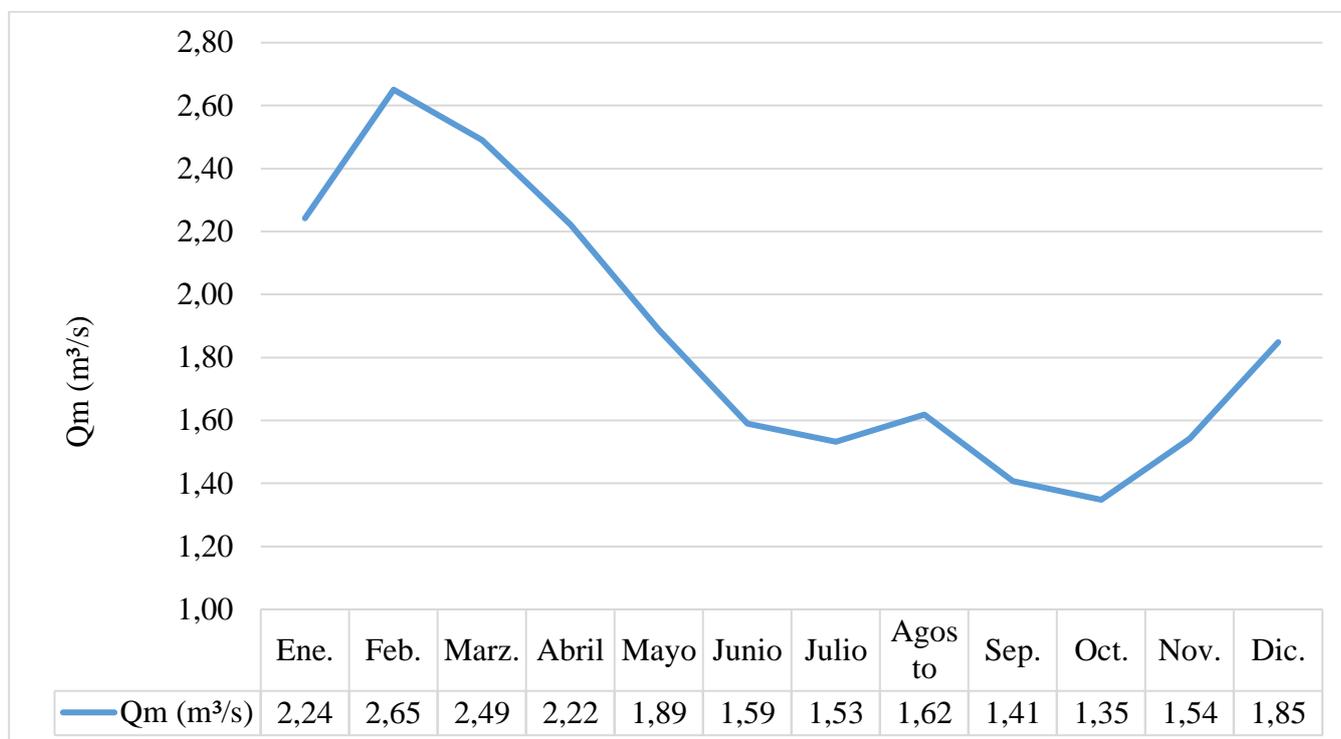


Figura 16: Estación Parón: Caudal medio mensual (m³/s), serie 1953 – 1995.

Elaboración propia. Noviembre 2016

3.1.12. PRECIPITACIÓN

Se trabajó con los datos de Precipitación acumulada mensual proveniente de la Estación de Parón ubicada a 4185 m s.n.m. coordenadas geográficas Latitud 9° 9' 00' Longitud 77° 43' 48" en el periodo 1949 al 2015 los cuales se muestran en el Cuadro 2, obteniendo el siguiente Pluviograma anual, Figura 17 Estación Parón: Precipitaciones anuales 1949 – 2015.

**Cuadro 2: Estación Parón: Serie histórica de precipitación total mensual (mm) –
Periodo 1949 - 2015**

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1949	9,5	110,3	204,9	82,3	16,9	37,2	4,1	17,6	9,3	42,8	46,5	38,0
1950	149,4	261,1	182,4	129,6	0,0	0,0	0,0	6,6	33,2	74,0	78,0	99,0
1951	64,5	136,2	161,1	42,5	13,1	32,5	0,0	47,2	36,1	74,0	50,9	99,0
1952	132,5	124,5	164,8	49,5	5,1	8,3	3,9	8,4	9,9	74,0	67,9	99,1
1953	137,4	151,4	135,2	76,0	11,7	0,6	1,2	1,5	43,0	67,1	178,5	107,1
1954	247,4	77,8	175,1	42,2	52,7	6,4	2,2	0,0	51,8	125,0	88,8	161,3
1955	122,1	274,2	266,0	126,4	35,1	7,1	4,4	19,3	57,2	64,8	59,1	118,4
1956	205,4	256,3	189,5	132,8	23,9	0,0	0,0	0,0	77,1	111,9	42,3	50,9
1957	123,2	206,5	145,3	121,5	213,0	89,0	0,0	4,3	36,1	74,0	78,0	105,1
1958	102,8	197,6	130,7	66,6	25,7	8,1	0,0	5,3	8,4	82,7	8,5	28,1
1959	68,4	160,4	128,6	82,3	9,8	0,0	0,0	0,0	15,5	119,1	78,0	99,0
1960	190,9	159,9	88,6	82,2	18,9	0,0	3,9	23,7	31,4	74,0	94,9	49,6
1961	212,2	76,7	162,8	82,6	14,9	0,0	0,0	4,5	60,4	49,6	48,4	79,2
1962	186,4	148,6	203,2	55,4	12,8	5,2	0,0	3,2	50,1	39,0	23,8	59,9
1963	115,9	128,8	182,6	91,7	9,6	12,2	0,0	4,9	42,1	53,8	104,1	77,1
1964	59,2	90,0	122,8	96,4	26,0	6,9	22,1	47,8	24,5	106,9	76,2	67,0
1965	29,6	115,2	139,6	82,3	23,6	0,0	8,3	7,1	92,7	67,7	50,6	115,9
1966	107,0	100,9	52,4	65,8	12,1	0,0	0,0	0,0	21,0	138,8	100,9	56,4
1967	150,2	172,5	160,0	50,7	29,5	1,5	14,2	17,0	26,7	109,6	52,6	34,1
1968	127,3	95,6	112,5	36,1	12,8	10,0	5,2	12,2	32,3	85,8	38,3	77,8
1969	82,2	78,6	157,3	55,8	13,3	7,4	0,0	15,1	7,1	66,8	74,0	86,5
1970	62,6	112,7	115,3	92,4	86,7	10,0	3,9	8,4	36,1	92,9	77,5	91,9
1971	109,6	153,2	250,4	99,8	12,2	4,6	2,4	28,8	51,4	98,2	87,1	126,2
1972	78,9	160,5	246,4	126,1	34,4	8,5	2,0	8,6	28,8	65,9	86,0	76,0
1973	129,0	112,6	137,9	119,4	26,7	26,2	3,9	8,4	36,1	74,0	78,0	99,0
1974	158,1	265,7	101,5	38,3	0,0	0,0	28,5	20,1	28,1	23,1	42,1	75,4
1975	182,3	131,3	219,7	120,0	37,7	0,0	0,0	12,6	95,0	70,0	44,9	93,4
1976	143,0	160,5	143,5	51,4	20,8	0,0	13,0	17,3	17,1	16,2	43,4	83,3
1977	128,8	120,7	79,4	100,7	22,1	64,0	1,1	0,0	15,3	45,6	113,2	123,6
1978	38,4	157,3	64,0	92,2	65,8	0,0	5,8	0,0	87,1	42,8	74,6	66,9
1979	46,7	95,2	161,2	44,3	11,1	0,0	0,0	2,4	23,7	21,2	78,3	88,9
1980	53,2	61,9	11,7	52,4	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	133,0	141,8	74,7
1981	80,8	168,2	146,5	4,2	0,7	3,6	0,0	21,9	21,9	0,0	91,9	173,4
1982	90,8	181,4	26,7	105,7	184,6	5,5	0,0	0,0	0,0	29,2	245,8	69,3
1983	118,3	81,4	44,5	175,5	70,0	25,8	1,8	0,0	45,0	55,8	93,1	171,4
1984	100,7	174,2	202,4	102,1	59,2	16,4	1,0	6,7	28,1	99,5	45,4	104,1
1985	62,2	96,4	137,0	39,2	37,8	0,7	3,6	13,9	92,2	33,7	7,8	73,9
1986	118,6	137,6	102,7	92,9	0,0	0,0	0,0	18,9	12,9	15,0	85,1	20,4
1987	162,0	138,7	120,0	128,6	83,5	1,0	4,9	19,0	3,8	60,8	41,6	112,4
1988	92,5	213,6	96,3	102,8	85,0	11,2	0,4	0,0	1,4	0,0	82,8	106,5
1989	104,3	153,0	136,5	18,8	30,6	0,0	0,0	22,0	39,3	122,7	0,0	15,0
1990	14,9	64,1	113,3	58,0	51,0	39,0	24,7	2,5	32,5	133,3	21,3	72,3

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1991	35,3	68,1	147,8	64,9	214,5	0,0	4,1	0,0	11,7	91,2	52,3	0,0
1992	124,2	136,2	91,0	80,9	0,1	48,2	0,0	8,8	27,1	20,0	1,8	25,0
1993	96,1	206,5	48,8	140,6	108,5	37,1	0,0	0,0	82,6	67,8	165,1	204,9
1994	139,7	185,5	213,3	173,4	49,4	13,4	1,5	17,7	36,3	38,4	61,9	133,1
1995	113,5	108,6	167,3	104,5	14,0	19,0	5,5	0,0	34,2	3,9	49,7	87,0
1996	183,2	196,1	83,0	112,6	19,5	0,0	0,0	6,7	17,8	140,9	60,6	85,1
1997	102,6	92,7	56,5	52,1	35,6	16,8	7,4	0,7	46,0	65,4	90,1	180,8
1998	130,5	136,6	127,4	92,0	7,9	10,2	0,0	6,0	25,1	133,0	80,4	81,1
1999	168,6	264,8	112,0	54,2	26,5	13,1	4,0	0,0	94,9	50,6	82,0	124,0
2000	80,7	206,3	207,3	89,8	44,8	0,0	0,4	19,9	39,7	33,2	47,5	146,3
2001	228,8	82,4	242,3	36,4	30,0	0,0	11,1	0,0	42,7	92,0	141,1	75,1
2002	82,3	117,4	229,0	63,4	11,1	0,7	1,7	0,0	24,5	130,6	116,5	91,5
2003	91,3	98,3	132,9	36,2	16,0	6,4	3,2	3,6	12,2	49,0	39,0	116,8
2004	42,6	97,3	26,9	57,2	22,9	9,7	14,7	2,8	49,3	100,3	147,1	122,4
2005	135,4	78,5	187,2	68,8	5,6	0,5	0,0	15,0	32,3	103,1	30,5	160,3
2006	81,0	99,6	179,1	113,5	4,1	5,3	3,3	7,9	15,2	84,6	87,1	171,2
2007	81,3	63,5	184,1	95,5	18,0	0,3	6,4	8,4	24,1	128,8	93,0	91,2
2008	150,9	3,8	116,8	93,5	13,0	14,5	0,5	8,4	36,1	74,0	78,0	99,0
2009	115,3	136,2	139,6	82,3	40,4	10,0	3,9	8,4	36,1	74,0	78,0	99,0
2010	115,3	136,2	139,6	82,3	40,4	10,0	3,9	8,4	36,1	117,8	183,0	220,4
2011	157,6	162,2	194,6	82,3	40,4	10,0	3,9	8,4	36,1	74,0	78,0	99,0
2012	115,3	136,2	204,0	162,4	190,1	6,4	1,8	6,4	52,6	134,6	152,0	163,2
2013	55,8	136,2	139,6	82,3	40,4	10,0	3,9	8,4	36,1	74,0	78,0	99,0
2014	115,3	114,1	100,9	0,2	1,0	11,3	1,7	1,8	38,8	49,8	75,9	159,2
2015	179,8	86,9	115,8	51,8	86,2	5,2	5,4	0,2	16,2	61,4	65,4	113,8

FUENTE: ELECTRO PERU - DUKE ENERGY EGENOR - Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Nota. No se contaba con datos en las celdas de color amarillo, estos han sido completados con la Precipitación mensual promedio de la serie.

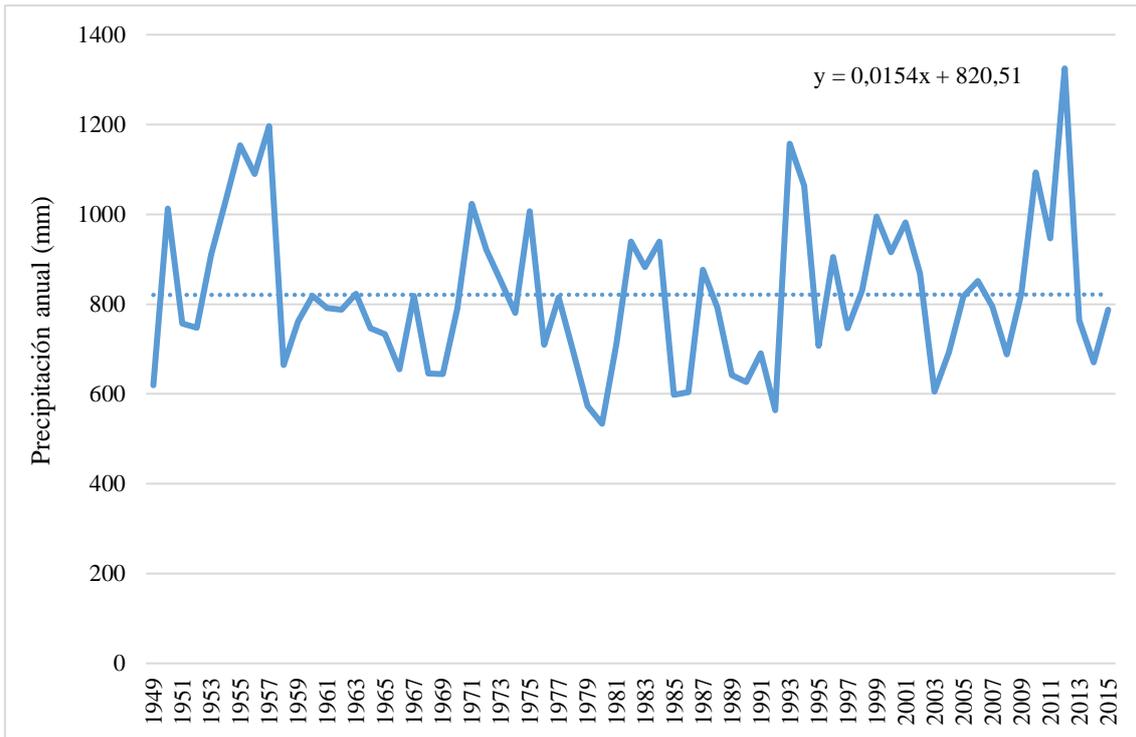


Figura 17: Estación Parón: Precipitaciones anuales 1949 - 2015

FUENTE: ELECTRO PERU - DUKE ENERGY EGENOR - Autoridad Nacional del Agua (ANA)
Elaboración propia.

Con esta información se realizó el cálculo de la precipitación promedio mensual de la serie. (Figura 18).

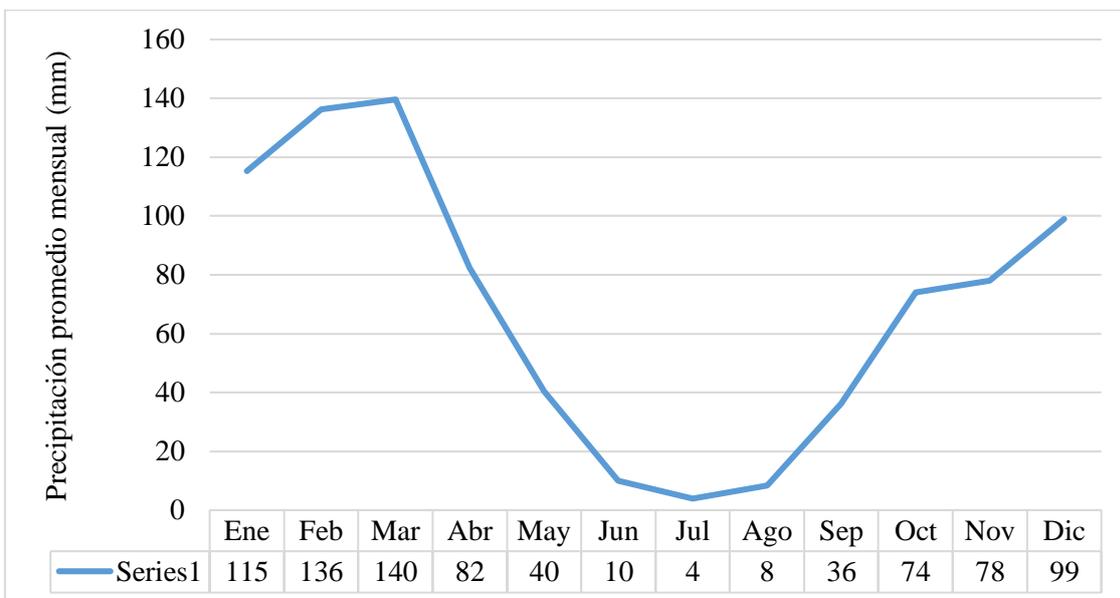


Figura 18: Estación Parón: Precipitación promedio mensual, serie 1949 - 2015

FUENTE: ELECTRO PERU - DUKE ENERGY EGENOR - Autoridad Nacional del Agua (ANA)
Elaboración propia.

3.1.13. Temperatura

Al no contar con un registro de temperatura en el ámbito de la microcuenca Lullán se utilizó los valores de temperatura media mensual de la estación de Querococha en el periodo comprendido de 1965 a 1999 ubicada a 3980 m s.n.m, estando la estación de Parón ubicada a 4195 m s.n.m se realizó la corrección de acuerdo al Gradiente Térmico Vertical global de la tierra $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ($0,0065^{\circ}\text{C}/\text{m}$), por ello se restó a cada uno de los datos $-1,3975^{\circ}\text{C}$ dando como resultado el siguiente Cuadro. (Cuadro 3).

Cuadro 3: Temperatura media mensual Estación Querococha adaptados a la Estación Parón 1965 - 1999

AÑO	Ene	Feb	Mar_	Abril	May_	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1965	5,40	5,90	4,41	4,41	6,50	6,20	5,90	6,30	6,20	6,80	6,60	6,10
1966	7,00	6,70	6,40	6,80	6,10	6,40	7,20	7,00	6,40	5,60	6,20	5,60
1967	5,20	5,20	5,60	5,80	5,90	5,80	5,10	5,70	5,90	5,20	6,30	6,10
1968	5,90	5,20	5,00	5,80	5,70	6,20	5,80	5,60	6,20	6,20	6,20	6,60
1969	5,90	6,30	6,40	6,40	7,20	6,40	6,50	6,50	6,90	6,80	6,10	5,70
1970	5,50	6,40	6,30	6,50	6,40	5,80	5,50	6,60	5,50	6,20	5,60	5,60
1971	5,20	4,70	5,60	5,50	5,00	5,20	4,80	5,20	5,90	5,40	5,60	5,10
1972	5,00	5,40	4,80	5,30	5,80	6,00	6,50	6,20	6,20	6,30	7,30	6,60
1973	6,70	6,20	6,30	5,80	6,20	6,00	5,60	5,90	5,70	5,30	5,60	4,20
1974	4,50	4,20	4,50	5,30	6,00	5,30	5,80	5,80	5,40	5,90	6,40	6,00
1975	4,70	4,70	5,30	5,40	5,30	5,20	4,70	5,70	5,40	5,40	6,00	5,00
1976	4,80	4,40	5,40	5,60	5,40	5,50	5,50	5,70	6,40	6,90	6,60	6,60
1977	6,10	5,70	6,40	6,00	5,20	5,50	5,50	6,60	6,30	6,20	5,30	6,30
1978	6,20	6,10	5,90	6,20	6,30	6,10	5,10	6,00	5,90	5,80	6,40	6,60
1979	6,60	5,70	5,70	6,10	6,30	6,30	5,40	6,50	6,10	7,10	6,90	6,40
1980	6,00	6,50	6,30	6,10	6,50	6,60	5,80	6,60	6,70	5,50	5,60	5,70
1981	6,00	5,70	5,50	6,70	6,50	6,20	6,00	5,60	5,90	5,80	5,30	6,20
1982	5,70	5,50	6,20	6,30	6,80	6,40	6,20	6,40	6,00	6,00	5,90	6,30
1983	7,30	7,60	7,10	6,80	6,90	5,80	6,40	6,60	6,20	6,20	6,60	5,40
1984	5,10	4,50	5,20	5,50	5,50	5,30	5,30	6,20	5,90	5,80	5,70	5,80
1985	5,80	5,30	6,00	6,10	5,80	5,50	4,90	5,60	5,70	6,00	5,90	6,30
1986	5,90	5,50	5,00	6,60	5,80	6,80	5,70	7,10	6,30	6,40	6,70	6,20
1987	6,40	6,80	6,80	7,00	6,50	6,50	6,50	6,80	6,50	6,90	6,60	6,70
1988	6,20	6,60	6,20	6,50	6,30	5,90	5,80	6,50	6,30	5,90	6,00	5,70
1989	5,60	5,60	6,00	6,30	6,40	5,70	6,10	5,90	6,00	5,40	6,30	6,30
1990	5,50	6,10	6,70	6,90	6,40	5,70	6,00	6,50	6,20	5,90	6,10	6,10
1991	6,70	6,20	5,40	5,60	6,30	6,70	6,10	6,40	5,90	5,60	5,80	6,10
1992	6,70	6,40	6,30	6,50	6,70	6,10	6,00	6,20	6,20	5,90	6,30	7,10
1993	6,10	6,50	5,50	6,10	7,60	7,20	6,70	6,60	6,10	7,00	6,90	7,20

AÑO	Ene	Feb	Mar_	Abril	May_	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1994	7,10	7,10	7,30	7,70	7,80	5,70	-2,40	5,70	5,90	6,10	7,60	7,90
1995	7,60	7,00	6,30	7,00	6,60	7,20	6,20	6,90	6,20	5,90	5,90	6,00
1996	6,80	7,00	7,10	6,60	6,20	6,03	5,61	6,00	6,50	6,90	6,70	6,50
1997	6,50	6,50	-2,40	6,90	7,30	7,10	8,00	7,80	8,40	8,30	8,10	8,10
1998	8,30	6,30	6,30	6,50	6,90	6,40	6,40	6,70	6,50	5,70	5,90	6,10
1999	5,50	4,80	5,30	5,80	5,10	4,40	4,10	4,90	4,40	4,10	5,30	4,20

FUENTE: ELECTRO PERU - DUKE ENERGY EGENOR - Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Elaboración propia.

3.1.14. Bioclima

Se elaboraron los diagramas bioclimáticos empleando el criterio de interpretación de Rivas, S. (1987), las áreas definidas por las curvas de la temperatura y precipitación sirvieron para identificar una estación húmeda de enero a marzo, y una estación seca que se prolonga el resto del año. (Figura 19).

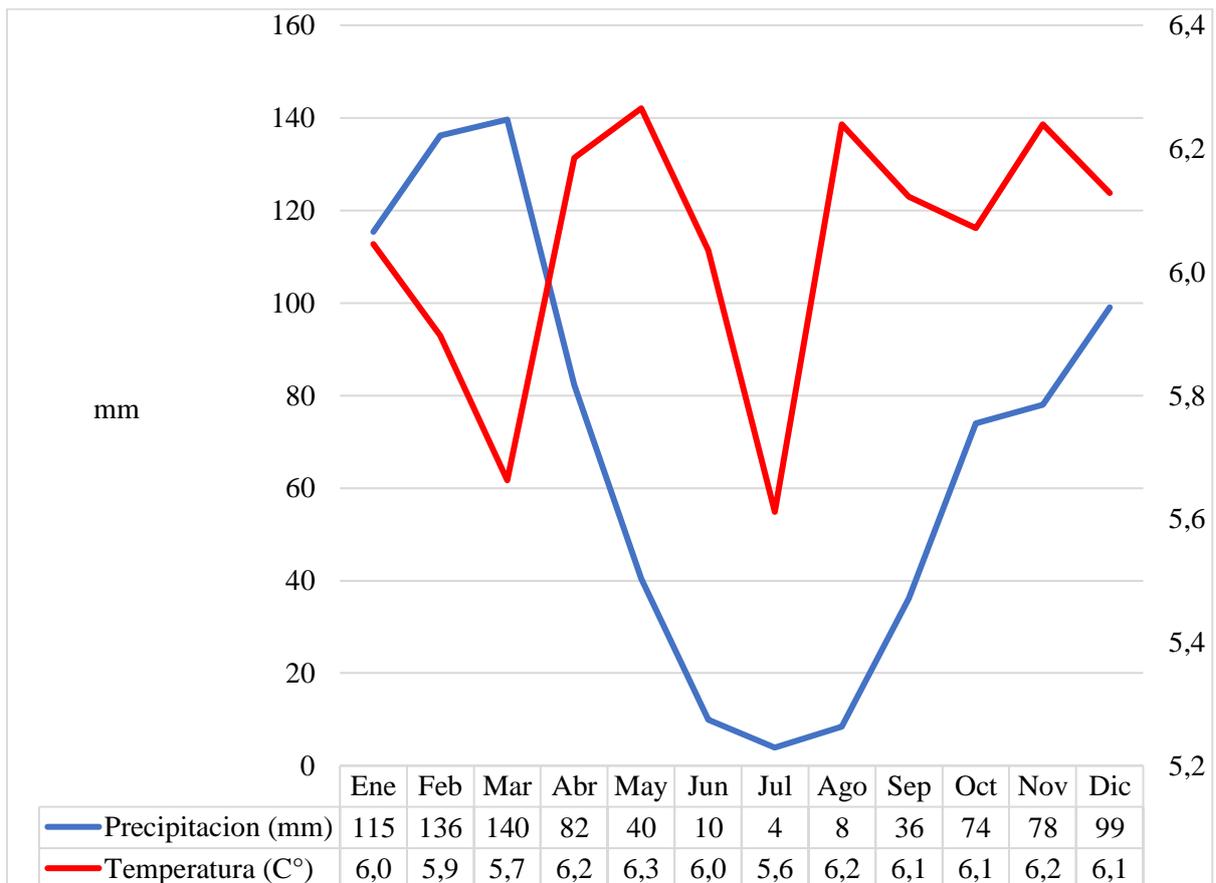


Figura 19: Bioclima de la Microcuenca Lullán – Estación Parón

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua, DUKE ENERGY Y ELECTROPERU

Elaboración propia.

3.1.15. Ecorregiones y zonas de vida

De acuerdo a clasificación propuesta por Brack, A. (2000), en concordancia con la visita de campo, consulta bibliográfica y visualización de mapas, en el área de estudio se logró discernir dos ecorregiones: Punas húmedas de los andes centrales y Andes centrales; y siete zonas de vida. INRENA (1995). (Figura 20) y (Cuadro 4).

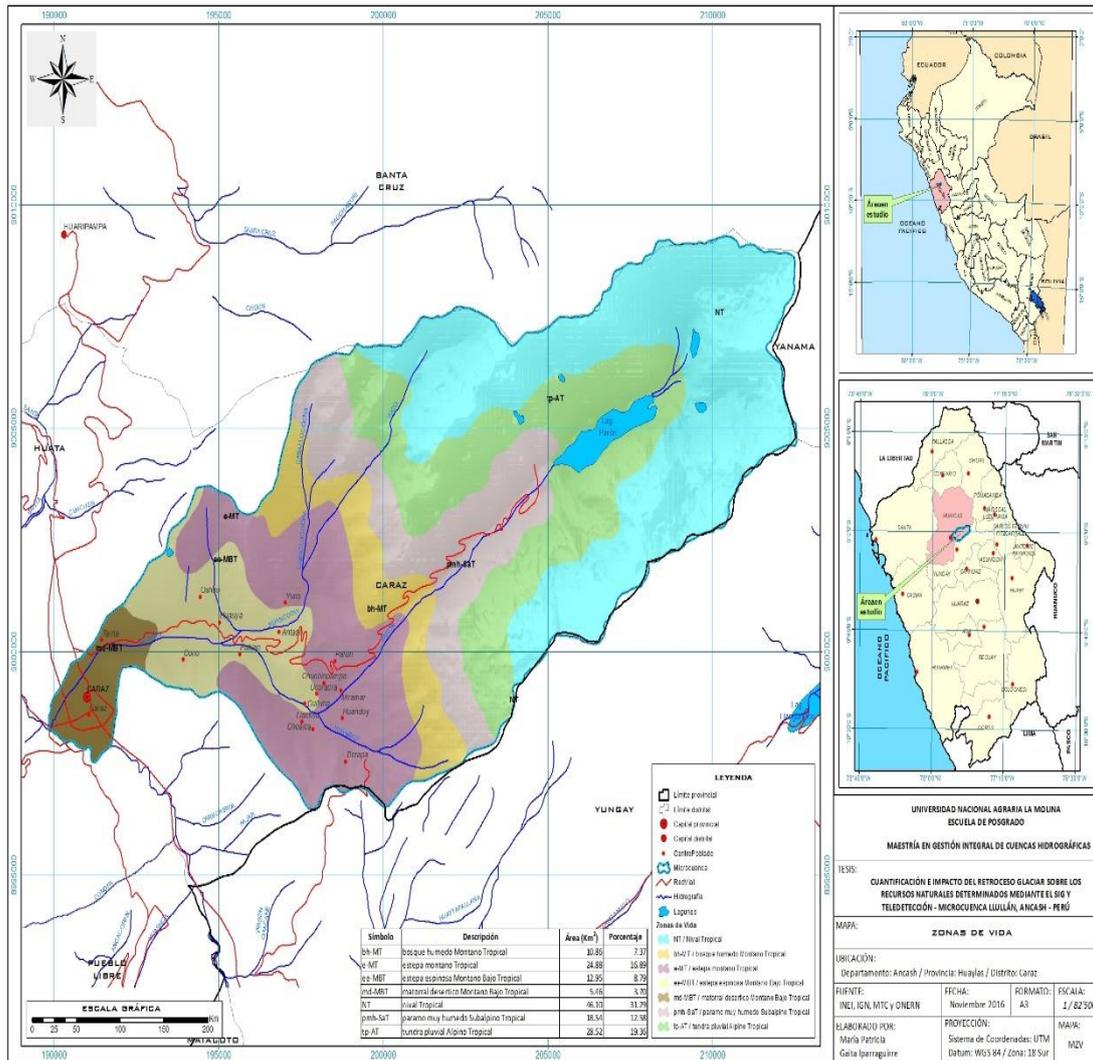


Figura 20: Mapa de Zonas de vida de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia

Cuadro 4: Zonas de vida de la microcuenca Llullán

Descripción	Símbolo	Pp min (mm)	Pp max (mm)	Temp min (C°)	Temp max (C°)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
paramo muy húmedo Subalpino Tropical	pmh-SaT	100	500	3	6	18,54	12,58
bosque húmedo Montano Tropical	bh-MT	100	500	6	12	10,86	7,37
estepa montano Tropical	e-MT	250	500	6	12	24,88	16,89
tundra pluvial Alpino Tropical	tp-AT	100	500	3	15	28,52	19,36
Nival Tropical	NT	100	500	0	15	46,10	31,29
matorral desértico Montano Bajo Tropical	md-MBT	125	250	12	17	5,46	3,70
estepa espinosa Montano Bajo Tropical	ee-MBT	250	500	12	18	12,95	8,79

FUENTE: Mapa Zonas de vida del Perú

Leyenda: Pp Min: Precipitación mínima, Pp Max: Precipitación máxima, Temp min: Temperatura mínima, Temp max: Temperatura máxima.

Nival Tropical (NT): Es la zona de vida predominante en el área de estudio, ocupando alrededor del 31% de la superficie. Presenta un clima muy húmedo y frígido, con precipitación variable entre 900 y 1100 mm/año, con temperaturas medias anuales menores a 1.5 °C. La topografía es muy abrupta, casi no existe cubierta edáfica debido a los suelos completamente líticos o rocosos. Las formas de vida que se observan se restringen a líquenes y musgos que crecen sobre las rocas. Por su gran belleza escénica (nevados, lagunas altoandinas) esta zona es especialmente atractiva para el turismo además de ser de gran importancia desde el punto de vista hidrológico.

Tundra pluvial – Alpino tropical (tp-AT): Es la siguiente zona de vida en extensión, alcanzando el 19%. El clima es de tipo pluvial y gélido, con precipitaciones medias de más de 1,000 mm/año y con temperaturas de congelación casi permanentes, donde se desarrollan especies vegetales hemicriptófitas, almohadilladas o arrosetadas, entremezcladas con algunas gramíneas de desarrollo muy reducido. La topografía es muy accidentada, lo que ha dado como resultado suelos residuales muy superficiales y esqueléticos, con nula fertilidad natural. Por su belleza escénica, es el lugar idóneo para para el desarrollo de actividades turísticas convencionales o de aventura.

Paramo muy húmedo – Subalpino tropical (pmh-Sat): Esta formación presenta un clima muy húmedo y frígido, con precipitaciones promedio de 900 mm/año, las temperaturas son bajas y su promedio anual está alrededor de 5 °C, produciéndose temperaturas de congelación casi todas las noches.

Topográficamente, presenta dos sectores: uno, de relieve ondulado a semi-accidentado (zona de praderas) y otro de relieve muy accidentado. Los suelos son generalmente de origen coluvial y residuales, de profundidad variable y fertilidad media a alta, por lo que en algunos sectores se observan pastizales de buena calidad forrajera. La vegetación natural está constituida casi exclusivamente por gramíneas de tipo forrajero (*Festuca*, *Calamagrostis*, *Muhlebergia*, *Stipa*, *Paspalum*, *Agrostis* y otras poáceas). El sobrepastoreo ha generado que aparezcan especies invasoras como el garbancillo (*Astragalus garbancillo*), paco-paco (*Aciachne pulvinata*), cóndor cebolla (*Werneria nubigena*), etc., las que disminuyen la calidad forrajera de los pastizales. También se encuentran diseminadas en el área, especies arbustivas y arbóreas, de los géneros *Polylepis*, *Buddleia* y *Escallonia*, junto a las lagunas o en nacientes de quebradas y que conforman bosques residuales.

Bosque Húmedo Montano Tropical (bh-MT): Es una estrecha franja que ocupa las partes medias a altas de las laderas montañosas de la microcuenca, el clima es húmedo y frío, con precipitaciones medias de 700 mm/año y un régimen bastante regular en toda el área, tendiendo a concentrar el mayor volumen entre los meses de Noviembre a Abril. La temperatura media anual se mantiene alrededor de 11°C, pero sus valores mínimos pueden llegar desde 2,6 °C hasta -1,8 °C, los que se presentan en época de invierno, por lo que las heladas son circunstanciales y muy eventuales. La cobertura vegetal es predominantemente arbórea y matorrales que albergan vegetación herbácea. En la mayoría de las quebradas se observa una tupida vegetación conformando un verdadero monte ribereño, con especies arbóreas y arbustivas. Hacia el nivel superior, 3500-3600 msnm, van apareciendo las praderas naturales de gramíneas forrajeras, entre las que destacan miembros del género *Festuca*, *Calamagrostis* y otras poáceas. Presenta condiciones propicias para campañas de forestación y reforestación.

Estepa – Montano tropical (e-MT)

En esta zona de vida se ubica el mayor número de caseríos. El relieve topográfico es empinado con suelos relativamente profundos. La vegetación está principalmente conformado por gramíneas y arbustos dispersos. En temporada húmeda es abundante la presencia de hierbas de crecimiento rápido. La biotemperatura media anual máxima es de 14,1 °C y la media anual mínima de 9,5 °C, el promedio máximo de precipitación total por año es de 244,5 mm.

Estepa espinosa – Montano baja tropical (ee-MBT)

Los suelos son de naturaleza calcárea, relativamente profundos, de textura arcillosa con bajo contenido de materia orgánica; la vegetación es fuertemente estacional, verde durante la época de lluvias por el crecimiento de los pastos, y la mayor parte del año prevalecen las especies arbustivas xerofíticas. Además, la biotemperatura media anual máxima es de 17,7 °C y la media anual mínima de 12,8 °C, en tanto que el promedio máximo de precipitación total por año es de 216,1 mm.

Matorral desértico – Montano bajo tropical (md-MBT)

En las partes más bajas del área de estudio se localizan esta zona de vida, Va desde los 2000 a los 2900 m s.n.m. para la región latitudinal tropicales. El clima muestra una temperatura promedio de 17 °C con una precipitación de 179,6 mm/año. El relieve varía de quebrado a abrupto siendo muy escasas las áreas de relieve ondulado. Los suelos por lo general son superficiales, profundos y arenosos. La vegetación es escasa, con marcada dominancia de los xerofitos y entre las cactáceas predominan las columnares. Las bromelias están representadas por tilandsias. Pueden verse algunas especies arbóreas como el sauce, aliso, el pájaro bobo y arbustos como la chilca. Las limitaciones topográficas y de escasez de agua, hace que tenga un bajo potencial productivo.

3.1.16. COBERTURAS

Para efectos de describir la cobertura identificada en el área de estudio nos basamos en el Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán 2010 – 2015, MINAM, (2009) las formaciones vegetales presentes dentro del PNH son: Monte ribereño, Bosque de *Polylepis sericea*, Bosques de Altitudes mayores a los 4000 m s.n.m., Comunidades

litofíticas, Matorrales, Pastizales (Pastos de porte alto y bajo), Comunidades acuáticas y semiacuáticas, y Bofedales. (Figura 21). Partiendo de ésta clasificación a continuación se describen las coberturas en el ámbito de estudio:

- Glaciares (Gl)
- Afloramiento rocoso - Comunidades litofíticas (Af-CI)
- Cuerpos de agua (Ca)
- Bosque natural (Bn)
- Casco urbano (Cu)
- Matorral (Mt)
- Mosaico de cultivo agrícola (Ca)
- Pajonal con arbustos dispersos (Pj-Ad)
- Plantación forestal (Pf)
- Vegetación ribereña - Monte ribereño (Vr – Mr)

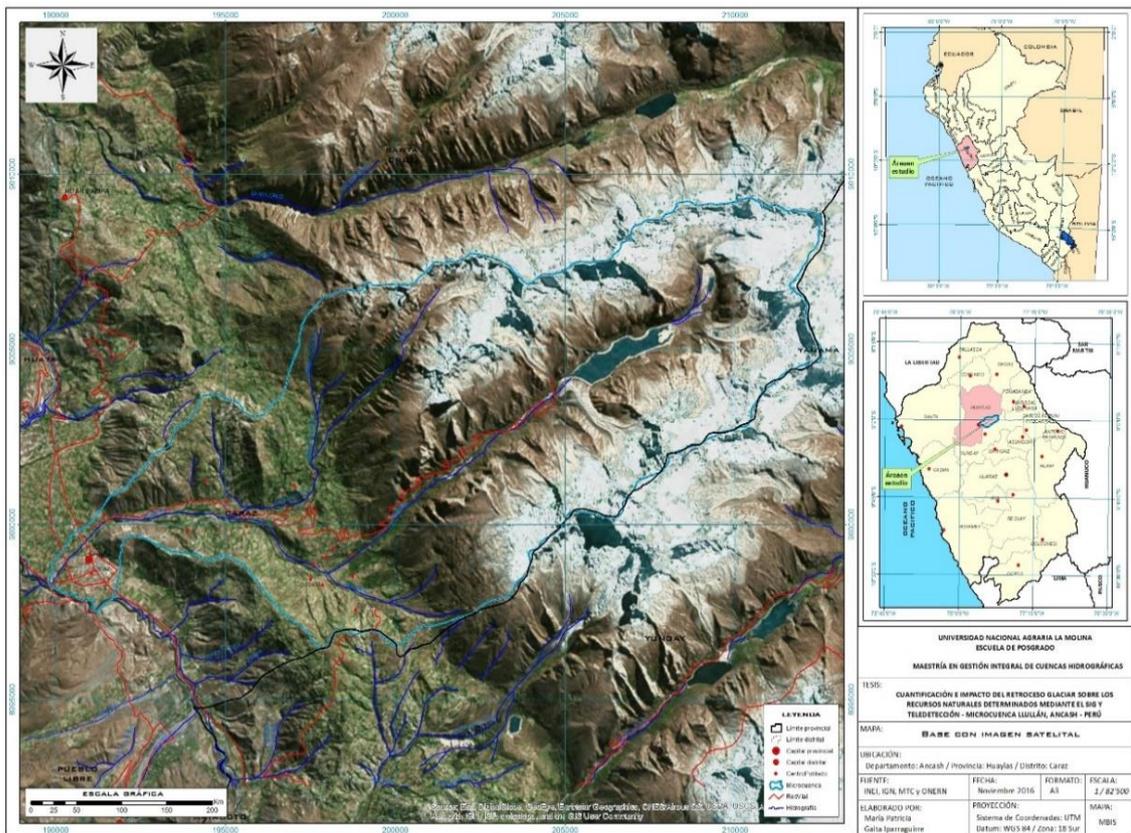


Figura 21: Mapa base con imagen satelital de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN

Elaboración propia

- **Glaciares (GI)**

La cabecera de la microcuenca Llullán está formada por un anillo de glaciares: Huandoy, Pisco, Chacararaju, Pirámide de Garcilaso, Paria, Artesonraju, Caraz y Aguja. (Figura 22).



Figura 22: Glaciares en la microcuenca Llullán

a). Glaciar Artesonraju, b). Glaciar Huandoy, c) y f) Glaciar Caraz, d). Glaciar Chacararaju, e). Glaciar Paria
Fotografías: Josef Reichsigl

- **Afloramiento rocoso - Comunidades litofíticas (Af-CI)**

Son áreas en las cuales la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas, generalmente dispuestas en laderas abruptas, formando escarpes y acantilados; así como zonas de rocas desnudas relacionadas con la actividad glaciar, se pueden encontrar depósitos de sedimentos finos y gruesos, de bloques o de cenizas. Las poblaciones vegetales están compuestas por especies de la familia Bromeliaceae como la Tillandsia y Puya. Pudiéndose identificar que en zonas rocosas con mayores filtraciones de humedad la flora es más diversa en las que destacan los helechos, musgos, peperomias y orquídeas. MINAM, (2009). (Figura 23).



Figura 23: Afloramiento rocoso - Comunidades litofíticas en la microcuenca Llullán

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

- **Cuerpos de agua (Ca)**

En esta categoría se identificaron siete lagunas: Chaquicocha, Shuitucocha, Caballococha, Parón, Artesoncocha, Huandoy y Pirámide. Siendo la laguna Parón la más extensa, por el gran contenido de agua que almacena, esta se destina a diversos usos uno de ellos es ser reservorio de agua utilizada para abastecer a la Central hidroeléctrica Cañón del Pato. Figura Cuerpos de agua en la microcuenca Llullán. (Figura 24).

La vegetación que se desarrolla en las comunidades acuáticas y bofedales está compuesta por *Myriophyllum*, *Juncus*, *Scirpus*, *Elodea*, *Calamagrostis*, *Festuca*, entre otros.



Figura 24: Cuerpos de agua en la microcuenca Lullán

Laguna Artesoncocha (izquierda) y Laguna Parón (derecha)

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

- **Bosques naturales (Bn)**

Los bosques están conformados por la especie *Polylepis sericea* en las cotas más bajas, y *Polylepis weberbaueri* y otras especies del mismo género sobre los 4000 m s.n.m. La Zona de protección estricta del Parque Nacional Huascarán está conformada por bosques de *Polylepis* y ribereños, en la subcuenca del río Lullán abarca una superficie de 82,45 ha. MINAM, (2009).

Los bosques de *Polylepis sericea* son la comunidad vegetal más significativa al estar conformada por ecosistemas con alta diversidad en flora y fauna. Las formas de vida vegetal que albergan son plantas epífitas, lianas y numerosas especies herbáceas; especies nativas y algunas endémicas, van desde formaciones boscosas abiertas en áreas secas, arbusto de borde a bosques densos. En zonas rocosas con infiltraciones de agua, se puede observar con cierta frecuencia *Polylepis sericea* alternada con bosques de kisuares (*Buddleia incana*).

Los bosques sobre los 4000 m s.n.m. también se conservan bosques relictos de quisuar (*Buddleja coriacea*) y de queñua (*Polylepis* sp.), que están ubicados principalmente al

norte del sector Llanganuco. Se tiene también praderas altoandinas, césped de puna y diversos oconales (bofedales), situados principalmente por encima de los 4500 m s.n.m.

Los bosques densos se encuentran a elevaciones ligeramente superiores a los 3800 m s.n.m. Los bosques abiertos son comparativamente pobres en especies que los bosques de elevaciones más altas; teniéndose a *Microgramma chrysolepis* y pocas especies de Peperomia, y abundancia de bryohpytas. En estos bosques se desarrollan muy bien dos enredaderas de montaña, *Clematis* sp. y *Passiflora trifoliata*. A elevaciones de 4000 a 4500 m s.n.m., o tal vez más altas, los bosques pueden ser de especies únicas de *Polylepis weberbaueri* o *Gynoxys oleifolia*, o una mezcla de ambas, y son en estratos que varía desde una densidad cerrada hasta abiertas. MINAM, (2009). Figura Bosques naturales en la microcuenca Llullán. (Figura 25).



Figura 25: Bosques naturales en la microcuenca Llullán

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

- **Vegetación ribereña - Monte ribereño (Vr – Mr)**

Esta cobertura está compuesta de vegetación nativa o naturalizada que crece en la ribera de los ríos, quebradas y acequias de considerable caudal. Está distribuida en diferentes estratos, herbáceos, arbustivos y arbóreos, de acuerdo a su afinidad por el recurso hídrico respecto a la distancia hacia las orillas. Figura Vegetación ribereña - Monte ribereño en la microcuenca Llullán. El suelo en el que se asienta esta vegetación, está conformado por depósitos fluviales limosos y de cantos rodados. Las especies diagnósticas de esta unidad de vegetación, se consideran: *Alnus acuminata*, *Myrica pubescens*, *Weinmania* sp, *Acacia macracantha*, pueden constituir grandes arbustos o pequeños árboles *Bidens pilosa* *Cortaderia* spp., *Poa* spp., *Waltheria ovata*, *Bromus*, entre otras. MINAM, (2009). (Figura 26).



Figura 26: Vegetación ribereña - Monte ribereño en la microcuenca Llullán

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Fuente: Elaboración propia.

- **Matorral (Ma)**

Localizadas en pendientes, con buena materia orgánica, en ciertos tramos ocurre afloramientos rocosos o presencia de bloques rocosos por deslizamientos, el aspecto de la vegetación es de arbustos dispersos de hasta un metro de alto, esporádicamente algunos individuos desarrollan un poco más y la presencia de abundantes hierbas especialmente gramíneas casi del mismo tamaño de los arbustos, las especies más comunes son *Ageratina sternbergiana*, *Dendrophorbium usgoroensis*, *Brachyotum naudinii*, *Arcytophyllum thymifolium*, *Aristeguietia discolor*, *Baccharis auriculigera*, *Baccharis*

grandicapitulata, *Baccharis phylicoides*, *Baccharis tricuneata*, *Pernettya prostrata*, *Clinopodium pulchellum* y *Monnina salicifolia* y entre las hierbas están *Calamagrostis recta*, *Stipa obtusa* y *Jarava ichu*. MINAM, (2009). (Figura 27)



Figura 27: Matorral en la microcuenca Lullán

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

- **Pajonal con arbustos dispersos (PjAd)**

Es la unidad vegetal con mayor superficie en la zona de estudio, los elementos florísticos de esta formación vegetal se caracterizan principalmente por ser gramíneas, éstas crecen dispuestas en densos macollos, rosáceas, solanáceas, asteráceas, fabáceas, iridáceas, y polygonaceae, entremezclado y/o cerca a laderas rocosas. La vegetación está conformada por gramíneas altas y arbustos en medio de ellas.

El pastizal es la formación vegetal, más importante del PNH. Hay muchas comunidades de plantas que constituyen esta categoría, y tal vez más del 50% de las especies conocidas en el PNH sean plantas que forman pastizales. A esta formación vegetal también se

conoce como pajonal de puna (para el caso andino). Destaca el dominio escénico de comunidades de poaceas que alternan con herbáceas de otras familias como Alchemilla, Alonsoa, Scrophulariaceae, Werneria. En las laderas y pequeños espacios de los mismos terrenos se puede encontrar comunidades de Calamagrostis y Stipa, además de una comunidad con escasa diversidad de especies dominada por *Festuca weberbaueri*. Los pastizales se integran a la vegetación altoandina contigua: matorrales y comunidades semi acuáticas. MINAM, (2009). (Figura 28).



Figura 28: Pajonal con arbustos dispersos en la microcuenca Llullán

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

- **Plantación forestal (Pf)**

En las partes bajas y medias de la microcuenca, al borde de caminos, cercanos a la ribera de los ríos, y en zonas de fuertes pendientes se identifican plantaciones del género *Eucalyptus* y en menor medida plantaciones de pino. (Figura 29).



Figura 29: Plantación forestal en la microcuenca Llullán

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

- **Mosaico de cultivo agrícola (MCa)**

Lo conforma un mosaico de parcelas en producción, barbecho, labradas o como rastrojos. Muchos de los campos están dedicados al cultivo de maíz, papa, trigo, cebada, quinua, kiwicha. En ciertas zonas se siembran frutales tales como: ciruelas, paltos, manzanos, tumbo. En otras, especies forrajeras. La extensión es variable, desde parcelas pequeñas para cultivos de auto subsistencia como para comercialización. Entre las parcelas se suele dejar unas estrechas bandas sin cultivar. (Figura 30).



Figura 30: Mosaico de cultivo agrícola en la microcuenca Lullán

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

3.1.17. POBLACIÓN

Según el INEI (2012), la población en la provincia de Huaylas es de 56 102 habitantes, en el distrito de Caraz tiene una población de 25 514 habitantes. (Cuadro 5). El distrito de Caraz representa el 45% del total de la población de la provincia de Huaylas. El centro poblado que alberga la mayor cantidad de habitantes es la ciudad de Caraz y la zona rural está comprendida por 16 centros poblados: Antash, Chosica, Chuchinpampa, Cono, Culluna, Huandoy, Huauya, Llacshu, Yuco, Ticrapa, Miramar, Oshco, Pakian, Parón, Tarna y Ocoracra.

Cuadro 5: Distrito de Caraz: población, superficie y densidad poblacional

Población, superficie y densidad poblacional	Departamento de Ancash	Provincia de Huaylas	Distrito de Caraz
Población (ha)	1 129 391	56 102	25 514
Superficie (km ²)	35 914,81	2292,78	246,52
Densidad poblacional (hab/km ²)	31,45	24,47	103,50

FUENTE: INEI, 2012. Cifras de población de Caraz al 2012.

El número de viviendas en el ámbito de la microcuenca Lullán es de 3278 viviendas. En promedio de 3 a 6 habitantes por vivienda por ello se estima que en la microcuenca exista alrededor de 16 390 habitantes. (Cuadro 6).

Cuadro 6: Número de viviendas por Centro poblado en la microcuenca Lullán

Centro poblado	Numero viviendas*
Caraz	2504
Antash	85
Chosica	42
Cono	19
Culluna	45
Huandoy	50
Huauya	85
Llacshu	120
Yuco	50
Miramar	35
Pakian	93
Parón	75
Tarna	25
Ocoracra	50
Total	3278

FUENTE: INEI, 2012. Cifras de población de Caraz al 2012.

* No se dispone información del número de viviendas en los Caseríos de Chuchinpampa, Ticrapa y Oscho.

3.1.18. COMUNIDAD CAMPESINA

De acuerdo a la Ley N° 24656. Ley General de Comunidades Campesinas, en el ámbito de estudio se encuentra la C.C Cruz de mayo (MVCS, 2009). (Cuadro 7).

Cuadro 7: Comunidad Campesina en la microcuenca Llullán

C.C.	DIST.	RESOLUCIÓN N°	FECHA	N° FAMILIA	INSCRIPCIÓN REGISTRAL	
					PARTIDA	FECHA
CRUZ DE MAYO	CARAZ	R.N°027-OAE/JAF-ORAMS-III-76	02/04/76	334	2012323	16/12/1998

FUENTE: 2009 Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Directorio de Comunidades Campesinas del Perú.

La ubicación de la CC. Cruz de Mayo se muestra en la siguiente Figura. (Figura 31).

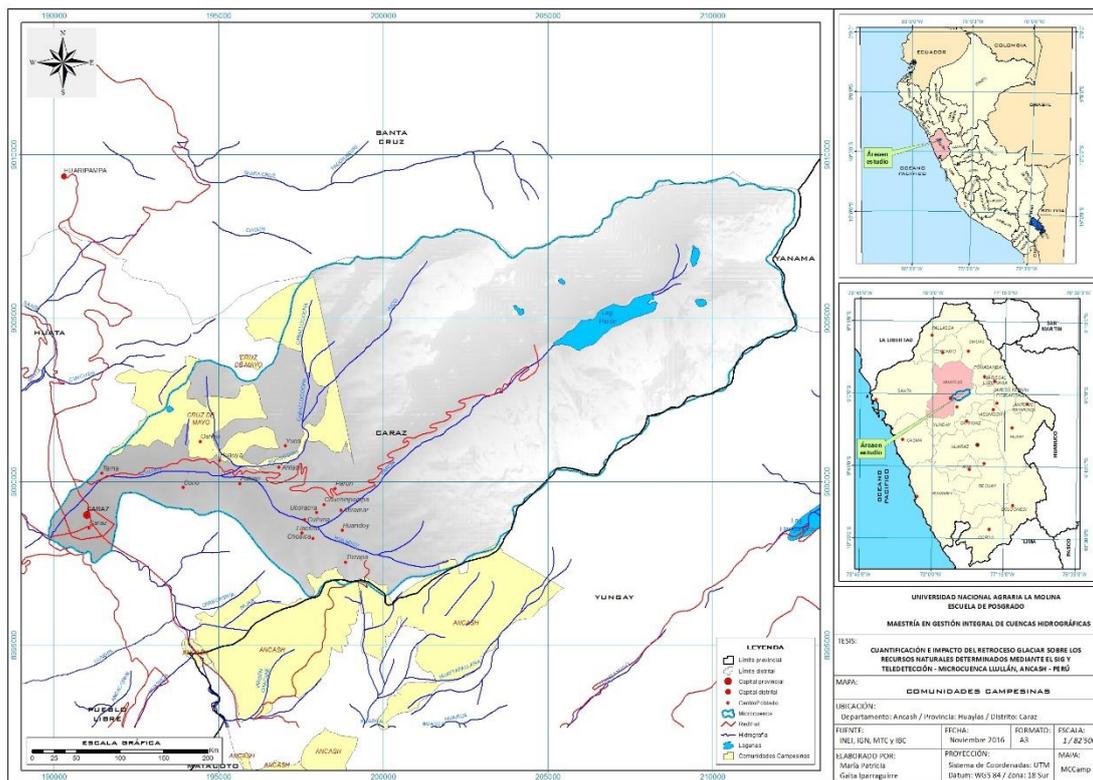


Figura 31: Comunidad Campesina Cruz de mayo

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia

3.1.19. ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO

En el distrito de Caraz el Índice de Desarrollo Humano es de 0,404. La esperanza de vida al nacer alcanza los 77 años, la población con secundaria completa es de casi el 36% y el ingreso familiar per cápita asciende a S/. 525,82 nuevos soles. (INEI, 2007). (Cuadro 8).

Cuadro 8: Índice de Desarrollo Humano Distrito Caraz, 2012.

Índice de Desarrollo Humano (IDH)	Esperanza de vida al nacer (años)	Población con Educ. secundaria completa (%)	Años de educación (Poblac. 25 y más) (años)	Ingreso familiar per cápita (Nuevos soles mes)
0,404	77,61	35,98	7,39	525,82

FUENTE: INEI, 2007. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA. Censos Nacionales: XI de Población y VI de Vivienda. Lima - Perú.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

a. Materiales

Imagen de satélite – Landsat 8 multiespectral

DEM 30 m - Sensor ASTER

Carta nacional – IGN

Mapas temáticos – INRENA, ONERN, INEI, IGN, MTC, SERNANP, SENAMHI

Formulario para encuestas

b. Software

ARC GIS 10.3

ErdaS imagen 11

Envi 5.0

Office 2010

Google earth 7.1.2

c. Equipos

01 Laptop Toshiba procesador Intel Core i7

01 Impresora Epson L220

3.3 ETAPAS DEL PROCESO METODOLÓGICO

El trabajo de investigación se realizó en tres etapas, en la siguiente figura se muestran cada una de ellas. (Figura 32).

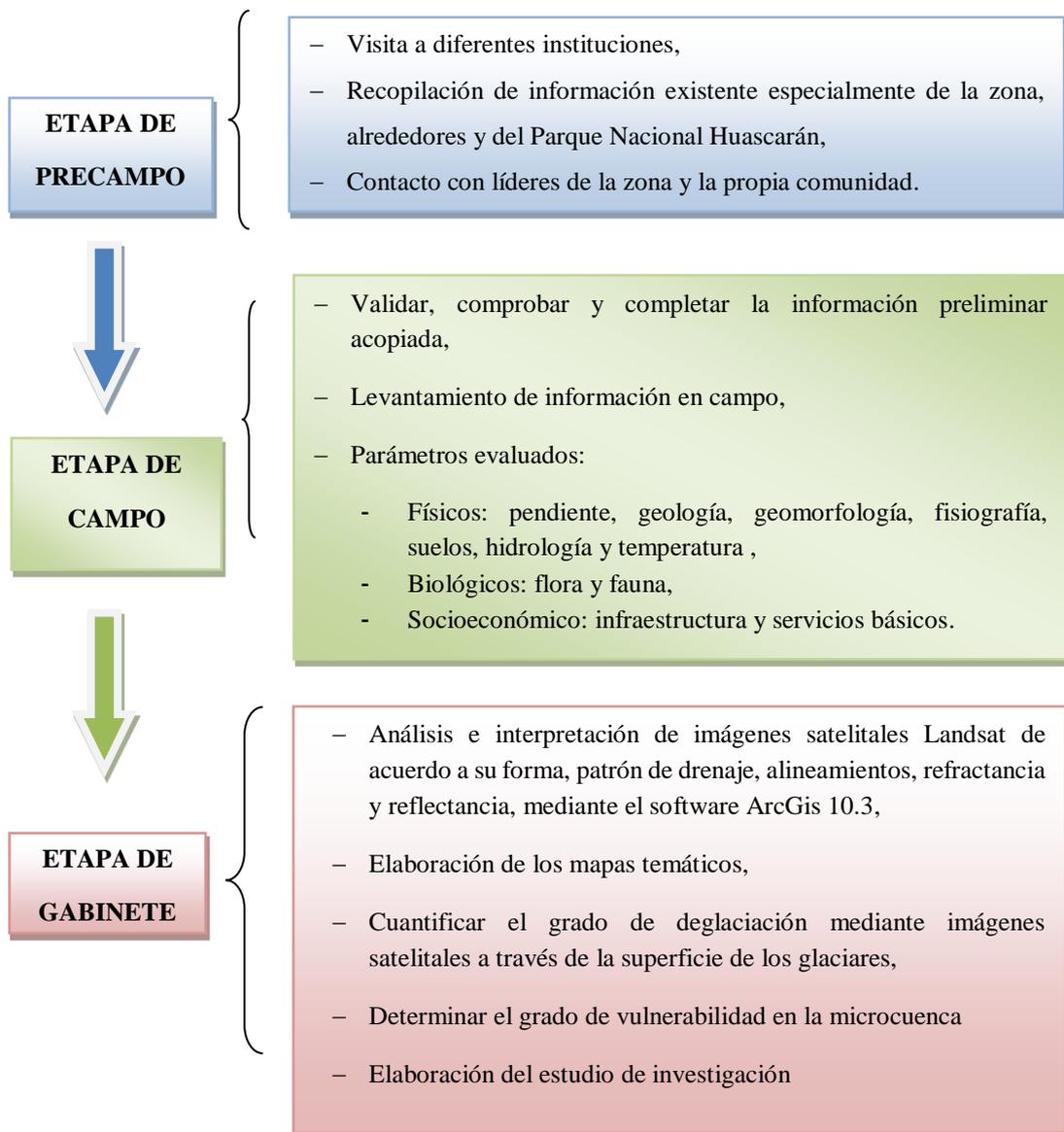


Figura 32: Etapas del proceso metodológico para la ejecución del estudio

3.3.1. ETAPA DE PRECAMPO

Se visitaron diversas instituciones, se recopiló información existente especialmente de la zona, alrededores y del Parque Nacional Huascarán; tales como manuales, monografías, tesis, proyectos de investigación, etc. Además se iniciaron los primeros contactos con los líderes de la zona y la propia comunidad. (Figura 33).



Figura 33: Sr. Adán Pajuelo, Ex Presidente de la Comisión de Usuarios Parón – Lullán (2010 – 2014)

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

3.3.2. ETAPA DE CAMPO

Se identificó lo que representa la firma espectral de la imagen satelital en la superficie del área de estudio, con fines de validar o corregir la clasificación no supervisada; se determinó en campo las coberturas del área de estudio; se elaboró un registro fotográfico de las coberturas para posteriormente determinar e ilustrar los elementos visuales que las caracterizan.

3.3.3. ETAPA DE GABINETE

Para dar respuesta a los objetivos planteados en la investigación, esta etapa se desarrolló en 5 pasos, la secuencia y los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura (Figura 34).

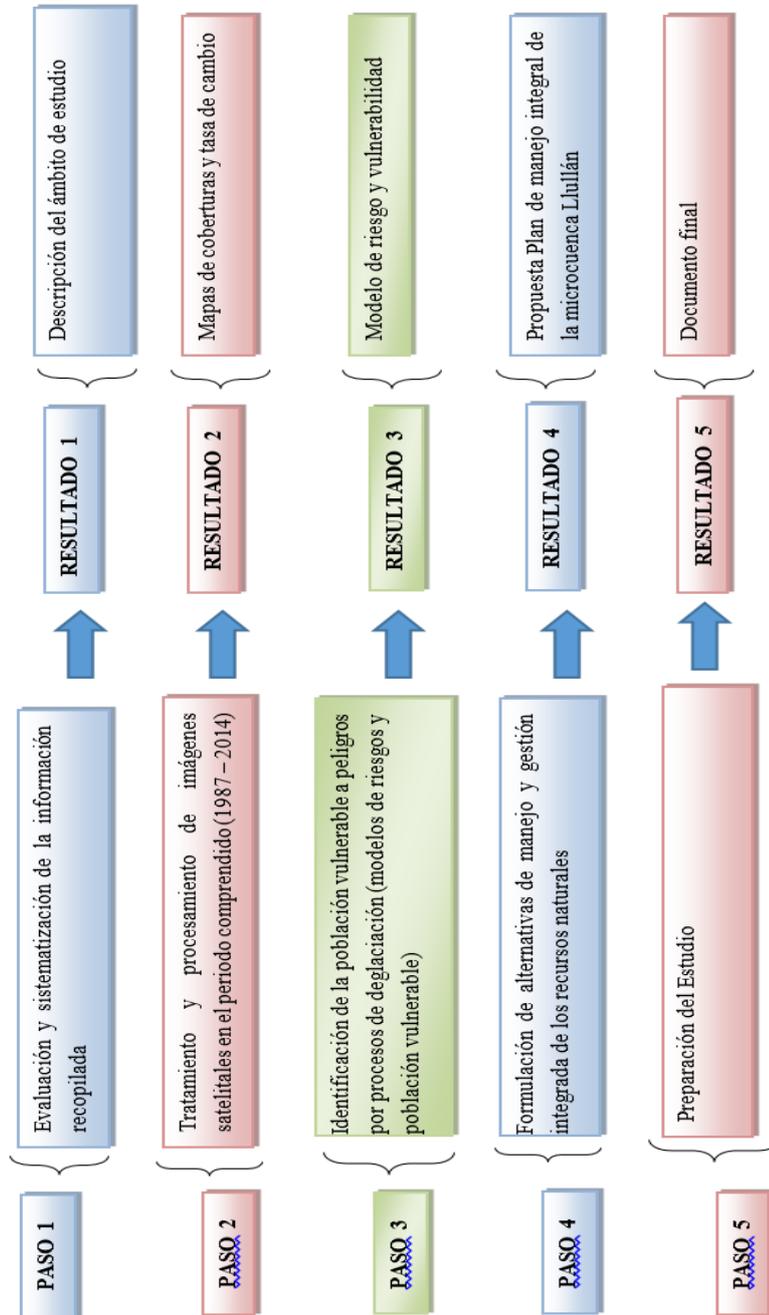


Figura 34: Secuencia desarrollada durante la etapa de gabinete

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1. DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA

Los parámetros espaciales de la cartografía del área de estudio:

- Sistema de coordenadas: UTM
- Datum: WGS 84
- Zona o Huso horario: 18 Sur
- ITRF: 2000
- Modelo de datos: Vectorial
- Geometría: Polígono

Las principales acciones para delimitar la microcuenca fueron las siguientes:

Descarga de los MED de ASTER y control de calidad

A través de la página web del Sensor Remoto *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* – *ASTER* (<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/index.html>); se realizó la descarga de los Modelos de Elevación Digital (MED) generados a partir del par estéreo de ASTER, las escenas descargadas fueron: S07 W79, S07 W80, S08 W79 y S08 W80.

Se reproyectó las coordenadas geográficas y Datum WGS84, a UTM verificando que no queden picos ni sumideros (control de calidad). Posteriormente, se elaboró un mosaico con las 4 escenas, para obtener un solo archivo que permitió un mejor análisis espacial.

Extracción de la topografía y delimitación de la microcuenca

Con el uso de las funciones de análisis espacial, se extrajo la topografía (curvas de nivel de 10 metros). Finalmente se procedió a delimitar la microcuenca en el software ArcGIS 10.3.

3.4.2. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA

Una vez delimitada la microcuenca con el software ArcGIS 10.3 se procedió al cálculo del área de la cuenca (km²), cálculo de la longitud del contorno del área de la cuenca obteniendo el Perímetro de la cuenca (km) y la Longitud del Cauce principal (km).

La diferencia entre la altura máxima y altura mínima nos dio la Diferencia de elevación de la cuenca: $EC = 6390 - 2200$, $EC = 4190$ m

La densidad de drenaje o Longitud promedio de cursos de agua (Dd) se calculó con la siguiente expresión:

$$Dd = \frac{\text{Longitud total del cauce}}{\text{Área de la cuenca}}$$

Donde:

Lt= Longitud total de las corrientes de Agua (km)

A=Área total de la cuenca (km²)

$$Dd = \frac{\text{Longitud total del cauce}}{\text{Área de la cuenca}} \quad Dd = \frac{23,72}{147,30} \quad Dd = 0,161$$

Para el cálculo del Orden el río principal de la cuenca y grado de ramificación se consideró el número de bifurcaciones que tienen sus tributarios, asignándole un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde el inicio de la divisoria hasta llegar al curso principal de manera que el orden atribuido a este indique en forma directa el grado de ramificación de la red de drenaje.

Coefficiente de compacidad o Índice de Gravelious (Kc): definida como la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área equivalente.

$$Kc = 0.28\left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right)$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

$$Kc = 0.28\left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \quad Kc = 0.28\left(\frac{65,45}{\sqrt{147,30}}\right) \quad Kc = 1,510$$

Curva hipsométrica: Las curvas hipsométricas fueron construidas a partir de las siguientes curvas de nivel: 2204, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5441 m s.n.m. Estos parámetros fueron calculados en ArcGIS 10.3, los cuales se exportaron a un formato

compatible con la hoja de cálculo Microsoft Excel, con la finalidad de completar algunos parámetros más y así poder graficar la Curva hipsométrica del área acumulada por encima y por debajo de la altitud media, para ello se calcularon Áreas parciales (Si) (km²), Áreas acumuladas por debajo y por encima de la altura media. Al no poder identificar con exactitud el punto de intersección la curva hipsométrica acumulada por debajo y por encima de la “Altitud Media”, se utilizó la fórmula de la Altitud Media Ponderada (H) para el cálculo.

$$H = \frac{\sum hi * Si}{A} = H = \frac{621639,71}{147,30} = 4220,14$$

Dando como resultado, el valor de la **Altitud media** para la microcuenca de 4220 m s.n.m.

Rectángulo equivalente: Es un rectángulo que tendría un comportamiento hidrológico semejante a la cuenca. En este rectángulo las curvas de nivel son rectas paralelas al lado menor. Los lados del rectángulo equivalente se determinan a través de fórmulas empíricas, tal como se muestra a continuación:

Cálculo de lado mayor (L):

$$L = \left[\frac{P + \sqrt{P^2 - (16A)}}{4} \right]$$

Cálculo de lado menor (l):

$$l = \left[\frac{P - \sqrt{P^2 - (16A)}}{4} \right]$$

Datos:

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Conociendo los valores de la base (lado menor “l”) y la altura (lado mayor “L”), se procedió a determinar los cocientes de la altura ($L = Li_1, Li_2, \dots, Li_n$), estos cocientes conforman cada uno de los rectángulos equivalentes paralelos; para este análisis se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$Li = \frac{A}{l}$$

Factor de forma de la cuenca: es la relación entre el ancho promedio (A_p) de la cuenca y la longitud del curso principal del río (L).

Ancho promedio: Es la relación entre el área de la cuenca (A) y la longitud mayor del río (L).

Perfil longitudinal de cauce principal: Al proyectar la longitud del cauce principal versus su altitud, se obtiene el perfil longitudinal del curso del agua. Para ello se calculó la longitud de cada tramo del cauce principal, que se intersecta con cada curva de nivel, cada 500 m.

3.4.3. ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE PRECIPITACIÓN

La información recopilada es a escala mensual, por consiguiente, se realizó un análisis de la precipitación total mensual y multianual; relacionado a la series de las estaciones: Parón, Caraz, Artesoncocha y Artesonraju - ubicadas en el área de estudio - y la estación Llanganuco. La estación de Parón contiene el registro de 67 años correspondiente al periodo 1949 – 2015. En el siguiente cuadro (Cuadro 9) nos muestra la ubicación y la información disponible por estación.

Cuadro 9: Ubicación de Estaciones meteorológicas

Estación	Periodo	Este	Norte
Parón	1949 - 2015	204 961	9 004 066
Llanganuco	1953 - 1999	208 696	8 994 871
Caraz	1953 - 1994	190 332	8 998 422
Artesoncocha	2010 - 2015	209 212	9 006 655
Artesonraju	2010 - 2015	210 078	9 007 925

FUENTE: ELECTRO PERU - DUKE ENERGY EGENOR - Autoridad Nacional del Agua (ANA)
Elaboración propia.

Se procedió a la interpolación de los datos mediante el método de regresión lineal múltiple - RLM. El MDT (“Este”, “Norte” y “Altimetría”) de elevación, más conocido como Modelo de Elevación Digital – DEM. Este fue descargado de la página web del Ministerio del Ambiente – MINAM (<http://geoservidor.minam.gob.pe/intro/>), el DEM que se utilizó fue generado a partir del par estéreo del sensor remoto ASTER; en total se descargaron 4 escenas, cuyos códigos son: S05 W79, S05 W80, S06 W79 y S06 W80. Luego se reproyectó al sistema de coordenadas UTM, Datum WGS 84 y Zona 18 sur, la resolución espacial de este DEM fue de 30 metros; seguidamente realizó un control de calidad con la finalidad de eliminar algún error de picos o sumideros, seguidamente se elaboró un mosaico y finalmente se recortó en base a un cuadrante que abarca el área en estudio. A continuación se muestra una figura del proceso (Figura 35).

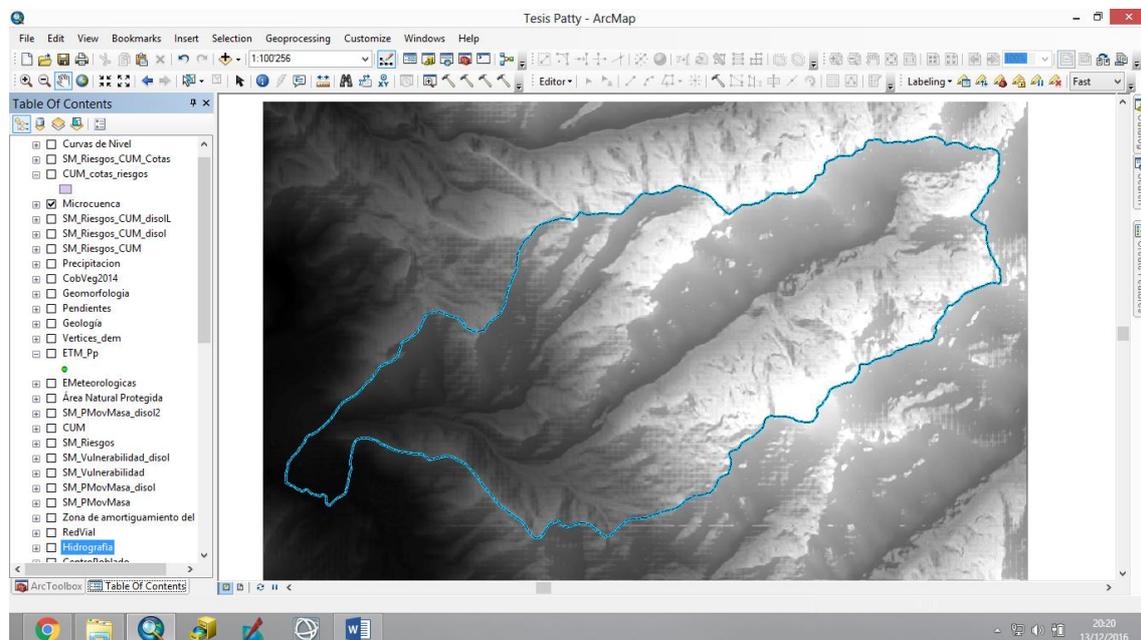


Figura 35: Modelo Digital del Terreno de la Elevación (Altitud m s.n.m.)

Elaboración propia.

Se extrajeron los vértices de cada celda del DEM, luego se utilizó la función de ArcGIS que permitió el cálculo de las coordenadas “Este” (MDT Longitud) y “Norte” (MDT Latitud) posteriormente se realizó la interpolación mediante el método de interpolación *Kriging* (predicción lineal).

- **Cálculo de la Ecuación de Regresión Lineal Múltiple**

El método utilizado fue propuesto por Ninyerola, M. (2000), el cual es basado en técnicas de Regresión Lineal Múltiple (RLM) para la interpolación espacial de los datos provenientes de las estaciones meteorológicas. Los mapas resultantes son corregidos utilizando los residuales que se han obtenido producto de la ecuación de RLM.

La ecuación que representa a la Regresión Lineal Múltiple es la siguiente:

$$\text{Variable meteorológica} = (X * x) + (Y * y) + (Z * z) + (C)$$

Donde:

- X: Variable de la coordenada “X”
- Y: Variable de la coordenada “Y”
- Z: Variable de la coordenada “Z”
- x: Coeficiente de la coordenada “X”
- y: Coeficiente de la coordenada “Y”
- z: Coeficiente de la coordenada “Z”
- C: Coeficiente de la “Regresión Lineal Múltiple”

La ecuación de Regresión Lineal Múltiple (RML) calculada para la Precipitación acumulada anual en la microcuenca Llullán es la siguiente:

$$\text{Precipitación} = X * 0,020977 - Y * 0,02239 + Z * 0,122380 - 205583,5383$$

- **Elaboración de los MDT de Precipitación acumulada multianual**

Determinada la ecuación de RLM y obtenidos los MDT de Elevación (Z), Latitud (Y) y Longitud (X), con la ayuda de la calculadora de algebra de bandas del ArcGIS se procedió a calcular el MDT con la ecuación de RLM y del Error residual, posteriormente se sumaron ambos y se obtuvieron los MDT de la precipitación promedio mensual y el acumulado anual.

Seguidamente se clasificó en rangos (isoyetas), luego se hizo un control de calidad para eliminar el efecto sal y pimienta, se reclasificó y transformó a formato vectorial.

Se migró cada capa de la precipitación promedio mensual y del acumulado anual a la Base de datos del estudio, con la ayuda de reglas topológicas se realizó el control de calidad gráfico y alfanumérico, y finalmente la capa temática quedó en buenas condiciones para hacer diversos análisis geométricos y espacial, así como proceder a elaborar el mapa.

- **Elaboración del mapa de Precipitación acumulada multianual**

Con el objetivo de visualizar la distribución espacial de la precipitación acumulada anual en la microcuenca Llullán se ha logrado dos resultados: el primero es el cálculo de la precipitación areal del promedio mensual y del anual, y el segundo es el gráfico de barras para visualizar la distribución temporal de esta variable meteorológica.

Considerando que la distribución espacial y temporal de la precipitación no es homogénea en todo ámbito de estudio, se ha calculado un promedio mediante la siguiente ecuación:

$$P_m = 1/AT \sum_{(i=1)}^n [A_i * P_i]$$

Donde:

P_m : Precipitación areal del ámbito en estudio

P_i : Precipitación promedio registrada en la isoyeta i

A_i : Área de influencia de la isoyeta i

AT : Área total del ámbito en estudio

n : Número de isoyetas

En la siguiente figura (Figura 36) se muestra la distribución temporal de la precipitación promedio mensual para el ámbito en estudio.

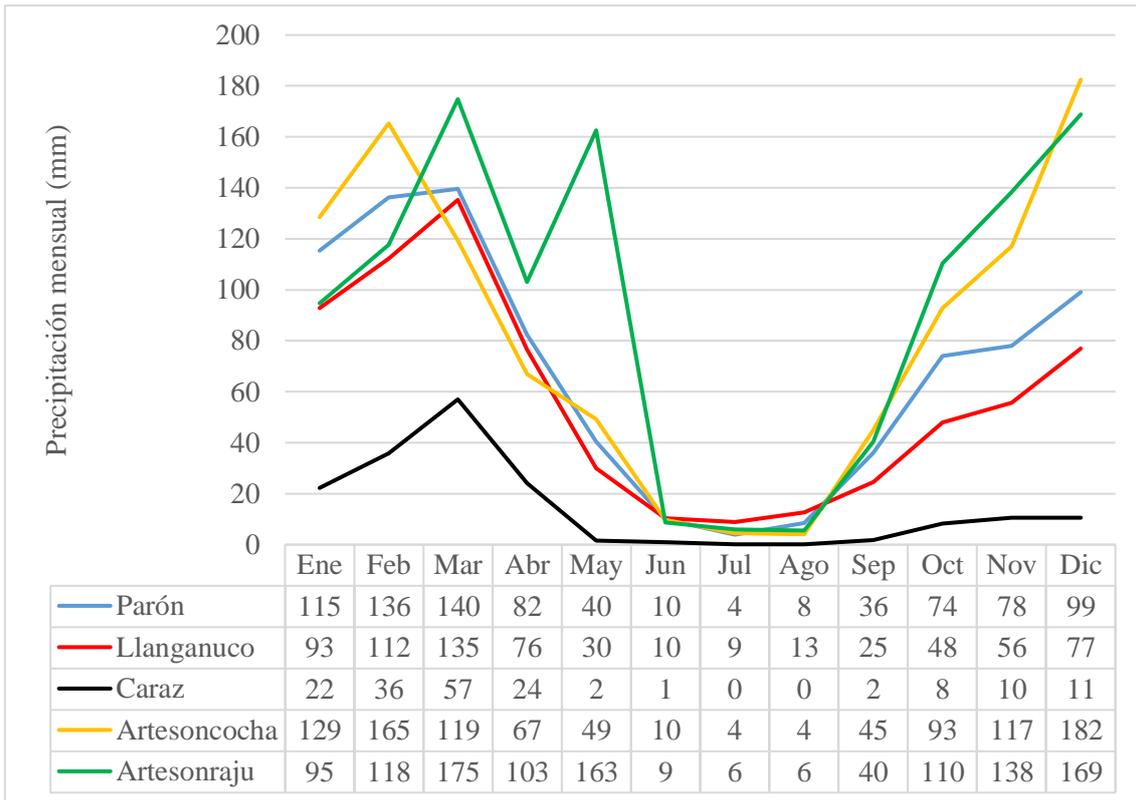


Figura 36: Precipitación promedio mensual por estación meteorológica

FUENTE: ELECTRO PERU - DUKE ENERGY EGENOR - Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Elaboración propia.

Es preciso indicar que el Gradiente altitudinal (Figura 37) de las estaciones meteorológicas se encuentra correlacionado con la precipitación (Figura 38).

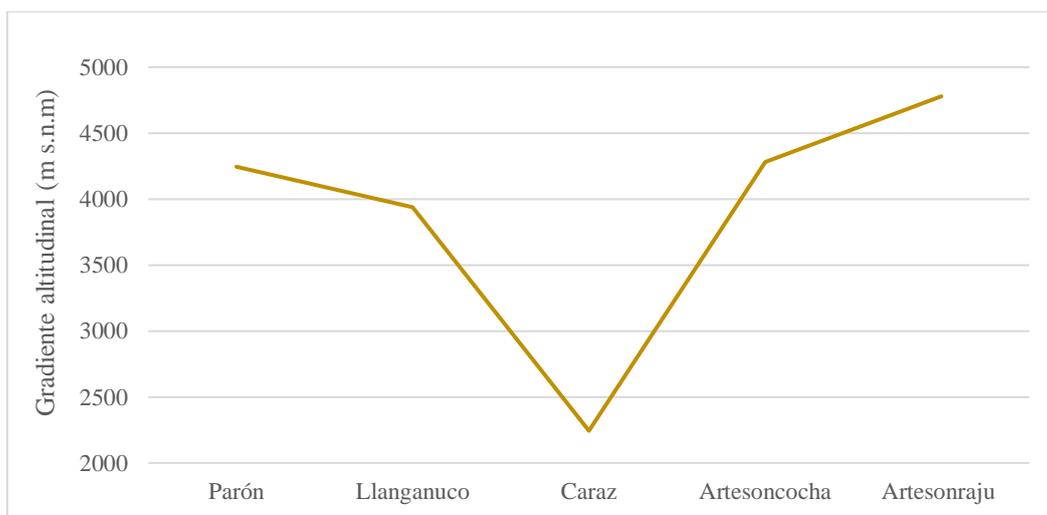


Figura 37: Gradiente altitudinal por estación meteorológica

Elaboración propia

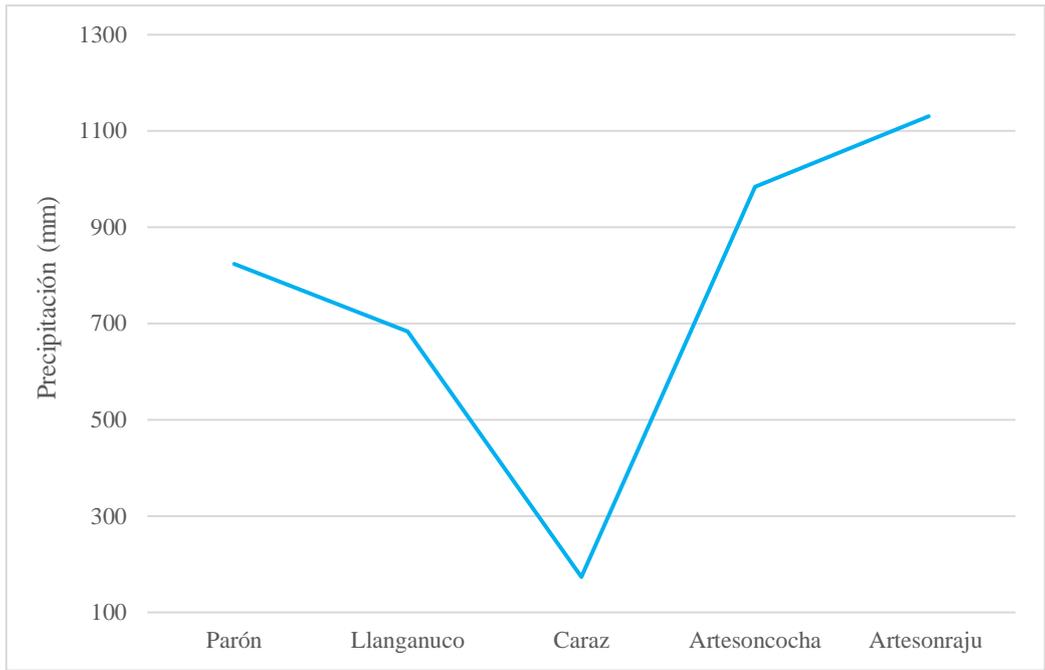


Figura 38: Precipitación por estación meteorológica

Elaboración propia

Como resultado, a continuación se muestra el Mapa de precipitación en la microcuenca Lullán (Figura 39).

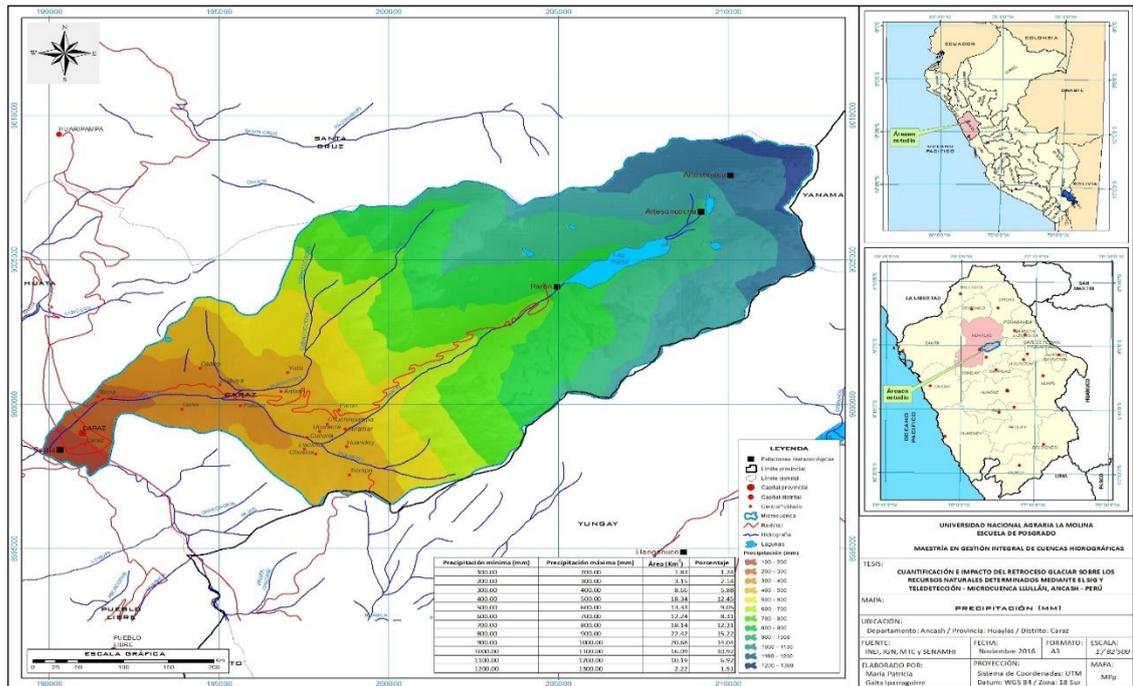


Figura 39: Mapa de precipitación en la microcuenca Lullán

FUENTE INEI, IGN, MTC, SENAMHI.

Elaboración propia

3.4.4. TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

A través del análisis multitemporal de las imágenes de satélite, se cuantifico la evolución de los glaciares en los años 1987, 2001, 2009 y 2014. Para el ámbito de estudio las imágenes de satélite del sensor LANDSAT 8 que abarcan 3 escenas de 170 por 185 kilómetros, con una resolución espacial de 30 metros, un pancromático de 15 metros y resolución espectral de 11 bandas.

Para ello el tratamiento de la información se realizó de la siguiente forma:

- **Corrección geométrica**

Se siguió el método de Puntos de Control, la determinación y cálculo de las funciones de transformación se hizo mediante la polinomial grado 1 y en la transferencia de los niveles digitales originales a la posición georreferenciada se utilizó la matriz de vecino más próximo.

La ortorectificación se realizó mediante el uso de un modelo de elevación digital DEM del terreno.

- **Corrección atmosférica**

Mediante la calibración radiométrica a la imagen satelital ortorectificada con el programa Envi versión 5.1 y posteriormente la corrección geométrica con el programa Erdas 2014 seguidamente el mapeo se utilizó el programa Arcgis versión 10.3. se realizó una interpretación visual por ser un área pequeña y un pixel grande. (Figura 40).

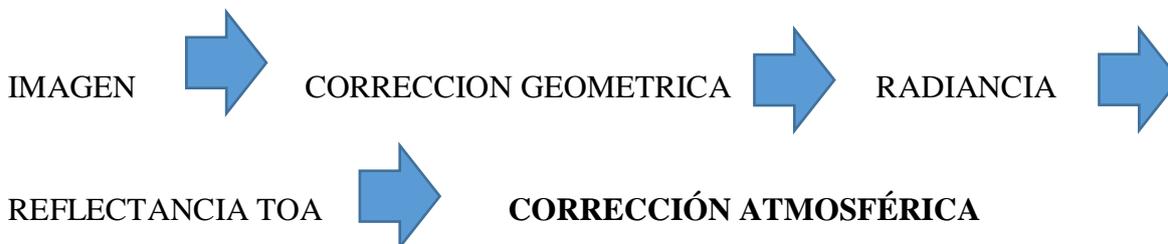


Figura 40: Flujo de procesamiento para la imagen LANDSAT

FUENTE: Vargas, C. 2009

De la Figura 41 a la Figura 47, se muestra secuencia del proceso:

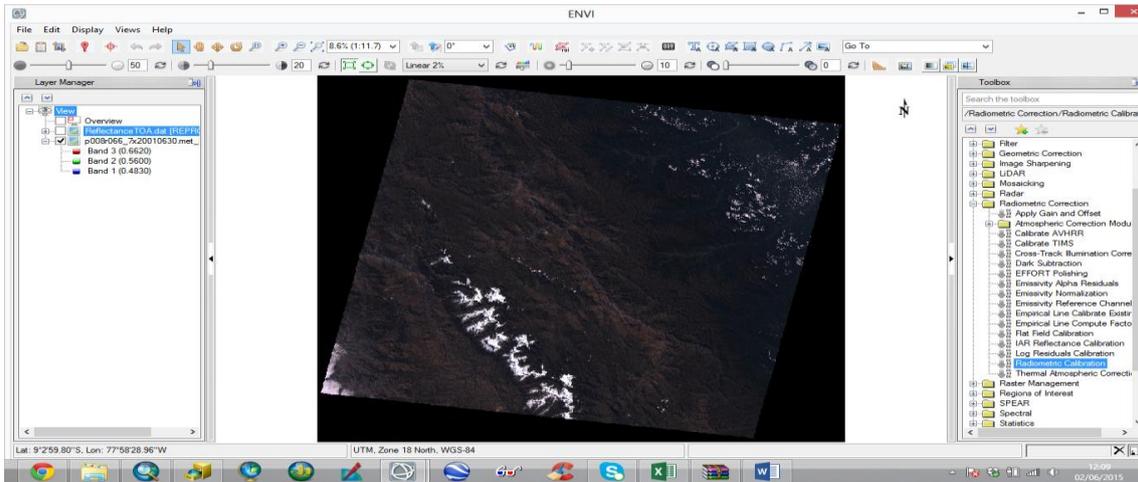


Figura 41: Imagen nivel digital Reflectancia TOA, Calibración (convirtiendo valores de los DN)

Elaboración propia

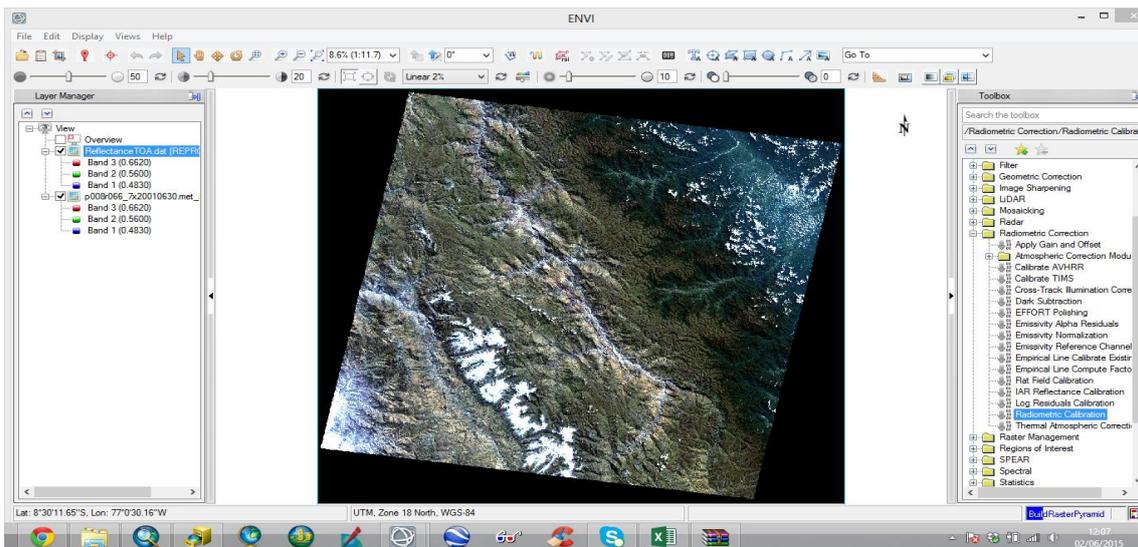


Figura 42: Imagen con el proceso finalizada la radiancia

Elaboración propia

En la figura 43, se muestra el proceso durante la conversión de radiancia a reflectancia aplicando el modelo matemático TOA, la función elegida fue surface reflectance (SR) usando Dark Object Subtraction (DOS), se observa la imagen corriendo el proceso. Reflectancia de superficie, resta objeto oscuro.

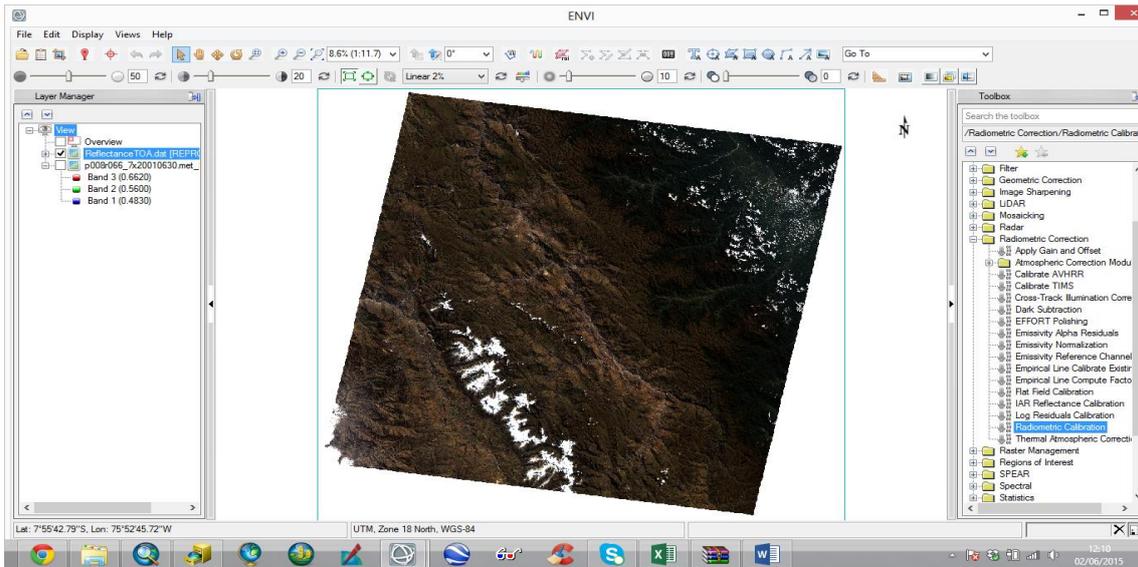


Figura 43: Aplicación del modelo matemático
Elaboración propia

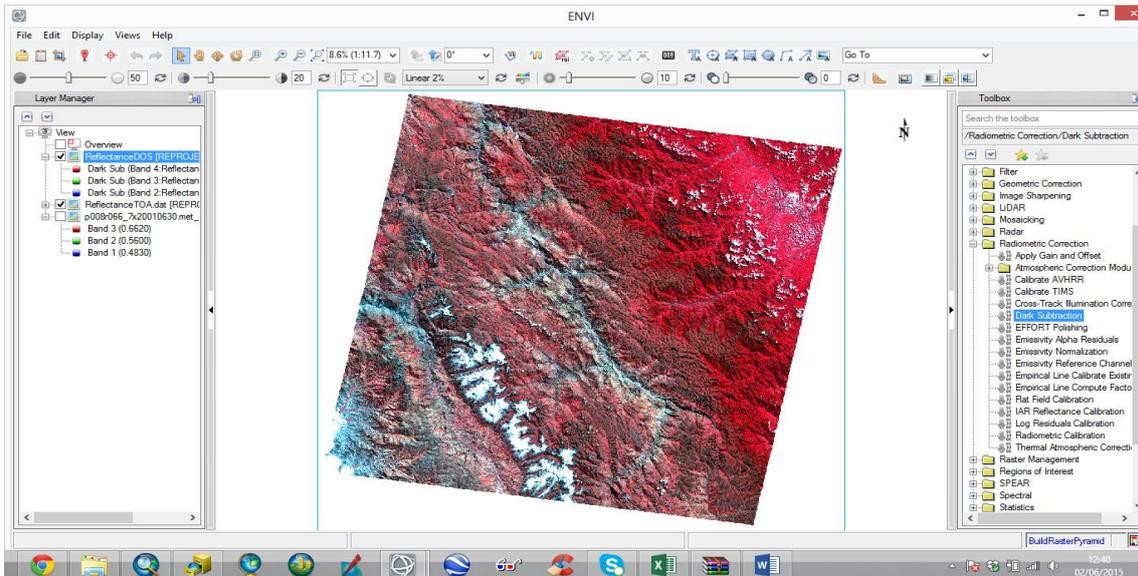


Figura 44: Proceso finalizado, imagen procesada
Elaboración propia

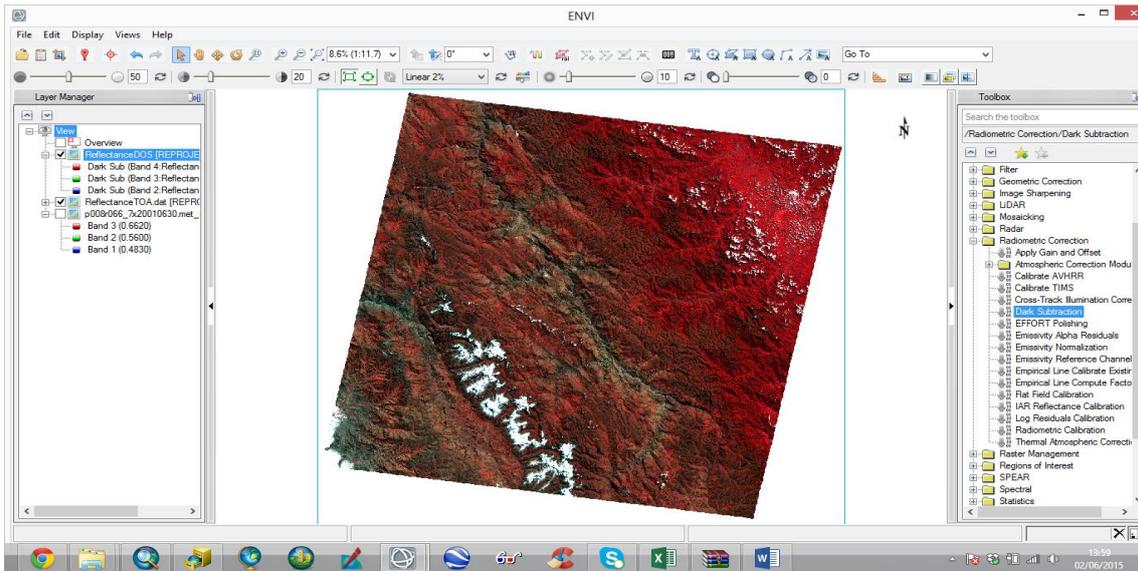


Figura 45: Corrección geométrica
Elaboración propia

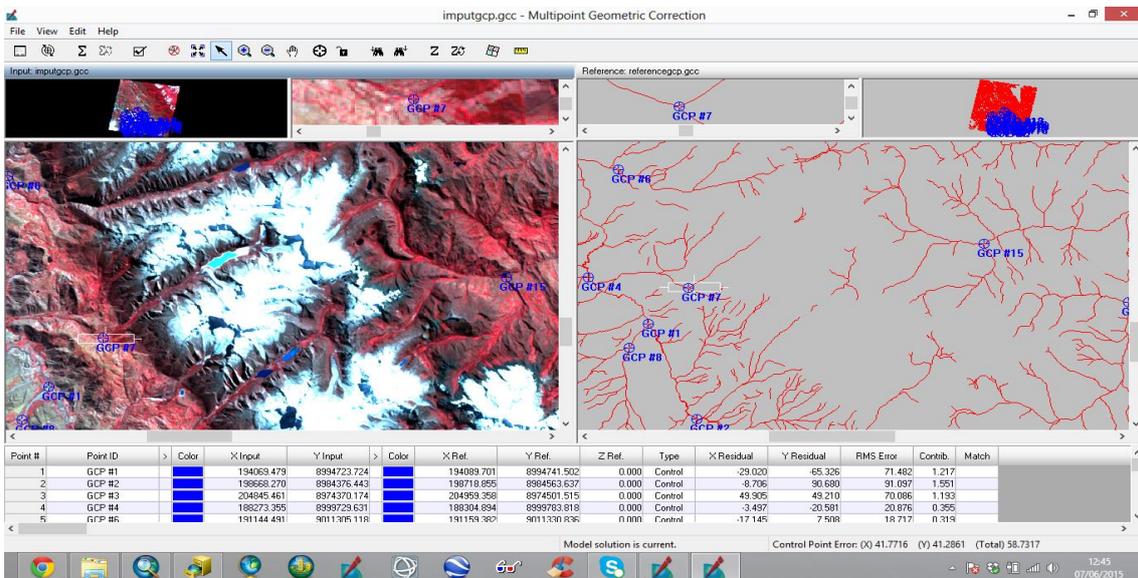


Figura 46: Ubicación aproximada modelos GCC formato para Erdas. Se visualiza el error cuadrático medio, errores residuales.
Elaboración propia

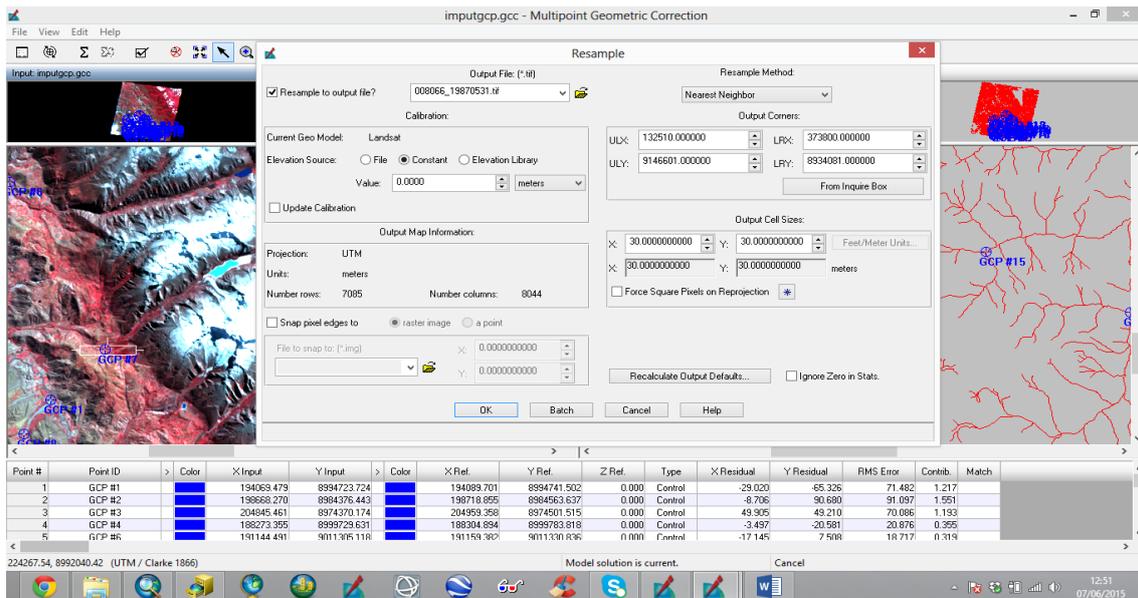


Figura 47: Configurando la salida

Elaboración propia

El siguiente cuadro (Cuadro 10) muestra las combinaciones de bandas imágenes 1987, 2001, 2009 y 2014. En la imagen de año 2014 se utilizaron otras combinaciones de bandas al tener esta 8 bandas en lugar de 6 bandas.

Cuadro 10: Combinaciones de bandas imágenes 1987, 2001, 2009 y 2014

Combinación	1987	2001	2009	2014
Cuerpos de agua	6/2/1	6/2/1	6/2/1	6/2/1
Glaciares	4/6/5	4/6/5	4/6/5	7/4/6
Cascos urbanos	4/3/2	4/3/2	4/3/2	5/4/3
Mosaico de cultivos	4/3/2	4/3/2	4/3/2	4/3/2

Elaboración propia

- **Criterios y elementos de interpretación satelital**

Los métodos para la interpretación visual de imágenes de satélite son muy similares a los métodos desarrollados para interpretar fotografías aéreas desde hace 100 años. Al usar elementos como tono, textura, forma, patrones y relaciones entre objetos, un intérprete puede identificar muchas características de una imagen.

Los criterios de interpretación empleados son los siguientes:

- **Forma**

La forma es una de las primeras características discriminantes, usadas cuando se interpreta visualmente una imagen. Las características totales del límite de un objeto permiten que muchos objetos sean reconocidos. Este elemento permite reconocer en las imágenes, objetos de carácter individual, tales como: aeropuertos, hipódromos, parques industriales, cuerpos de agua (lagos y lagunas), rasgos geológicos (lineamientos, coladas volcánicas). Las formas lineales, irregulares o rectilíneas, permiten separar cursos de agua naturales (ríos o arroyos) de cursos artificiales (canales).

- **Tono**

Hace referencia a la intensidad de energía registrada por el sensor en una determinada banda. Esta energía reflejada por una superficie, depende de la naturaleza física química del objeto, del grado de exposición al sol y del ángulo de reflectancia (es la fracción de radiación incidente reflejada por una superficie). Esta intensidad se expresa mediante variaciones de grises, que van del negro (superficies que carecen totalmente de energía reflejada), al blanco, máxima intensidad de energía reflejada que capta el sensor. Cada cubierta de usos/ocupación de la tierra tiene determinados tonos según la banda espectral del satélite que se utilice.

- **Color**

La composición coloreada de distintas bandas espectrales de una misma escena produce un aumento de la información disponible para poder interpretar una determinada imagen. El color que aprecia nuestros ojos está directamente relacionado con la energía reflejada por los objetos en las diferentes longitudes de onda del espectro visible; así por ejemplo, un objeto se visualizará como azul si es que su máxima reflectancia se encuentra en las longitudes de onda correspondiente a ese color; del mismo modo un objeto aparece blanco a nuestra vista debido a la elevada reflectancia del mismo en todas las longitudes de onda del visible.

- **Textura**

La textura es un carácter de conjunto y se refiere a la frecuencia de cambios de tono en una imagen; se manifiesta a través de una aparente rugosidad o suavidad de la superficie. La misma se produce por un conjunto de elementos, demasiados pequeños para ser distinguidos por sí mismo. La textura de la imagen deriva de la relación entre el tamaño de los objetos y la resolución del sensor y también está influenciada por el ángulo de iluminación.

- **Entorno espacial**

Determinadas cubiertas de interés pueden ser discriminadas con criterios de interpretación basados en el conocimiento del área de estudio por parte del intérprete. El contexto espacial es imposible de abordar por técnicas digitales y permite afinar los resultados de cualquier tipo de interpretación.

- **Patrón o diseño**

El patrón o diseño se refiere al ordenamiento espacial de los objetos con características tales que permiten su fácil identificación. Podemos definir los siguientes patrones naturales: *i)* Patrón de drenaje, relacionado con la disposición de las vías de agua en cuanto a su forma, densidad y distribución, *ii)* Patrón de relieve, relacionado con las elevaciones o irregularidades de una superficie terrestre y *iii)* Patrón de vegetación natural, donde los cambios espontáneos de vegetación natural son buenos indicadores de cambio de suelo.

- **Asociación**

Por asociación se entiende, la relación existente entre una determinada cubierta con elementos vecinos a la imagen. Algunos elementos con igual respuesta espectral, sólo pueden ser interpretados correctamente si se tiene en cuenta su ubicación y su relación con el entorno; un claro ejemplo de esto podría ser la presencia de una superficie de agua cercana a canteras, en la imagen aparece un cuerpo de agua negro en un área irregular

blanquecina; otro ejemplo lo constituye la identificación de cursos de agua, asociándolos con la presencia de vegetación en sus márgenes.

- **Sombras**

Las sombras favorecen la presencia de rasgos geomorfológicos, dependen de la fecha de adquisición de la imagen y del relieve. Los ángulos solares bajos tienden a acentuar las pequeñas variaciones del terreno, ayudando a identificar mejor las irregularidades topográficas. Las sombras favorecen también, la interpretación de las áreas forestales y son una valiosa ayuda para separar, en ciertas oportunidades, nieves de nubes ya que éstas aparecerán acompañadas de su respectiva sombra.

- **Contraste**

El contraste es un elemento importante que permite resolver objetos. Se puede definir como la relación entre el tono de una superficie y el de su área circundante. Este elemento permite delimitar con facilidad, sobre todo en la banda del rojo, las vías de comunicación y los ríos siempre que la respuesta espectral de esta cubierta sea distinta a la de su entorno.

- **Período de adquisición**

Es importante saber si las escenas que se adquieren corresponden a épocas de lluvias o sequías, ya que influyen directamente en la reflectividad de los objetos. Esto es más notorio en bosques secos, o en sitios donde se forman inundaciones o pantanos. El reconocimiento de elementos propios de la fecha de adquisición de las imágenes son el conocimiento de la fenología del área de estudio.

3.4.5. CALCULO DE LA TASA DE CAMBIO

Los mapas de cobertura de los años 1987, 2001, 2009 2014 permitieron el cálculo de la superficie glaciaria (km^2), con ello se procedió al cálculo de la tasa de cambio anual de la superficie glaciaria en porcentaje. Colonia, (2011).

Aplicando la siguiente formula:

$$N = N_0(1 + r)^t$$

Donde:

N_0 = superficie de la cobertura glaciaria en el tiempo "0"

N = superficie de la cobertura glaciaria en el tiempo "1"

r = tasa de cambio anual

t = diferencia del tiempo en años

Despejando de la ecuación anterior, la tasa de cambio anual en porcentaje se obtiene de la siguiente ecuación:

$$r = \left[\left(\frac{N}{N_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right] 100$$

3.4.6. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE RIESGO

Para la elaboración del Mapa de riesgos se consultó el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. CENEPRED, (2013). En función a las variables conocidas del área se elaboraron los submodelos: peligros generados por fenómenos de geodinámica externa para movimientos en masas y vulnerabilidad de elementos expuestos, con ello se desarrolló el Mapa de riesgo de la microcuenca Llullán.

a. SUBMODELO DE PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA

- **Variables que conforman el submodelo de peligros por movimientos en masa**

Para la elaboración del submodelo de peligros por movimientos en masa se trabajó con cinco variables de la microcuenca Llullán tales como: pendiente, geología, geomorfología, cobertura y precipitación.

- **Criterios de calificación y ponderación de las variables del Sub modelo de Peligros por movimientos en masa**

- **Pendiente**

El criterio de clasificación de esta variable se base en el grado de la pendiente, la cual tiene relación con el grado de resistencia de los suelos frente a la ocurrencia de deslizamientos, en efecto, los suelos que están ubicados en pendientes pronunciadas con textura pesada son los más propensos a ser deslizados luego de una fuerte y duradera precipitación; esto se debe a la capacidad de retención de agua, adquiriendo un peso adicional y debido a la gravedad tienden a deslizarse. Esta variable representa al grado de inclinación de los terrenos y se define como el ángulo formado por dos lados, expresada en porcentaje (%). La calificación se muestra en el siguiente cuadro (Cuadro 11).

Cuadro 11: Calificación de los atributos de la variable Pendiente en el submodelo auxiliar de peligros por movimientos en masa

Rango (%)	Símbolo	Unidades de Pendientes	Calificación	Nivel de peligro
> 75	G	Extremadamente Empinada	2,8	Muy alto
50 - 75	F	Muy Empinada	2,3	Alto
25 - 50	E	Empinada	1,8	Medio
15 - 25	D	Moderadamente Empinada	1,8	
8 - 15	C	Fuertemente Inclinada	1,2	Bajo
4 - 8	B	Moderadamente Inclinada	1,2	
0 - 4	A	Plana a Ligeramente Inclinada	1	

Elaboración propia

- **Geología**

La cantidad de material que podría ser removido depende de las características físicas y químicas de la roca; por ejemplo si son inestables, o si son depósitos inconsolidados o si la roca es soluble, o es de escasa cristalización, textura afánicas o muy fina, estructura terrosa; además, si es rica en feldespatos y se encuentra en ambientes húmedos, en pendientes empinadas, etc., podría ser removida en grandes volúmenes y por lo consiguiente crear peligros de rango muy alto. En función a las características litológicas se calificó esta variable de la siguiente manera ver cuadro (Cuadro 12).

Cuadro 12: Calificación de los atributos de la variable Geología en el submodelo auxiliar de peligros por movimientos en masa

Símbolo	Unidades Estratigráficas	Calificación	Nivel de peligro
Qh-c	Cuaternario holoceno-continental	3,0	Muy alto
Ki-mc	Cretáceo inferior marino, continental	2,2	Alto
Np-v	Neógeno plioceno-volcánico	1,8	Medio
N-gd/to	Neogeno, granodirita-tonalita	1,3	Bajo

Elaboración propia

- **Geomorfología**

El criterio de calificación ha sido en función de la forma del relieve actual, el cual guarda relación con el grado de resistencia de los suelos frente a la ocurrencia de deslizamientos, en efecto, los relieves que están ubicados en pendientes pronunciadas son los más propensos a ser deslizados luego de una fuerte y duradera precipitación. Teniendo en cuenta estos criterios y considerando el grado de influencia que estos tienen se calificó según su unidad geomorfológica. Cuadro Calificación de los atributos de la variable Geomorfología en el Submodelo auxiliar de movimientos en masa. (Cuadro 13).

Cuadro 13: Calificación de los atributos de la variable Geomorfología en el submodelo auxiliar de peligros por movimientos en masa

Símbolo	Unidades Geomorfológicas	Calificación	Nivel de peligro
Vs1-g	Elevación de 0 a 1000 m de altura y superficie extremadamente empinada	2,8	Muy alto
Vs1-f	Elevación de 0 a 1000 m de altura y superficie muy empinada	2,3	Alto
Vs2-f	Elevación de 300 a más de 1000m de altura y superficie muy empinada	2,3	
Vs3-f	Elevación de 300 a 1000 m de altura y superficie muy empinada	2,3	
Vs1-e	Elevación de 0 a 1000 m de altura y superficie empinada	2	
Vs2-e	Elevación de 300 a más de 1000m de altura y superficie empinada	2	
Vs3-e	Elevación de 300 a 1000 m de altura y superficie empinada	2	

Símbolo	Unidades Geomorfológicas	Calificación	Nivel de peligro
Vs2-d	Elevación de 300 a más de 1000m de altura y superficie moderadamente empinada	1,6	Medio
Vs3-d	Elevación de 300 a 1000 m de altura y superficie moderadamente empinada	1,6	
Vso-b	Superficie de erosión local, acumulación coluvial y superficie ligeramente inclinada	1,2	Bajo
Fv2-b	Acumulación fluvial reciente y superficie ligeramente inclinada	1,2	
Vs3-b	Elevación de 300 a 1000 m de altura y superficie ligeramente inclinada	1,2	
Vs3-c	Elevación de 300 a 1000 m de altura y superficie ligeramente inclinada a moderadamente empinada	1,2	
Cu	Casco urbano	99	No aplica
Ca	Cuerpos de agua	99	
Gl	Glaciares	99	

Elaboración propia

- **Cobertura vegetal**

Esta variable considera las formaciones o coberturas terrestres que existen en la microcuenca, la importancia de este es entre otros aspectos protector primario de casi todos los ecosistemas, ya que su capacidad de asimilación de energía solar, protege los suelos y los recursos hídricos. El criterio de calificación por tipo de cobertura se presenta en el siguiente cuadro (Cuadro 14).

Cuadro 14: Calificación de los atributos de la variable Cobertura en el sub modelo auxiliar de peligros por movimientos en masa

Símbolo	Unidades de Cobertura vegetal	Calificación	Nivel de peligro
MCa	Mosaico de cultivos	2,8	Muy alto
Af-Cl	Afloramiento rocoso - Comunidades litofíticas	2,3	Alto
Pj-Ad	Pajonal con arbustos dispersos	2,0	
Mt	Matorral	1,8	Medio
Vr-Mr	Vegetación ribereña - Monte ribereño	1,3	Bajo
Bn	Bosque natural	1	
Pf	Plantación Forestal	1	
Cu	Casco urbano	99	No aplica
Ca	Cuerpos de agua	99	
Gl	Glaciares	99	

Elaboración propia

- **Precipitación**

Las frecuentes variaciones de precipitación, que obviamente depende de las variaciones de temperatura y altitud, influyen en el drenaje superficial generando flujos de lodo y huaycos; a su vez genera inestabilidad en masas rocosas y en los depósitos inconsolidados; sus efectos, sobre todo de lluvias intensas y de larga duración que a su vez generan grandes cantidades de agua, modifican de manera constante las formas del relieve, por cuanto incrementa el cauce de los ríos y lagunas provocando inundaciones, produce movimiento en masa que pueden afectar medios de vida de la población llegando hasta a la pérdida de vidas humanas. (Cuadro 15).

Cuadro 15: Calificación de los atributos de la variable Precipitación en el Sub modelo auxiliar de peligros por movimientos en masa

Promedios mínimos	Promedios máximos	Calificación	Nivel de peligro
1200	1300	2,8	Muy alto
1100	1200	2,8	
1000	1100	2,8	
900	1000	2,5	Alto
800	900	2,3	
700	800	2,1	
600	700	1,8	Medio
500	600	1,6	
400	500	1,4	Bajo
300	400	1,2	
200	300	1,2	
100	200	1	

Elaboración propia

Una vez calificado los atributos de cada variable se procedió a correlacionar espacialmente cada una de ellas.

El grado de influencia por variable se definió con la siguiente ponderación:

- Pendiente: 25 %
- Geología: 15 %

- Geomorfología: 20 %
- Cobertura vegetal: 15 %
- Precipitación: 25 %

A continuación, para el Submodelo de peligros por movimientos en masa se representa el Flujo GIS para el Submodelo auxiliar de movimientos en masa (Figura 48), y el diseño del modelo en la plataforma Model Builder (Figura 49).

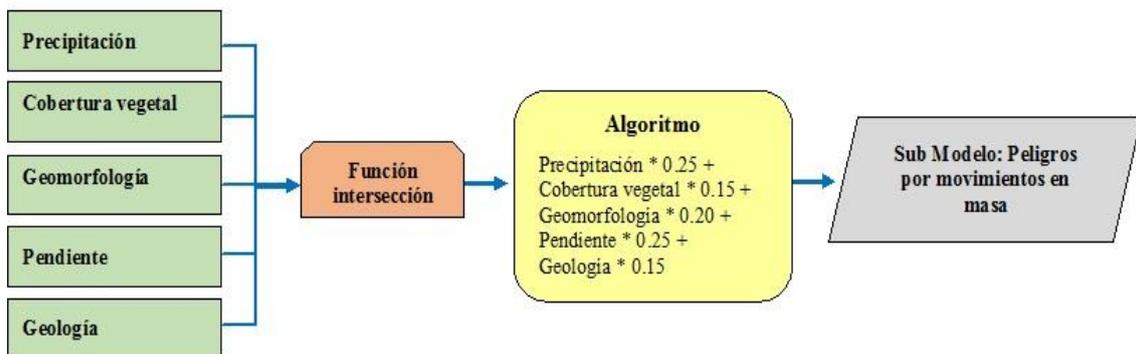


Figura 48: Flujo GIS para el Submodelo auxiliar de peligros por movimientos en masa

Elaboración propia

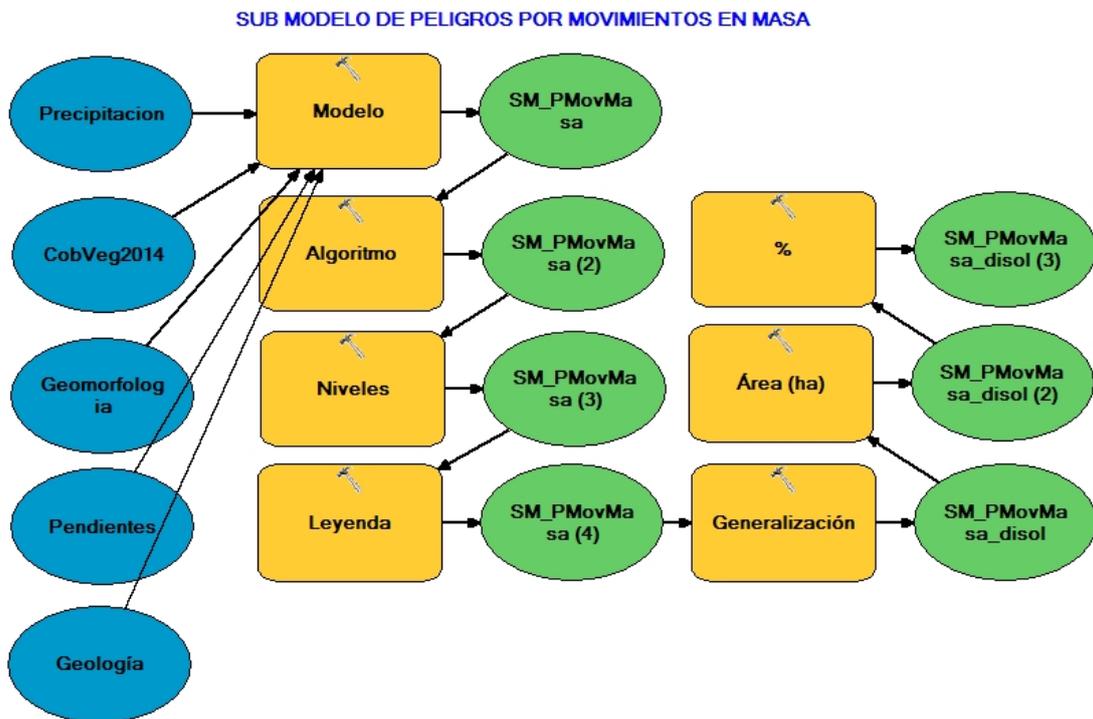


Figura 49: Diseño del Submodelo auxiliar de peligros por movimientos en masa en la plataforma Model Builder

Elaboración propia

- Ejecución del submodelo de peligros por movimientos en masa

Una vez diseñado el Submodelo en la plataforma Model Builder, se procedió a correr e implementar los criterios en la base de datos y modelar. Las siguientes figuras ilustran el proceso. (Figuras: 50, 51, 52).

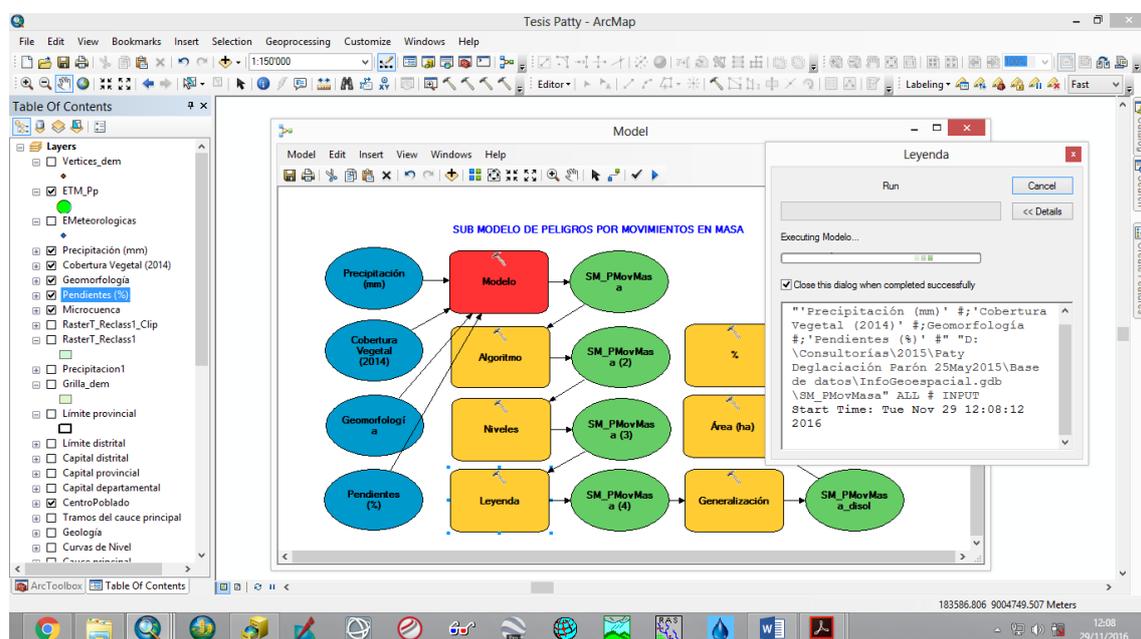


Figura 50: Ejecución del modelo lógico del Submodelo auxiliar de movimientos en masa

Elaboración propia

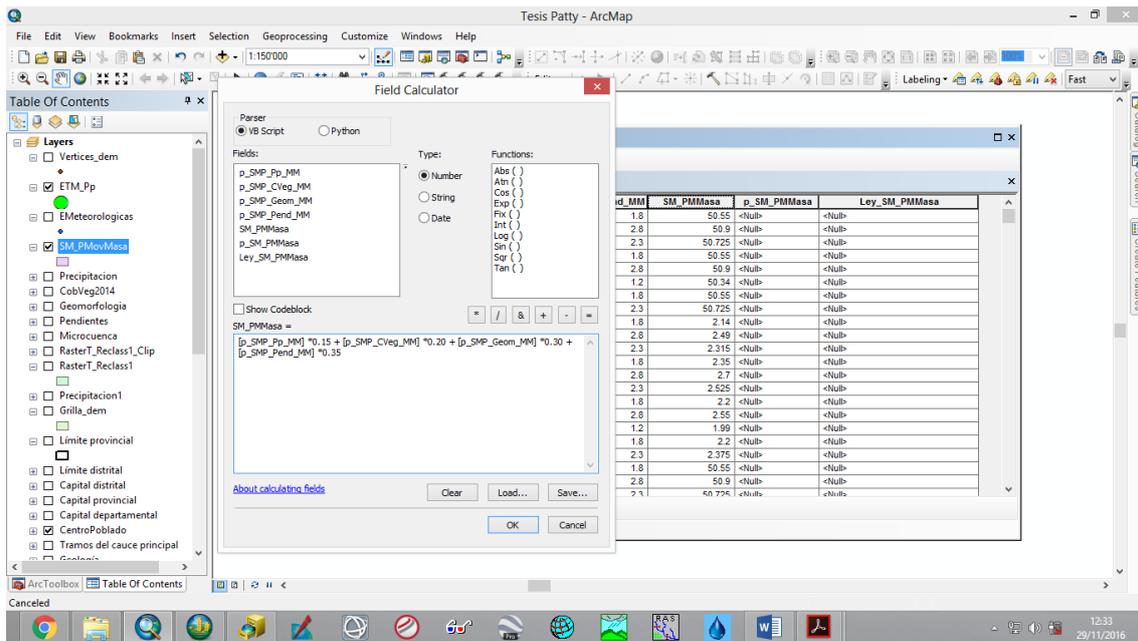


Figura 51: Implementación y ejecución del algoritmo del Submodelo auxiliar de movimientos en masa

Elaboración propia

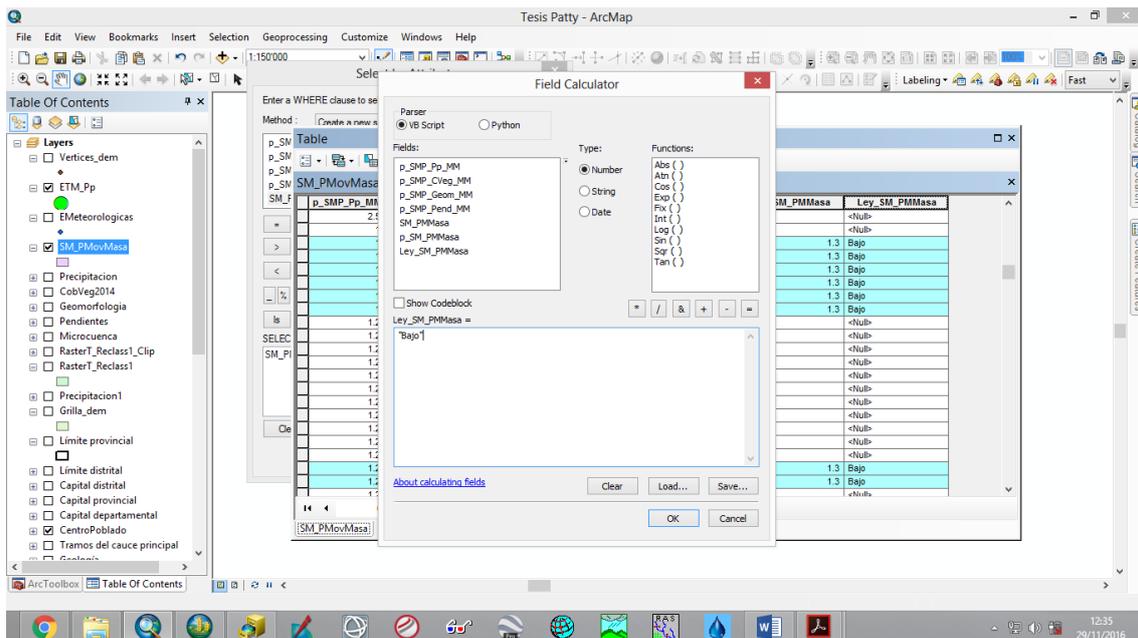


Figura 52: Implementación de la leyenda del Submodelo auxiliar de movimientos en masa

Elaboración propia

- **Mapa de peligros por movimiento de masa**

Finalizado el proceso se obtuvo el Mapa de peligros por movimiento en masa de la microcuenca (Figura 53) y el Mapa de peligros por movimiento en masa de la

microcuenca Lullán sin considerar la superficie del Parque Nacional Huascarán (Figura 54).

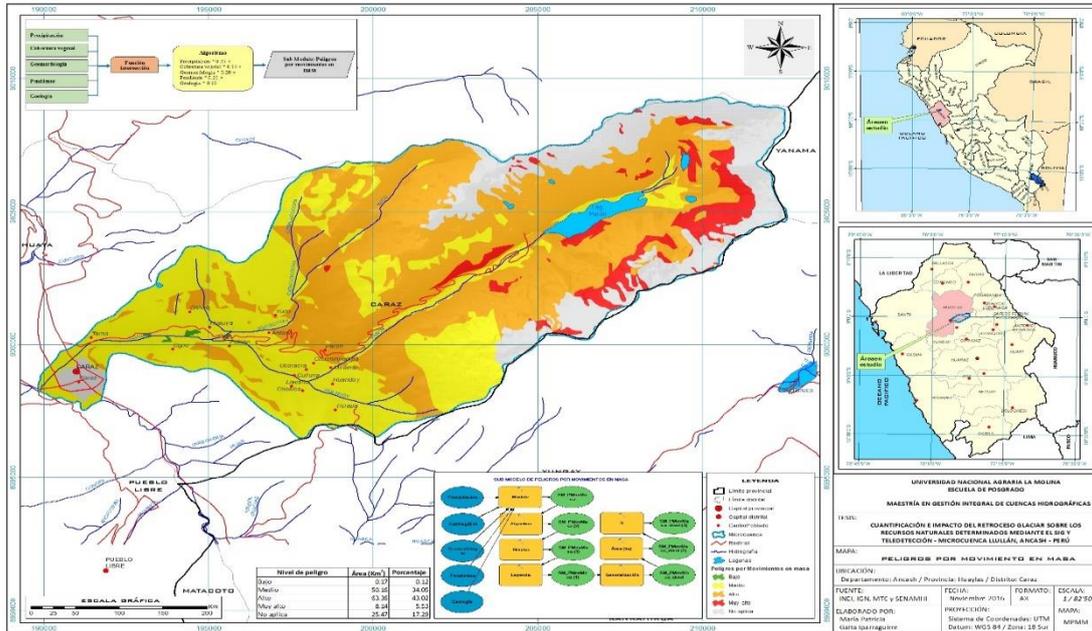


Figura 53: Mapa de peligros por movimiento en masa de la microcuenca Lullán
Fuente INEI, IGN, MTC y SENAMHI

Elaboración propia

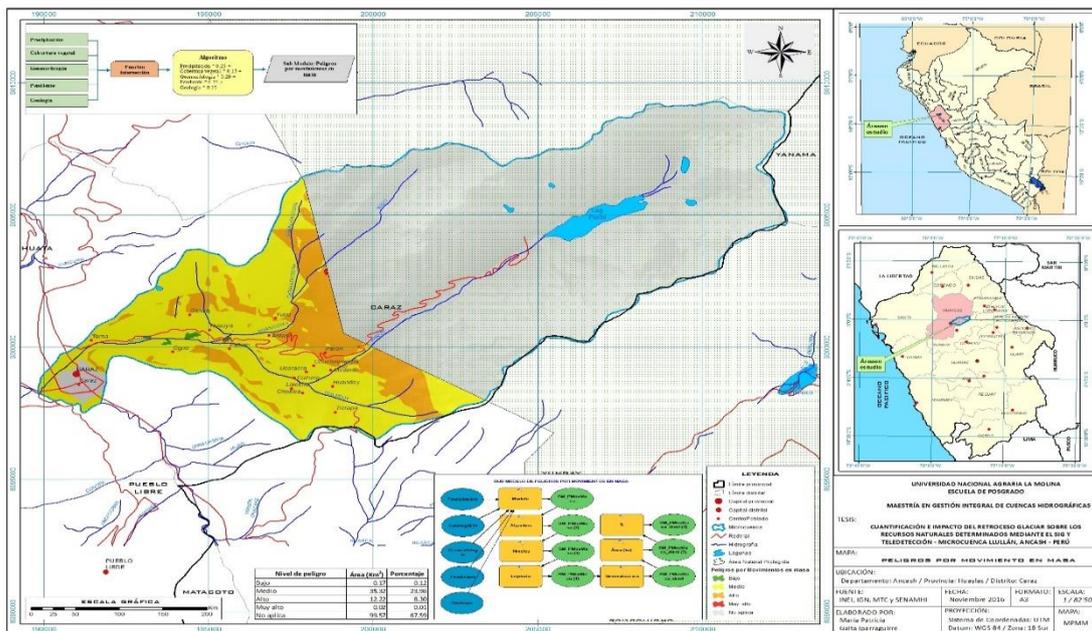


Figura 54: Mapa de peligros por movimiento en masa de la microcuenca Lullán sin PNH

Fuente INEI, IGN, MTC y SENAMHI

Elaboración propia

b. SUBMODELO DE VULNERABILIDAD

- **VARIABLES QUE CONFORMAN EL SUBMODELO DE VULNERABILIDAD**

En el área de estudio lo conforman 17 centros poblados: Caraz, Antash, Chosica, Chuchinpampa, Cono, Culluna, Huandoy, Huauya, Llacshu, Yuco, Ticrapa, Miramar, Oshco, Pakian, Parón, Tarna y Ocoracra; a través de las entrevistas realizadas se obtuvo información relacionada al principal medio de vida, características del medio de vida, servicios, organizaciones sociales, enfermedades comunes y programas sociales; todos ellos atributos considerados en el submodelo de vulnerabilidad.

A continuación, se presentan los resultados de la matriz utilizada para el análisis de vulnerabilidad (elementos expuestos).

Cuadro 16: Matriz para el análisis de vulnerabilidad (elementos expuestos)

Centro Poblado	(1) ¿Cuál es el principal medio de vida?	(2) ¿Qué caracteriza al medio de vida?	(3) ¿Qué infraestructura de servicios existe en el caserío?	(4) ¿Cuáles son nuestras organizaciones sociales?	(5) ¿Qué enfermedades son más comunes en el caserío?	(6) ¿Qué programas sociales se ejecutan en el caserío?
Antash	Agricultura bajo riego, ganadería y bosques de eucalipto	Cultivos de maíz, papa, alverja, cereales, flores (clavel, gypso milenio, radiola etc), vanita, palto, durazno, alfalfa, kiwicha, calabaza, hortalizas.	Agua potable, luz eléctrica, escasas letrinas, 3 iglesias de diferentes religiones, escuela, colegio, puesto de salud, antena parabólica repetidora del canal del estado TV, campo deportivo, cementerio, vía de acceso carretera afirmada y caminos,	Agente Municipal, teniente Gobernador, ronda campesina, Porteadores de turismo	IRAs, desnutrición infantil, anemia infantil, varicela, verruga peruana	Vaso de leche, programa juntos, qali Wuarma, pensión 65
Chosica	Agricultura bajo riego y secano, ganadería y bosques de eucalipto	Cultivos de maíz, papa, cereales, alverja, flores, kiwicha, kinua, calabaza, zapallo, durazno, palta, alfalfa.	Agua potable, luz eléctrica, 2 iglesias de diferentes religiones, escuela, 1 reservorio, posos individuales, campo deportivo, vías de acceso carretera y caminos.	Agente Municipal, teniente gobernador, ronda campesina, comité de usuarios de agua	IRAs, desnutrición Infantil, anemia Infantil, varicela veruga	Vaso de leche, qali Wuarma, programa juntos, pensión 65
Chuchinpampa	Agricultura bajo riego y ganadería.	Cultivos de maíz, papa, cereales, alverja, flores, chocho	Agua potable, luz eléctrica, iglesia en construcción, vía de acceso camino, cementerio	Agente Municipal, teniente gobernador, ronda campesina asociación pastos naturales dentro del PNH.	IRAs, desnutrición infantil, anemia infantil, varicela, verruga.	Juntos y pensión 65
Cono	Agricultura bajo riego, bosques de eucalipto y ganadería	Cultivos de maíz, papa, alverja, cereales, flores, durazno, camote, alfalfa	Agua potable, luz eléctrica, iglesia, escuela inicial, campo deportivo, vía de acceso carretera y camino	Agente Municipal, teniente gobernador, comité de usuarios de agua, ronda campesina	IRAs, anemia infantil, desnutrición infantil, verruga, varicela	Vaso de leche, Qali Wuarma, programa juntos, pensión 65.
Culluna	Agricultura bajo riego, bosques de eucalipto y ganadería	Cultivos de maíz, papa, cereales, alverja, flores, frutas (manzano,	Agua potable, luz eléctrica, iglesia, escuela inicial, antena movistar, iglesia, campo	Agente Municipal, teniente gobernador, ronda campesina.	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, Qali wuarma, juntos, pensión 65.

Centro Poblado	(1) ¿Cuál es el principal medio de vida?	(2) ¿Qué caracteriza al medio de vida?	(3) ¿Qué infraestructura de servicios existe en el caserío?	(4) ¿Cuáles son nuestras organizaciones sociales?	(5) ¿Qué enfermedades son más comunes en el caserío?	(6) ¿Qué programas sociales se ejecutan en el caserío?
		ciruela, tumbo, fresa), citricos	deportivo, bio digestor, vías de acceso carretera y caminos			
Huandoy	Agricultura bajo riego, bosques de eucalipto bajo riego y en seco, pino con riego tecnificado en parte seco y ganadería	Cultivos de maíz, papa, cereales, hortalizas, flores, alverja, kinua, olluco	Agua potable, luz eléctrica, iglesia, escuela, centro de urbanización con proyecto MI VIVIENDA, zona arqueológica PUEBLO VIEJO, campo deportivo vías de acceso carretera y caminos	Agente Municipal, teniente gobernador, comité de usuarios de agua,	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, Qali wuarma, juntos, pensión 65.
Huauya	Agricultura bajo riego, bosques de eucalipto y ganadería	Cultivos de maíz, papa, fresa, flores, cereales, alverja, vainita, durasno, kinua.	Agua potable, luz eléctrica, 2 iglesias, escuela hasta cuarto grado, sede de la comunidad, campo deportivo, local Municipal, plaza en construcción, letrina, desagüe en construcción, vías de acceso carretera y camino	Agente Municipal, teniente gobernador y ronda campesina.	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, programa juntos, pensión 65
Llacshu	Agricultura bajo riego y seco, bosques de eucalipto, y ganadería	Cultivos de maíz, papa, alverja, cereales, flores, hortalizas, alfalfa	Agua potable, luz eléctrica, iglesia, escuela, colegio, letrina, campo deportivo, local Municipal, puesto de salud, una parte tiene el canal revestido, loza deportiva, vías de acceso carretera y caminos.	Agente Municipal, teniente gobernador, comité de usuarios de agua,	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Comedor popular, vaso de leche, programa juntos, pensión 65, Qali Warma
Yuco	Agricultura bajo riego y seco, bosques de eucalipto, y ganadería.	Cultivos de maíz, papa, alverja, cereales, flores, chocho, oca, olluco, mashua, durazno, rocoto (aji)	Agua potable, luz eléctrica, 2 iglesias de catolicos, escuela, una pequeña parte tienen canal revestido, una pequeña laguna SUYTU COCHA, 3 reservorios, zona	Agente Municipal, teniente gobernador, 4 comité de usuarios de agua, comité de plan de	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, pensión 65, programa juntos, qali wuarma

Centro Poblado	(1) ¿Cuál es el principal medio de vida?	(2) ¿Qué caracteriza al medio de vida?	(3) ¿Qué infraestructura de servicios existe en el caserío?	(4) ¿Cuáles son nuestras organizaciones sociales?	(5) ¿Qué enfermedades son más comunes en el caserío?	(6) ¿Qué programas sociales se ejecutan en el caserío?
			arqueológica SAWAN PUNCU y USA CORAL, campo deportivo, cementerio, vías de acceso carretera afirmada y caminos.	manejo forestal y ronda campesina.		
Ticrapa	Agricultura bajo riego y secano, ganadería	Cultivos de maíz, papa, oca, olluco, kinua, alverja, cereales.	Agua potable, luz eléctrica, iglesia, escuela hasta cuarto grado, campo deportivo, vía de acceso carretera y caminos.	Agente Municipal, teniente gobernador, asociación para extraer hielo (glaciar) y ronda campesina y comité de usuarios de agua	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, pensión 65, programa juntos, qali wuarma.
Miramar	Agricultura bajo riego y secano, ganadería y bosque de eucalipto.	Cultivos de maíz, papa, oca, olluco, kinua, alverja, cereales.	Agua potable, luz eléctrica, escuela, iglesia evangelica, campo deportivo, via de acceso carretera y caminos, canal revestido.	Agente Municipal, teniente gobernador y ronda campesina.	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, pensión 65, programa juntos y qali wuarma.
Oshco	Agricultura bajo riego y ganadería.	Cultivos de maíz, papa, alverja, cereales.	Agua potable, luz eléctrica, letrina, via de acceso carretera y caminos.	Agente Municipal.	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, pensión 65, programa juntos y qali wuarma.
Pakian	Agricultura bajo riego y ganadería.	Cultivos de maíz, papa, alverja, cereales, flores.	Agua potable, luz eléctrica, bio digestor, iglesia, escuela, campo deportivo, via de acceso carretera y caminos	Agente Municipal, teniente gobernador comité de usuarios de agua y ronda campesina.	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, pensión 65, programa juntos y qali wuarma.
Parón	Agricultura bajo riego y secano y ganadería.	Cultivos de maíz, papa, alverja, cereales, flores, chocho, alfalfa.	Agua potable, luz eléctrica, 2 iglesias, escuela, campo deportivo, letrina, via de acceso carretera y caminos	Agente Municipal, teniente gobernador, ronda campesina, asociación de pastos naturales PNH	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, pensión 65, programa juntos y qali wuarma.

Centro Poblado	(1) ¿Cuál es el principal medio de vida?	(2) ¿Qué caracteriza al medio de vida?	(3) ¿Qué infraestructura de servicios existe en el caserío?	(4) ¿Cuáles son nuestras organizaciones sociales?	(5) ¿Qué enfermedades son más comunes en el caserío?	(6) ¿Qué programas sociales se ejecutan en el caserío?
Tarna	Agricultura bajo riego y ganadería.	Cultivos de maíz, papa, alverja, flores, alfalfa, durasno, fresa, rocoto (aji)	Agua potable, luz eléctrica, 2 iglesias, escuela, campo deportivo, via de acceso carretera y caminos	Agente Municipal, teniente gobernador.	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, pensión 65, programa juntos y qali wuarma.
Ocoracra	Agricultura bajo riego y ganadería.	Cultivos de maíz, papa, alverja, flores, alfalfa y hortalizas.	Agua potable, luz eléctrica, iglesia, escuela, campo deportivo, letrinas, via de acceso carretera y caminos	Agente Municipal, teniente gobernador.	IRAs, anemia infantil desnutrición infantil, varicela y verruga.	Vaso de leche, pensión 65, programa juntos y qali wuarma.

Elaboración propia

- **Calificación y ponderación de las variables del submodelo de vulnerabilidad**

El criterio de calificación por atributo se describe a continuación:

Principal medio de vida. La Agricultura bajo riego no tecnificado y al secano, ganadería (vacuno, ovino, porcino, crianza de cuy, aves de corral, conejo), plantaciones forestales y turismo son las actividades productivas identificadas en la microcuenca. La calificación de este atributo fue en función al número de actividades productivas señaladas en la matriz donde serán más vulnerables en categoría “Muy alta” aquellas poblaciones que realizan de una o dos actividades; mientras que a mayor número de actividades productivas identificadas, menor será la vulnerabilidad.

Características del medio de vida. La actividad que predomina en la microcuenca es la agricultura sin embargo no todos desarrollan diversidad de cultivos, por ello aquellos centros poblados más diversificados serán menos vulnerables. La calificación de este atributo fue “Muy alto” para aquellos que cuentan de uno a cinco cultivos, fue disminuyendo a mayor número de cultivos registrados.

Infraestructura. El registro permitió ubicar para cada centro poblado la existencia de infraestructura tal como: conexión a la red eléctrica, colegios, puesto de salud, iglesia, campos deportivos, entre otros. Para la calificación se consideró que mientras menos infraestructura exista mayor será la vulnerabilidad, por ello la calificación de este atributo fue “Muy alto” para aquellos que cuentan de uno a dos servicios.

Organizaciones sociales. A mayor número de organización por cada centro poblado se calificó de menos vulnerable, en ese sentido aquellos centros poblados donde se registran de una a dos organizaciones se califican como de “Muy alta” vulnerabilidad.

Enfermedades comunes. Para este atributo se consideró que mientras más enfermedades comunes se registren la vulnerabilidad aumenta. Por ello, se calificó como “Muy alta” vulnerabilidad aquellos centros poblados que presente más de 4 enfermedades comunes.

Programas sociales. La calificación de este atributo fue inversamente proporcional al número de programas sociales, por ello se calificó de “Muy alto” aquellos centros poblados que presenta un número menor o igual a 3 programas sociales, conforme se registraron más programas sociales, la categoría de vulnerabilidad fue disminuyendo.

Luego de hacer la calificación de los atributos de cada una de las variables, se hizo una correlación espacial para cada variable, definiéndose que todas las variables tiene el mismo grado de influencia; para ello se hizo una media aritmética.

En la siguiente figura (Figura 55) se muestra el modelo lógico del flujo GIS para la elaboración del submodelo de vulnerabilidad.

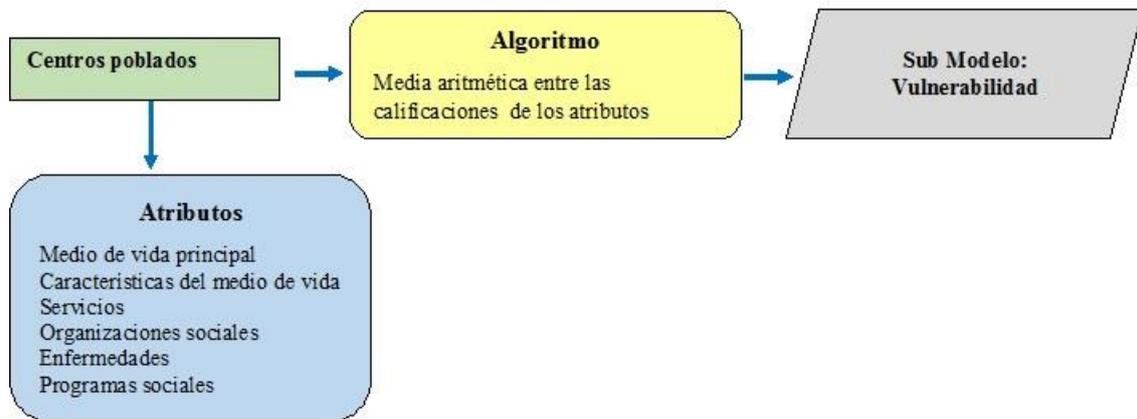


Figura 55: Flujo GIS para el submodelo vulnerabilidad

Elaboración propia

- **Ejecución del submodelo de vulnerabilidad**

Una vez diseñado el Submodelo en la plataforma Model Builder, se procedió a correr e implementar los criterios en la base de datos y modelar. Las siguientes figuras (Figura 56 y 57) ilustran el proceso.

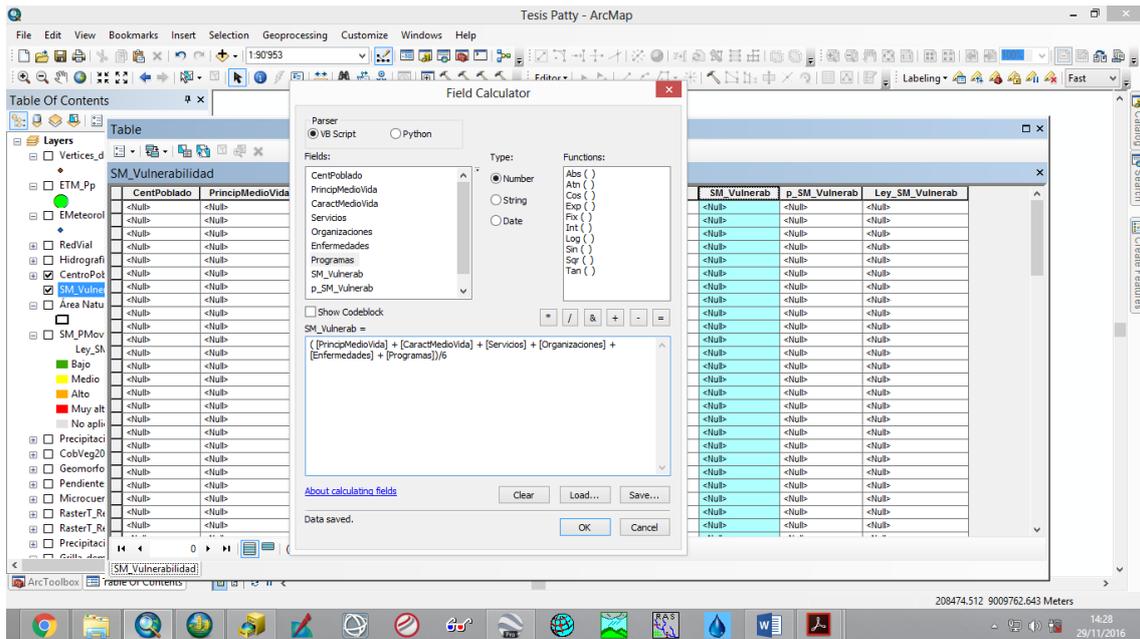


Figura 56. Implementación y ejecución del algoritmo del SM de Vulnerabilidad

Elaboración propia

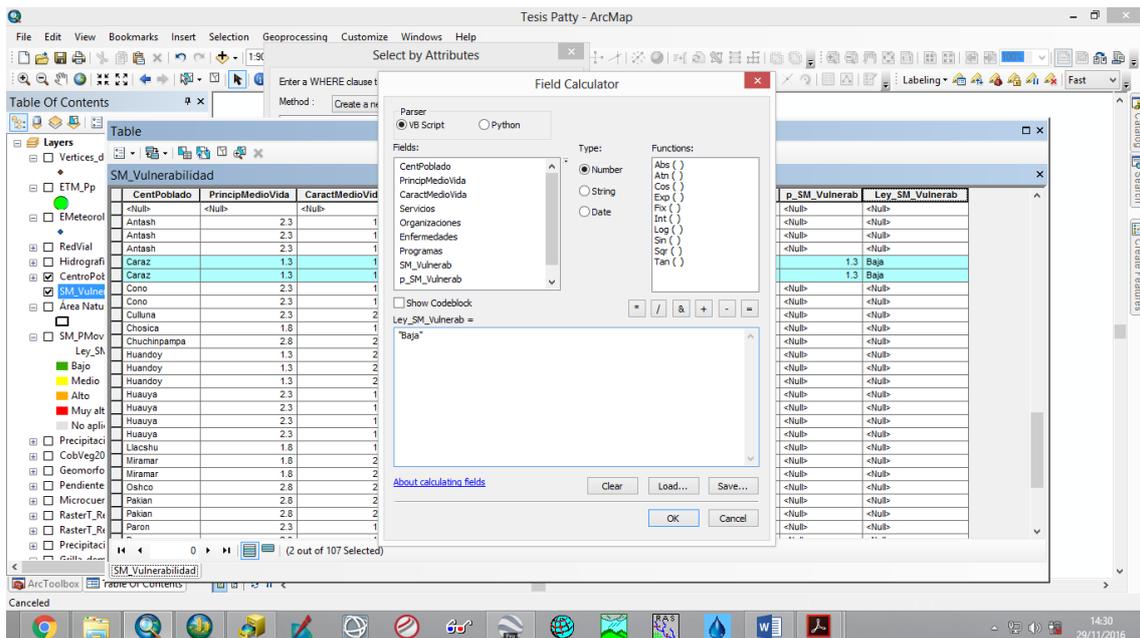


Figura 57: Implementación de la leyenda del SM de Vulnerabilidad

Elaboración propia

- **Mapa de vulnerabilidad**

Finalizado el proceso se obtuvo el Mapa de vulnerabilidad de la microcuenca Lullán. (Figura 58).

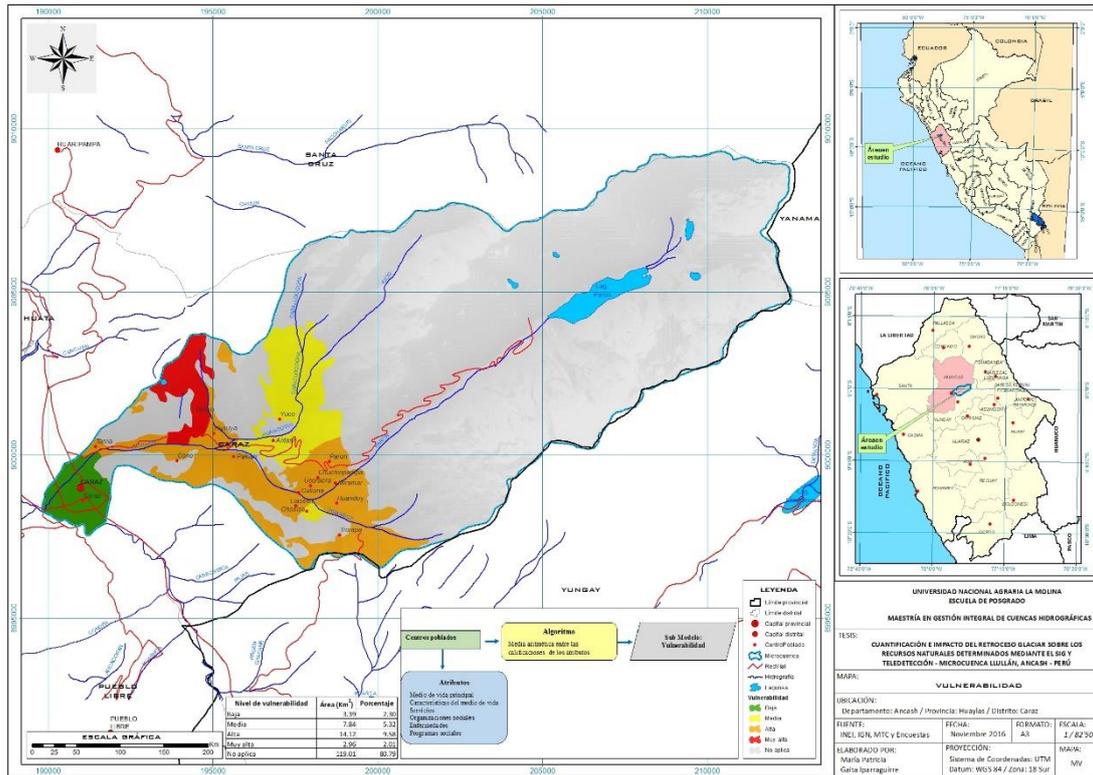


Figura 58: Mapa de Vulnerabilidad de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC, Encuestas

Elaboración propia

c. MODELO DE RIESGOS

- *Descripción de variables que conforman los modelo de riesgos*

Para la elaboración del Modelo de riesgo se utilizó como insumos los submodelos de peligros en movimiento de masa y el submodelo de vulnerabilidad (elementos expuestos).

- *Calificación y ponderación de las variables del Sub modelo*

En este modelo se considera que el grado de influencia es el siguiente:

- Peligros por movimientos en masa: 30 %
- Vulnerabilidad (elementos expuestos): 70 %

Seguidamente se muestra el flujo GIS (modelo lógico) utilizado para el modelamiento. (Figura 59) y el diseño del modelo de riesgo en la plataforma Model Builder. (Figura 60).

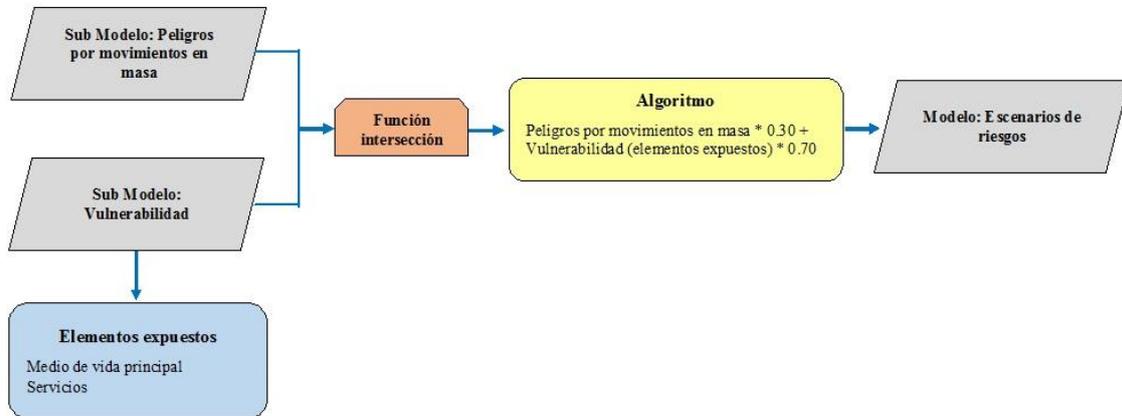


Figura 59: Flujo GIS para el modelo de Riesgos

Elaboración propia

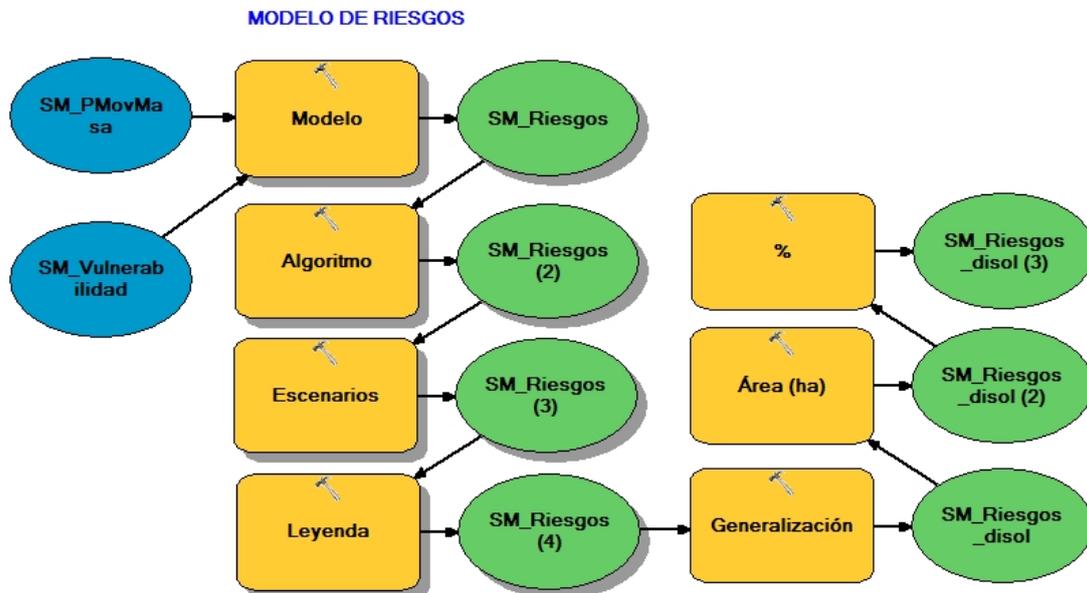


Figura 60: Diseño del modelo de riesgo en la plataforma Model Builder

Elaboración propia

Elaboración propia

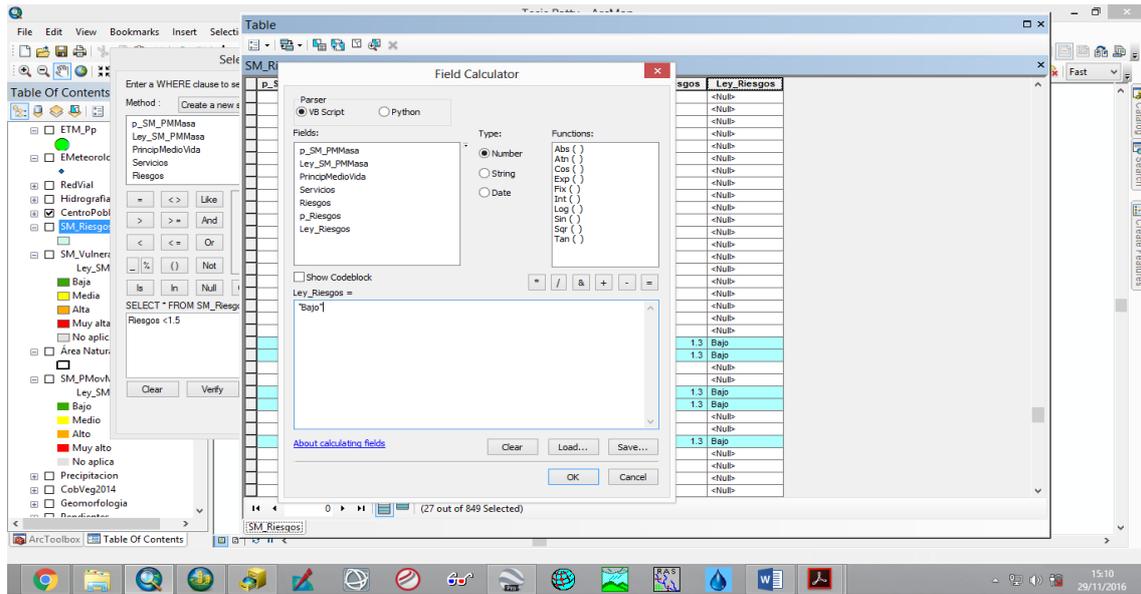


Figura 63: Implementación de la leyenda del SM Riesgos

Elaboración propia

Una vez concluido el proceso se obtuvo el Mapa de riesgo en la microcuenca Llullán. (Figura 64).

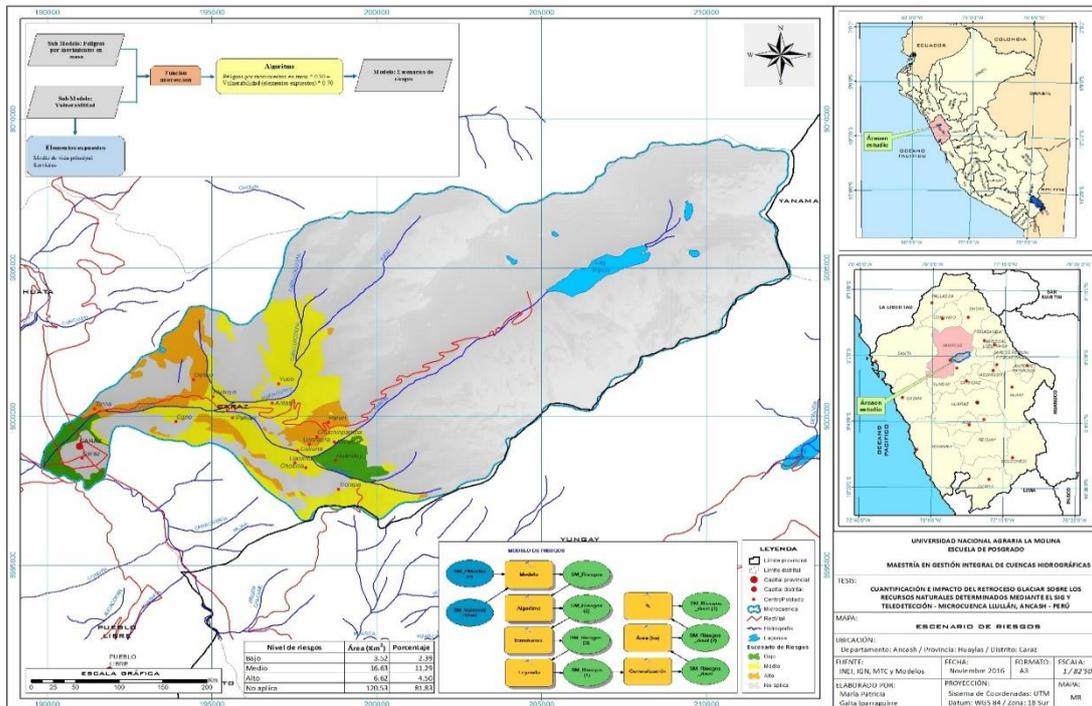


Figura 64: Mapa de Riesgo en la microcuenca Llullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC, Modelos

Elaboración propia

3.4.7. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE ESCENARIOS DE RIESGO POR CAPACIDAD DE USO MAYOR

- *Variables del Sub modelo*

Las variables que conforman el modelo son el mapa de Capacidad de Uso Mayor y el Mapa de riesgos, este modelo es lógico, por ello la leyenda la conforma la combinación de las leyendas de los mapas insumos.

El flujo GIS (modelo lógico) utilizado para el modelamiento. (Figura 65) y el diseño del modelo de riesgo en la plataforma Model Builder.(Figura 66).

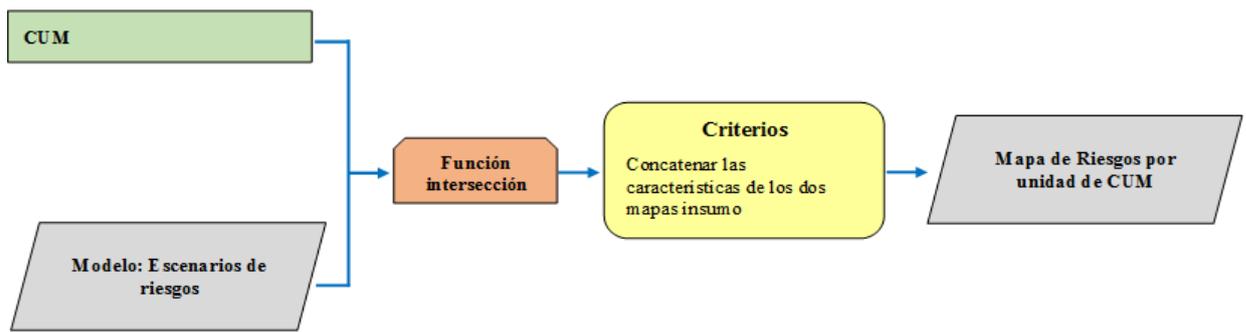


Figura 65: Flujo GIS para el modelo de Riesgos por unidad de Capacidad de Uso Mayor

Elaboración propia



Figura 66: Diseño del modelo de Riesgos por unidad de Capacidad de Uso Mayor en la plataforma Model Builder

Elaboración propia

- *Ejecución del modelo riesgos*

Una vez diseñado el Sub modelo en la plataforma Model Builder, se procedió a correr e implementar los criterios en la base de datos y correr el proceso de modelamiento, a continuación, se ilustran algunas figuras de dicho proceso, (Figura 67 y 68).

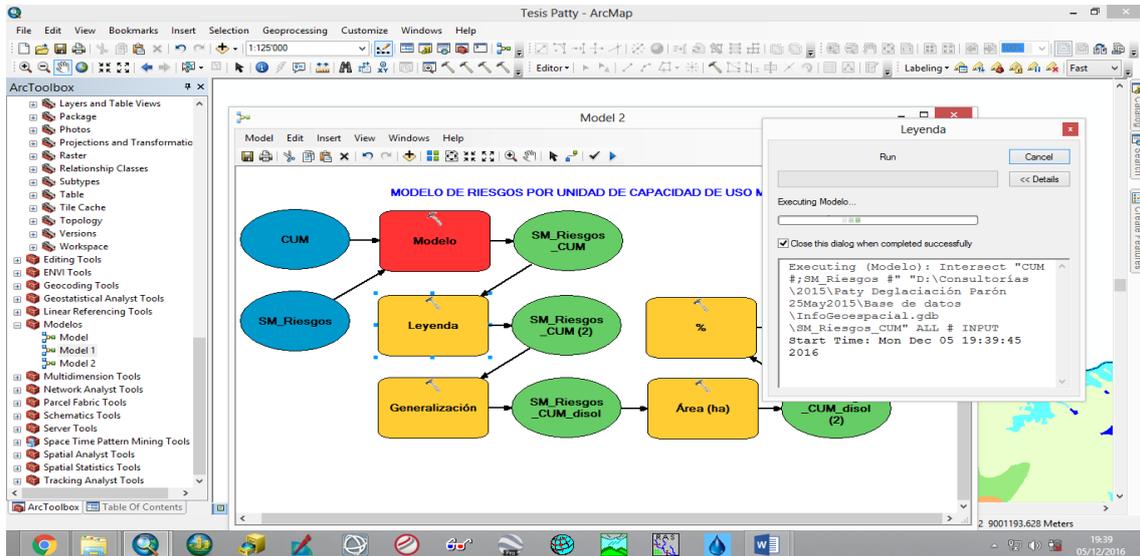


Figura 67: Ejecución del modelo lógico Riesgos por unidad de CUM

Elaboración propia

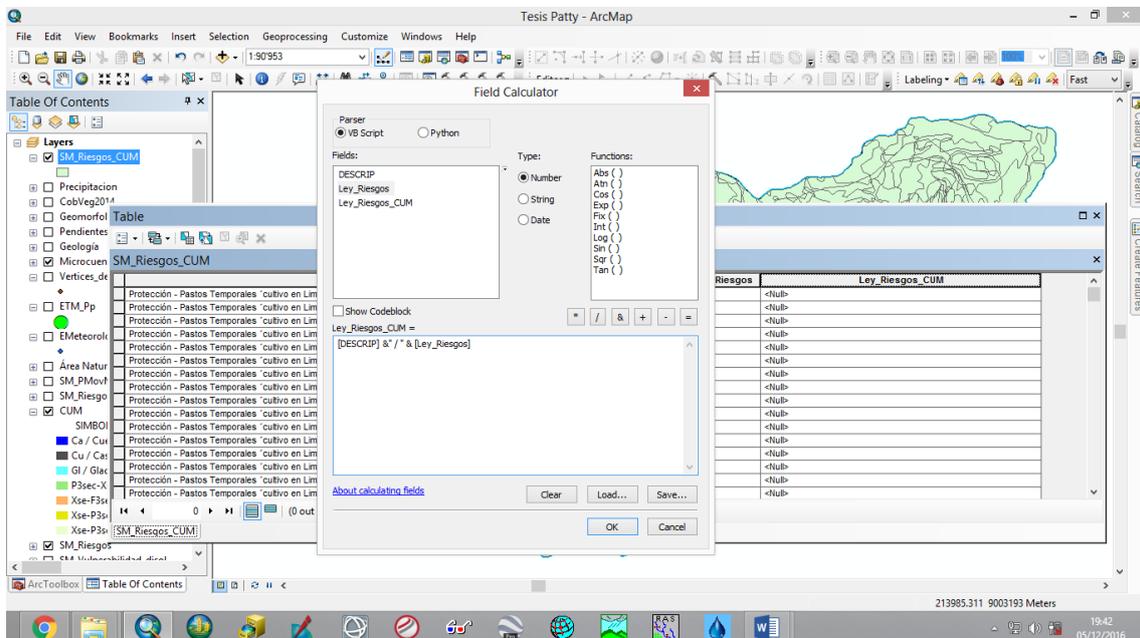


Figura 68: Implementación de la leyenda del modelo lógico Riesgos por unidad de CUM

Elaboración propia

A continuación se muestra el Mapa de riesgo por Capacidad de Uso Mayor de la microcuenca Lullán. (Figura 69).

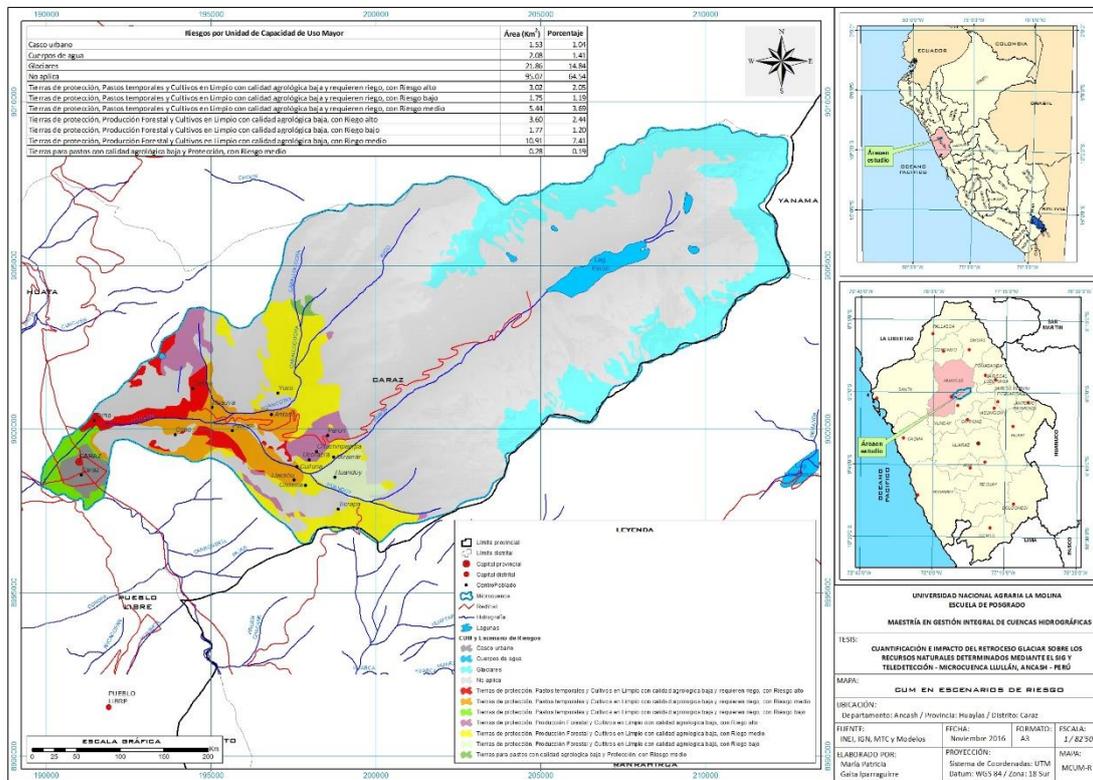


Figura 69: Mapa de Escenarios de riesgo por Capacidad de Uso Mayor de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y Modelos

Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

4.1.1. HIDROGRAFÍA

La cabecera de la microcuenca Lullán está conformada por un anillo de nevados, tales como: Huandoy, Pirámide, Chacaraju, Pisco, Artesonraju, Paria, Aguja y Caraz, que alimentan a las lagunas Artesoncocha y Parón, a partir de allí se forma el río Parón que una vez unido al río Huancotay cambia de denominación a río Lullán, éste vierte sus aguas al río Santa. La red hidrográfica está conformada por los ríos: Caballococha, Yuco, Huancotay, Lullán, Parón y Huandoy. (Figura 70).



Figura 70: Río Huancotay (izquierda) y río Parón (derecha).

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

4.1.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Los parámetros morfométricos calculados en la microcuenca Lullán son los siguientes:

- Área de la cuenca (A): 147,30 km²
- Perímetro (P): 65,45 km
- Longitud del cauce principal (L): 24,35 km
- Densidad de drenaje (Dd): 0,161
- Diferencia de elevación de la cuenca (EC): 4190 m
- Orden de canales Orden N° 03. (Figura 71).

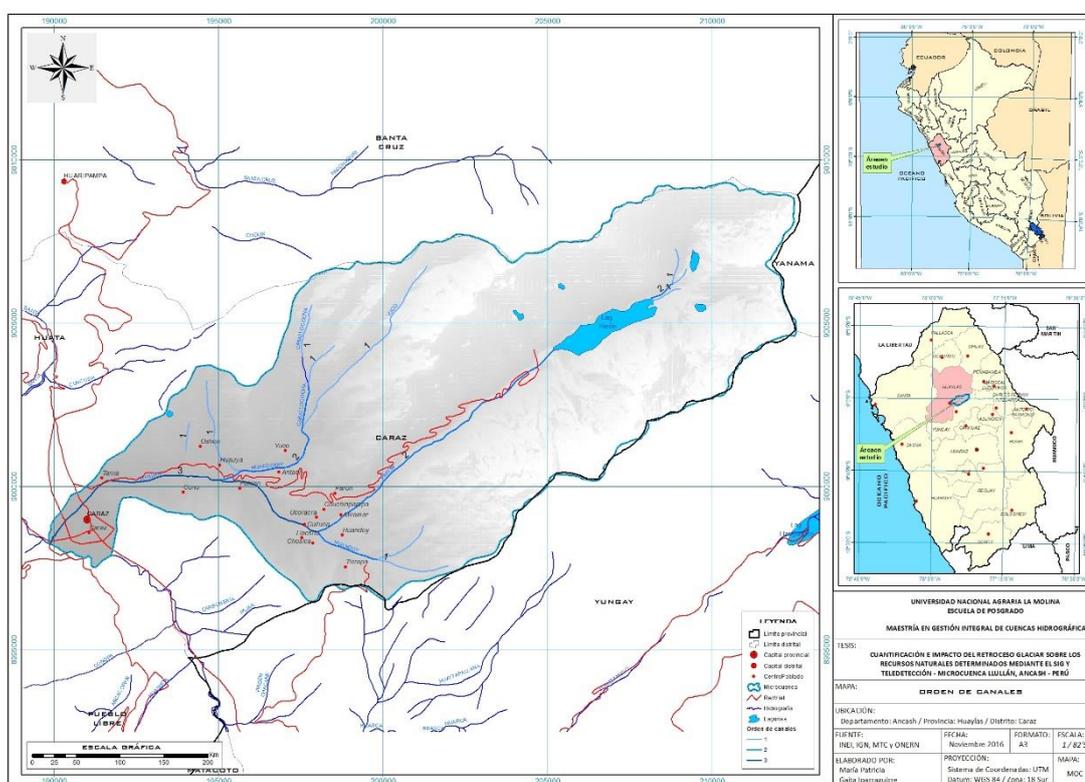


Figura 71: Mapa de orden de canales de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia.

- Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelious (Kc): 1,510
- Curva hipsométrica y altura media: Nos da una visión del relieve y la altimetría de la cuenca. Además nos da información del volumen del relieve de la cuenca (por debajo

del área encerrada de la curva) ello nos permitió calcular la altura media de la cuenca. (Cuadro 17).

Cuadro 17: Rangos de las curvas hipsométricas

Cota (m s.n.m)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Altura media (m)	$\sum hi*Si$
2204 - 2500	4,2954	2,92	2352	10102,78
2500 - 3000	11,50375	7,80	2750	31635,31
3000 - 3500	22,6618	15,38	3250	73650,98
3500 - 4000	13,1812	8,95	3750	49429,78
4000 - 4500	24,5829	16,69	4250	104477,72
4500- 5000	39,7850	27,01	4750	188978,78
5000 - 5441	31,2928	21,24	5220	163364,36

Elaboración propia.

Los cálculos realizados se presentan en el siguiente cuadro (Cuadro 18):

Cuadro 18: Datos para elaborar las curvas hipsométricas

Cota (m s.n.m.)	Cota máx. (m s.n.m.)	Áreas parciales (Si) (km ²)	%	Área Acum. Debajo (km ²)	%	Área Acum. Encima (km ²)	%
2200 - 2204	2204	0	0	0	0	147,3028	100,00
2204 - 2500	2500	4,2954	2,92	4,2954	2,92	135,7991	92,19
2500 - 3000	3000	11,50375	7,80	15,7991	10,73	113,1373	76,81
3000 - 3500	3500	22,6618	15,38	38,4609	26,11	99,9561	67,86
3500 - 4000	4000	13,1812	8,95	51,6421	35,06	75,3732	51,17
4000 - 4500	4500	24,5829	16,69	76,2250	51,75	35,5882	24,16
4500- 5000	5000	39,785	27,01	116,0100	78,76	4,2954	2,92
5000 - 5441	5441	31,2928	21,24	147,3028	100,00	0	0

Elaboración propia.

El resultado se muestra en la siguiente figura (Figura 72) Mapa de Curvas hipsométricas de la microcuenca Llullán.

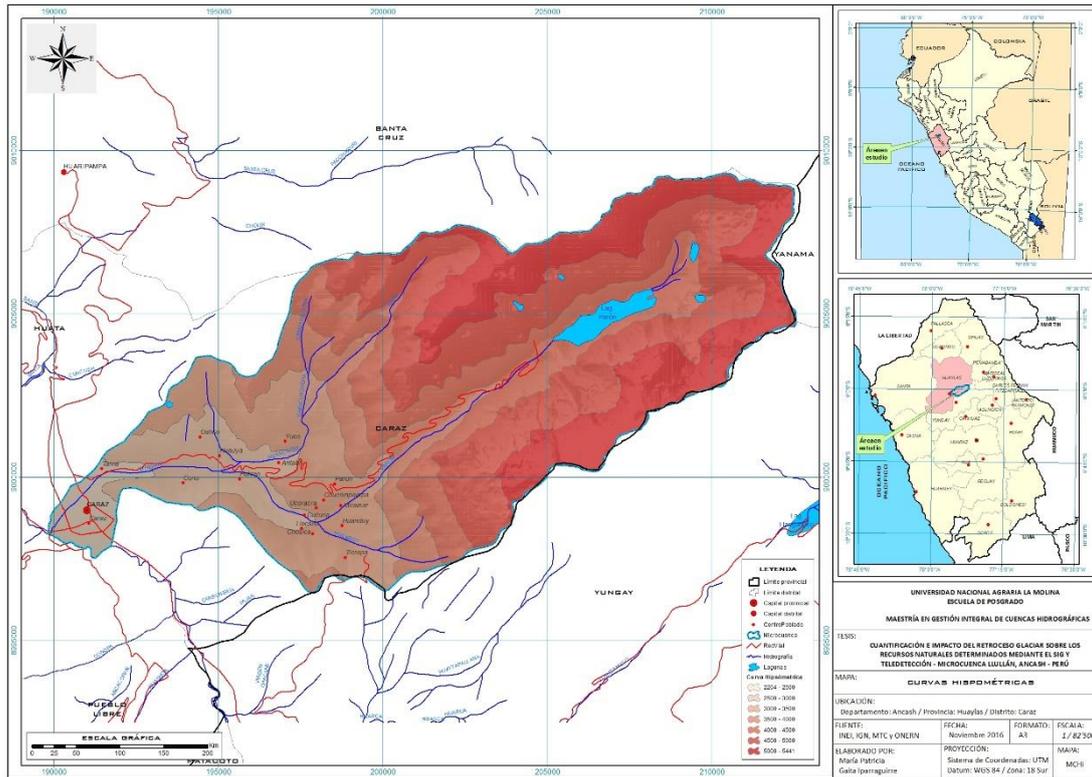


Figura 72: Mapa de Curvas hipsométricas de la microcuenca Lullán

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia

Utilizando los datos del Cuadro 18 se generó las curvas hipsométricas, las cuales se muestran en la siguiente figura (Figura 73).

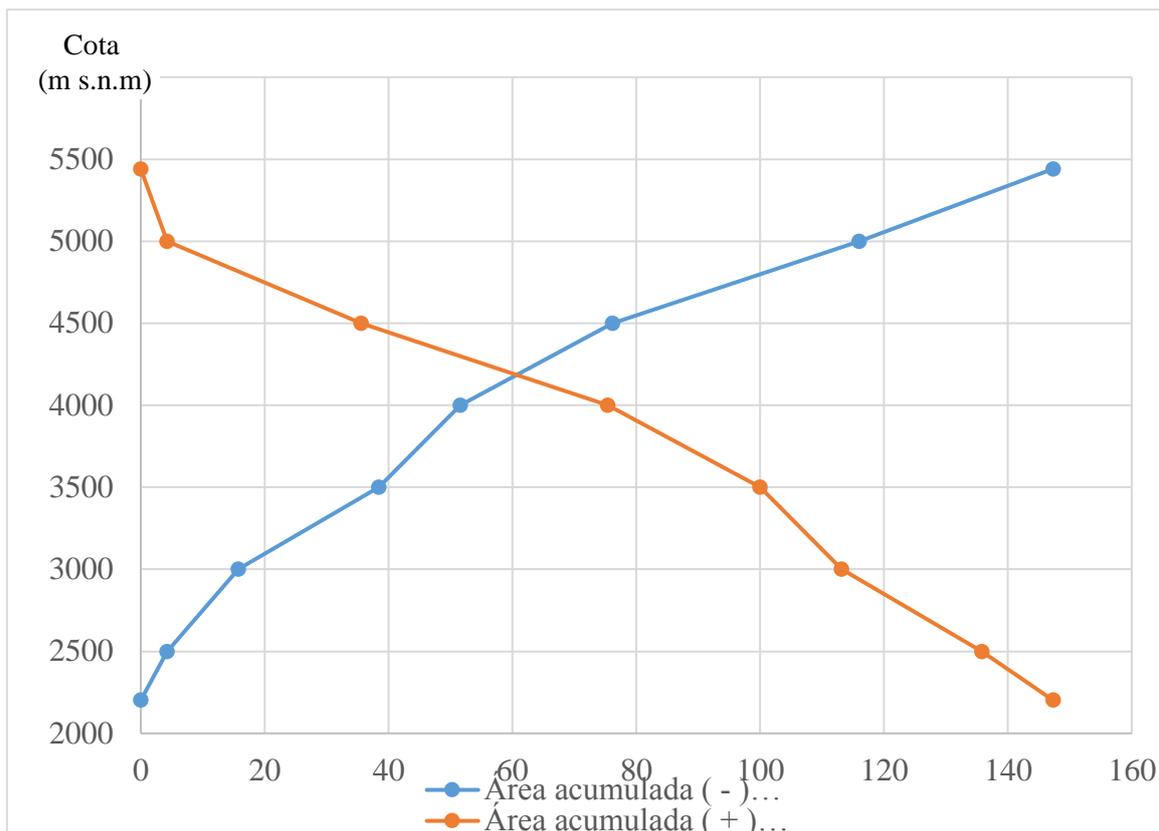


Figura 73: Curvas hipsométricas

Elaboración propia

El valor de la “Altitud media” para la microcuenca fue de 4220 m s.n.m.

- Rectángulo equivalente: es una transformación geométrica, que permite representar a la microcuenca, de su forma heterogénea, con la forma de un rectángulo, con igual área, perímetro y distribución hipsométrica, al tener el mismo perímetro se tiene igual índice de compacidad. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo los lados, la primera y última curva de nivel.

Los valores obtenidos para cada uno de los rectángulos equivalentes paralelos que conforman la microcuenca, se muestran en el siguiente cuadro (Cuadro 19):

Cuadro 19: Valores de L_i para el cálculo del rectángulo equivalente

Rango (m s.n.m.)	Áreas (km ²)	L_i (km)
2204 - 2500	4,2954	0,7984
2500 - 3000	11,5037	2,1382
3000 - 3500	22,6618	4,2122

Rango (m s.n.m.)	Áreas (km ²)	Li (km)
3500 - 4000	13,1812	2,4500
4000 - 4500	24,5829	4,5693
4500- 5000	39,785	7,3950
5000 - 5441	31,2928	5,8165

Elaboración propia.

Finalmente se construyó el rectángulo equivalente para la microcuenca, el cual se muestra en la siguiente figura (Figura 74).

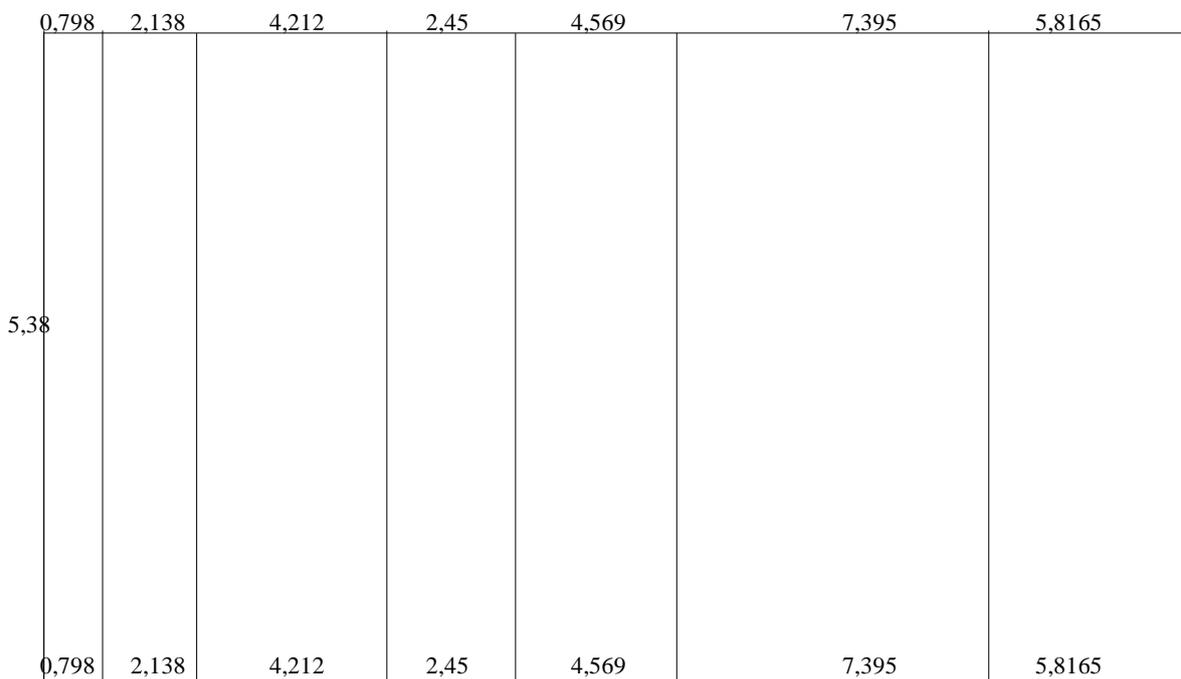


Figura 74: Rectángulo equivalente Microcuenca Llullán

Elaboración propia. Noviembre 2016

- Perfil longitudinal de cauce principal: La longitud de cada tramo del cauce principal, que se intersecta con cada curva de nivel (cada 500 m), es el siguiente cuadro (Cuadro 20):

Cuadro 20: Tramos del cauce principal

Tramo	Dist. de A (km)	Cota (m s.n.m.)	Dist. acumulada (m)
A - B	4,036509	2500	4,036509
B - C	5,636732	3000	9,673241
C - D	3,131998	3500	12,80524
D - E	4,017906	4000	16,82315
E - F	7,522103	4481	24,34525

Elaboración propia.

La siguiente figura (Figura 75) muestra los tramos determinados para el cauce principal:

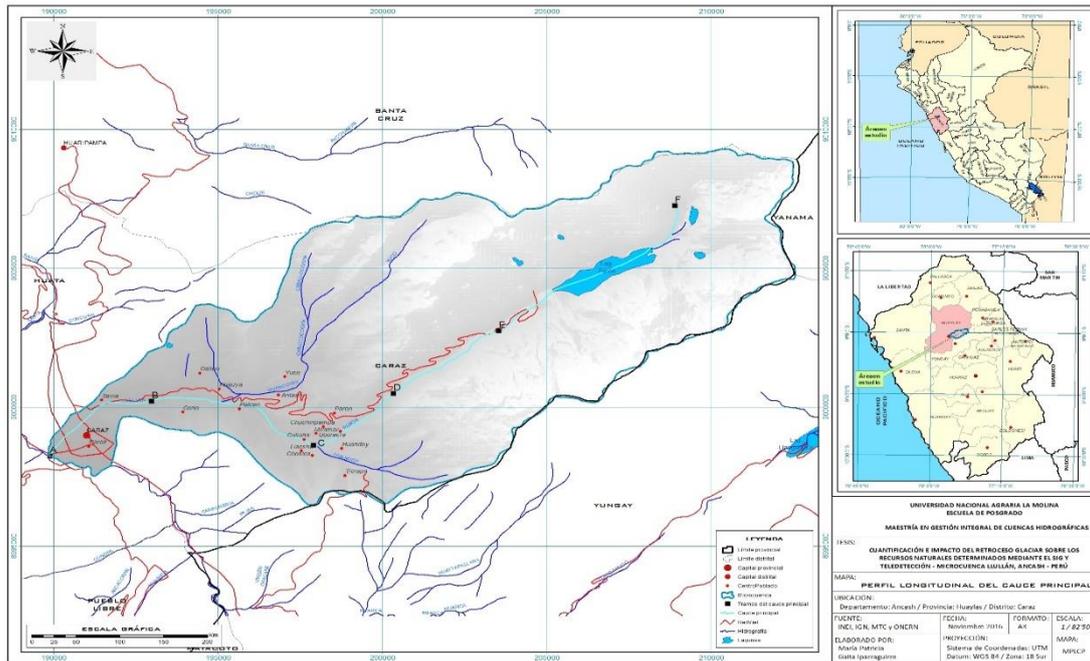


Figura 75: Mapa de los tramos del cauce principal

FUENTE: INEI, IGN, MTC y ONERN.

Elaboración propia

Finalmente, se graficó el perfil longitudinal del cauce principal (Figura 76), para lo cual se utilizaron los datos del Cuadro 20: Tramos del cauce principal.

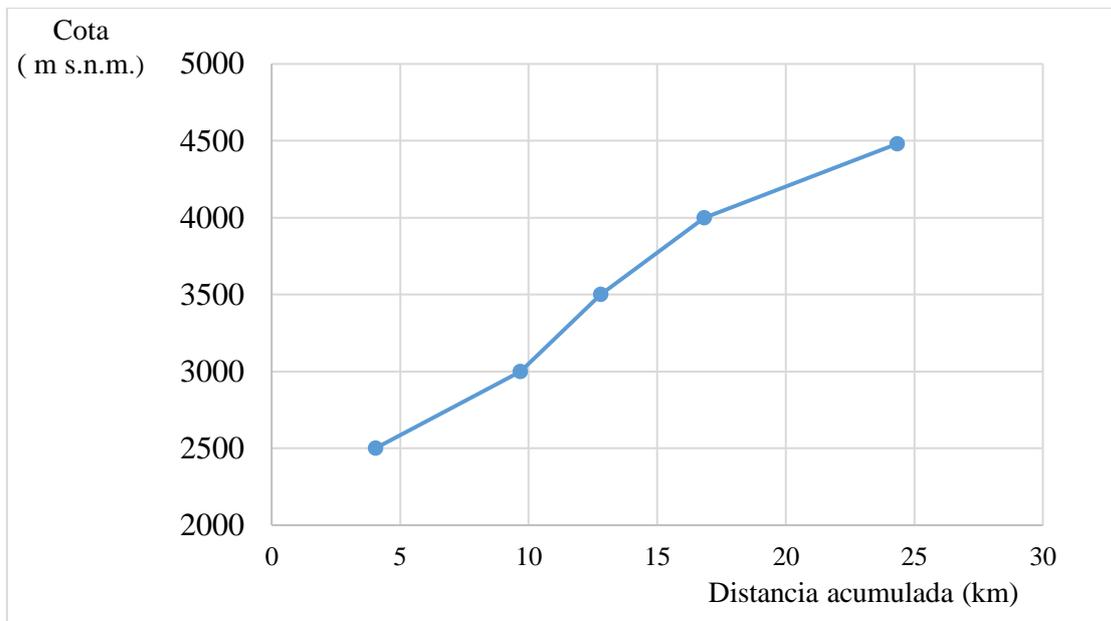


Figura 76: Perfil longitudinal del cauce principal

Elaboración propia.

4.1.3. ASPECTO SOCIOECONÓMICO

a. Actividades productivas

La agricultura bajo riego, en menor medida la agricultura en secano, es la principal actividad económica de la microcuenca; seguido de la ganadería y la actividad forestal, comprendida mayormente por repoblaciones de eucalipto y plantaciones puntuales de pino, este último registrado solo en el Caserío de Huandoy. El turismo, en menor medida, es otra fuente de ingresos para los pobladores de la microcuenca.

Como cultivos agrícolas se identificaron los cultivos de maíz, papa, alverja, cereales, vainita, alfalfa, quinoa, kiwicha, calabazas, chocho, camote, zapallo, olluco, hortalizas; frutales tales como: palto, durazno, manzana, ciruela, tumbo, cítricos, fresas, y variedades de flores. (Figura 77).



Figura 77: Parcelas agrícolas en la microcuenca Lullán

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

El turismo nacional y extranjero en la microcuenca Lullán, se diferencia en el turista convencional, que visita la laguna de Parón y el turista de aventura que realiza diversas actividades tales como: caminatas, andinismo, escalada en roca, escala en nieve, observación de aves. (Figura 78).

De acuerdo al registro brindado por la Oficina del PNH del SERNANP del año 2010 al 2014, SERNANP (2015) se tiene que el número total de turistas convencionales asciende a 16 373 personas y de turismo de aventura 1226 personas. (Figura 79 y Figura 80).



Figura 78: Turismo en la microcuenca Lullán

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Elaboración propia.

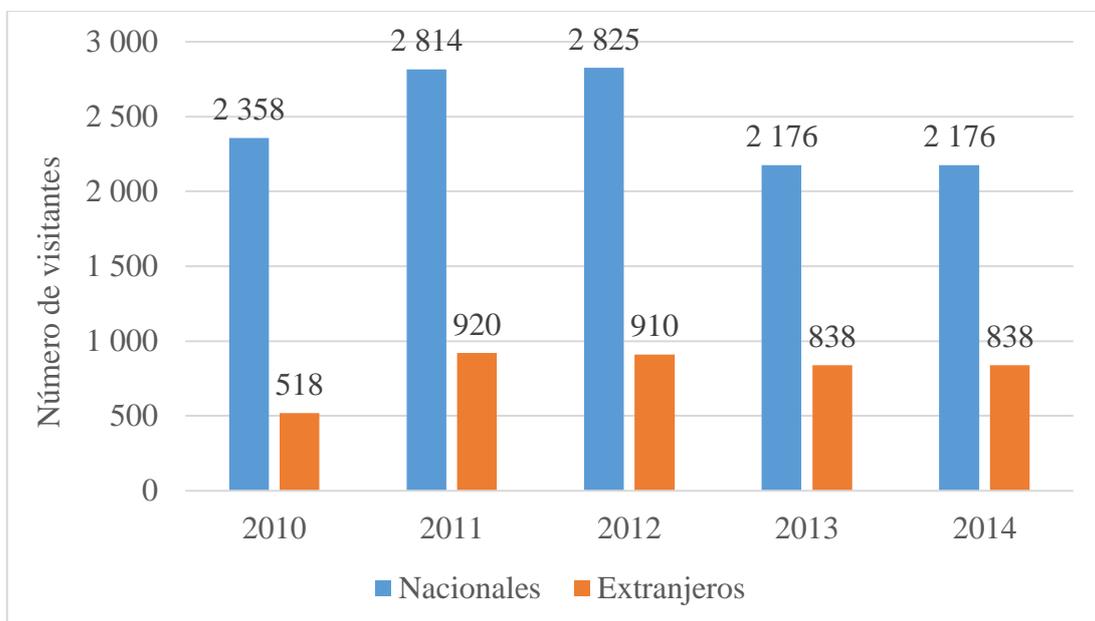


Figura 79: Registro de turistas convencionales 2010 - 2014

FUENTE: SERNANP Oficina del Parque Nacional Huascarán - Huaraz

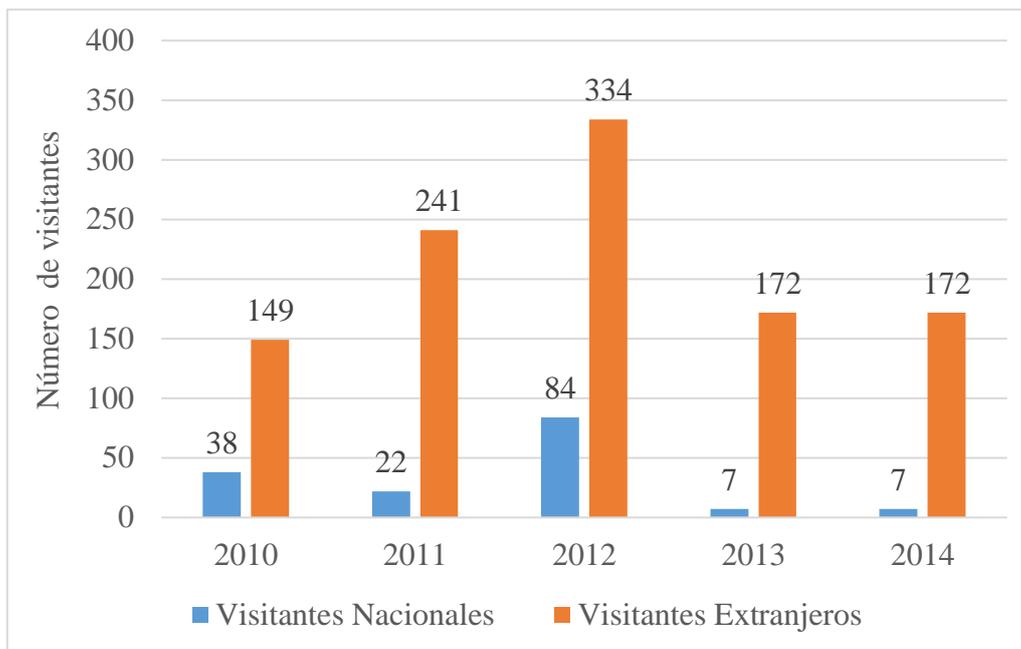


Figura 80: Registro de turistas de aventura 2010 - 2014

Fuente: SERNANP Oficina del Parque Nacional Huascarán - Huaraz

b. Infraestructura

Todos los centros poblados disponen de agua potable y conexión a la red eléctrica, la mayoría de Caseríos no cuentan con desagüe, estando la red de alcantarillado en el caserío de Huauya en construcción, y existiendo letrinas en los caseríos de: Antash, Huauya, Llacshu, Oscho, Parón y Ocoracra. Respecto a la infraestructura para riego en la microcuenca se registran 04 Reservorios (01) Chosica y Yuco (03), pozos individuales Chosica, Canales de riego revestidos en los centros poblados de Llacshu, Yuco, Miramar.

- **Puestos de salud**

Referente a los puestos de salud en la zona rural se cuentan con dos establecimientos de salud: Puesto de Salud Huauya y Llacshu. Mientras que las enfermedades más comunes son las infecciones respiratorias agudas, anemia infantil, desnutrición infantil, varicela y enfermedad de Carrión.

- **Colegios**

Existen 2 colegios (primaria y secundaria) en los centros poblados de Antash y Llacshu y 8 escuelas de primaria en: Parón, Huandoy, Yuco, Ocoracra, Chosica, Huauya, Miramar y Pakian.



Figura 81: Centro educativo, letrinas y canal revestido en la microcuenca Lullán

Trabajo de campo. Mayo 2015.

Fuente: Elaboración propia.

c. Organizaciones sociales

Las asociaciones registradas en el ámbito de estudio fueron: rondas campesinas, comité de usuarios de agua, comité de plan de manejo forestal (Yuco), asociación pastos naturales PNH (Chuchinpampa y Parón), porteadores de turismo en Antash, entre otros.

4.2 ANALISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES

4.2.1. MAPAS DE COBERTURAS

Como resultado del tratamiento y procesamiento de imágenes satelitales, a continuación se muestran los Mapas de coberturas de los años 1987 (Figura 82), 2001 (Figura 83), 2009 (Figura 84) y 2014 (Figura 85).

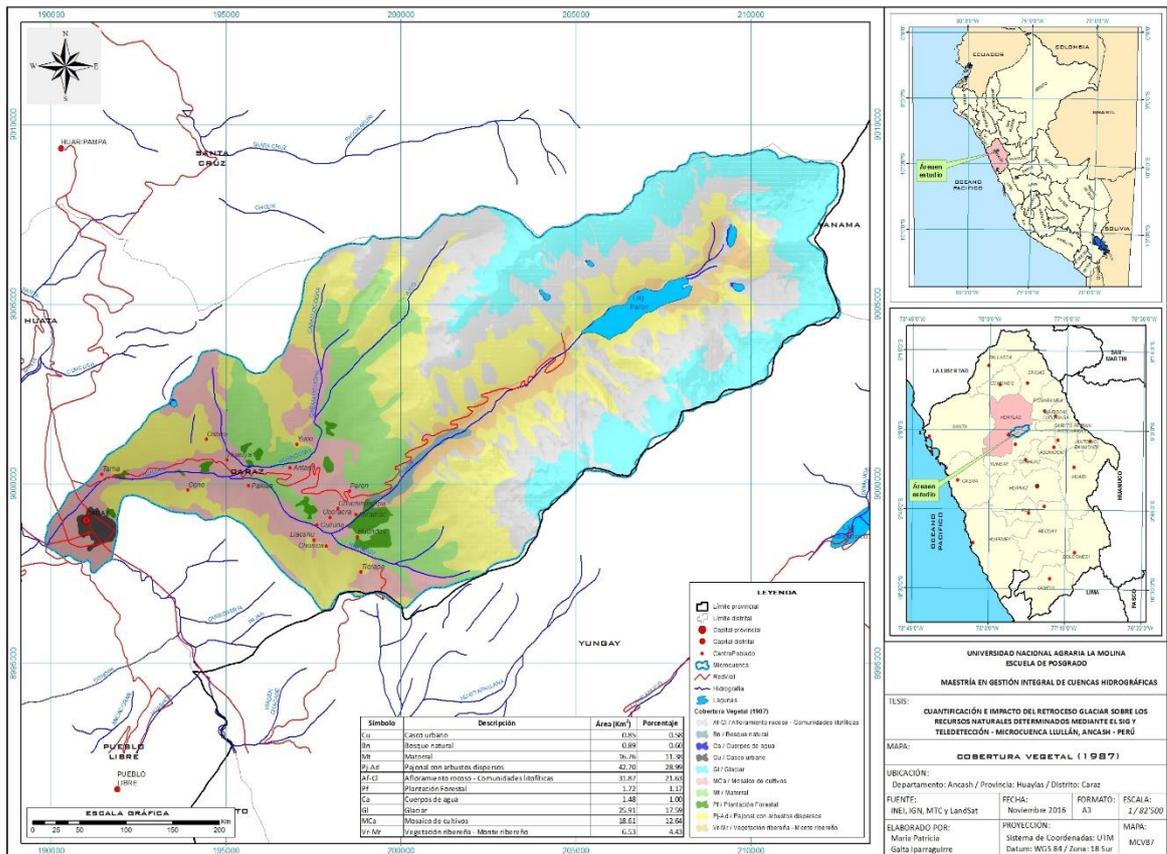


Figura 82: Cobertura vegetal 1987

FUENTE: INEI, IGN, MTC y LandSat.

Elaboración propia

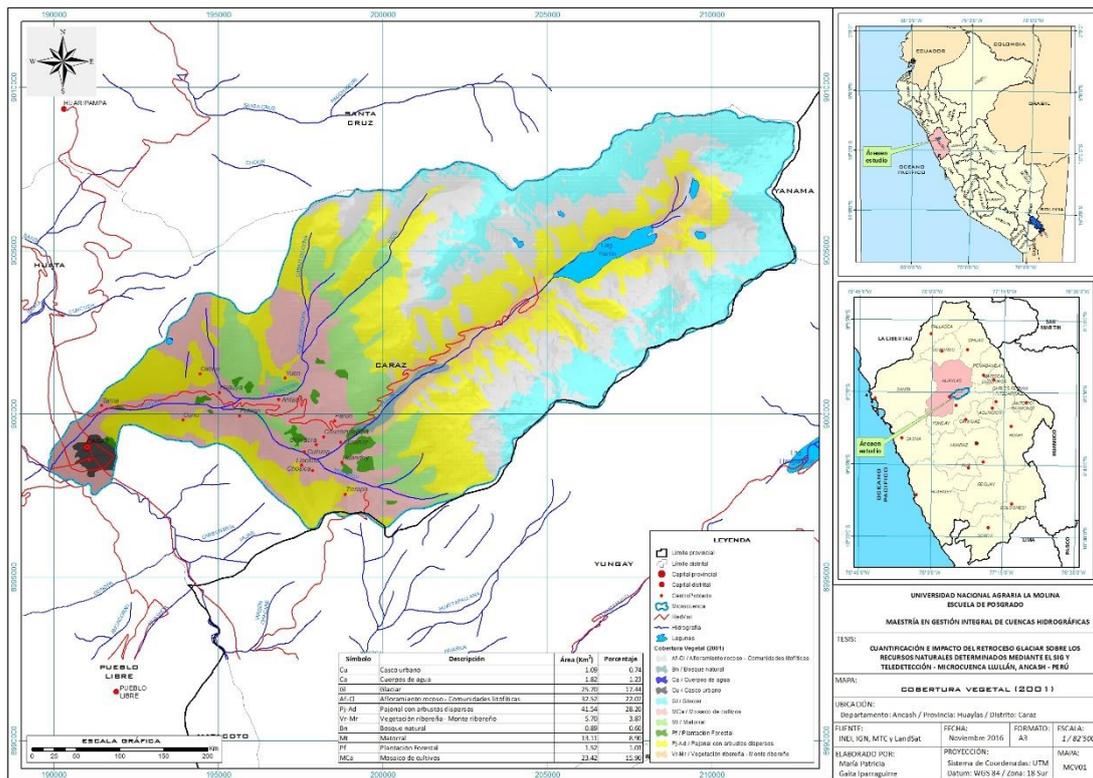


Figura 83: Cobertura vegetal 2001
 FUENTE: INEI, IGN, MTC y LandSat.
 Elaboración propia

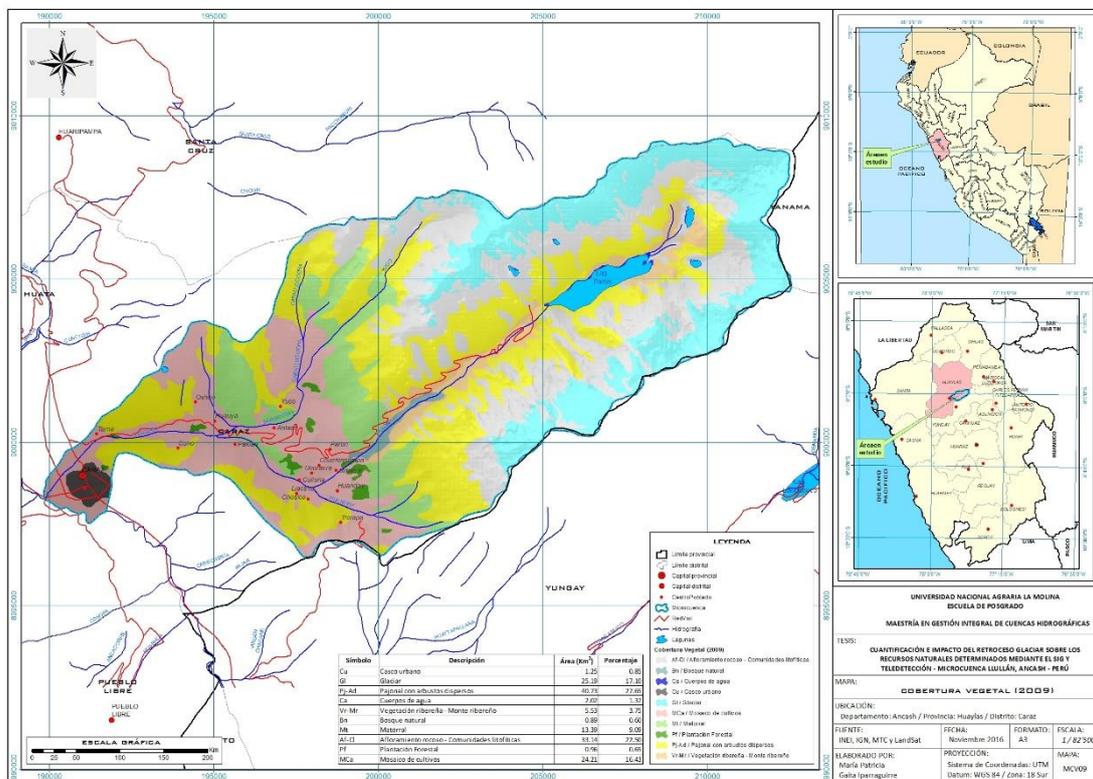


Figura 84: Cobertura vegetal 2009
 FUENTE: INEI, IGN, MTC y LandSat.
 Elaboración propia

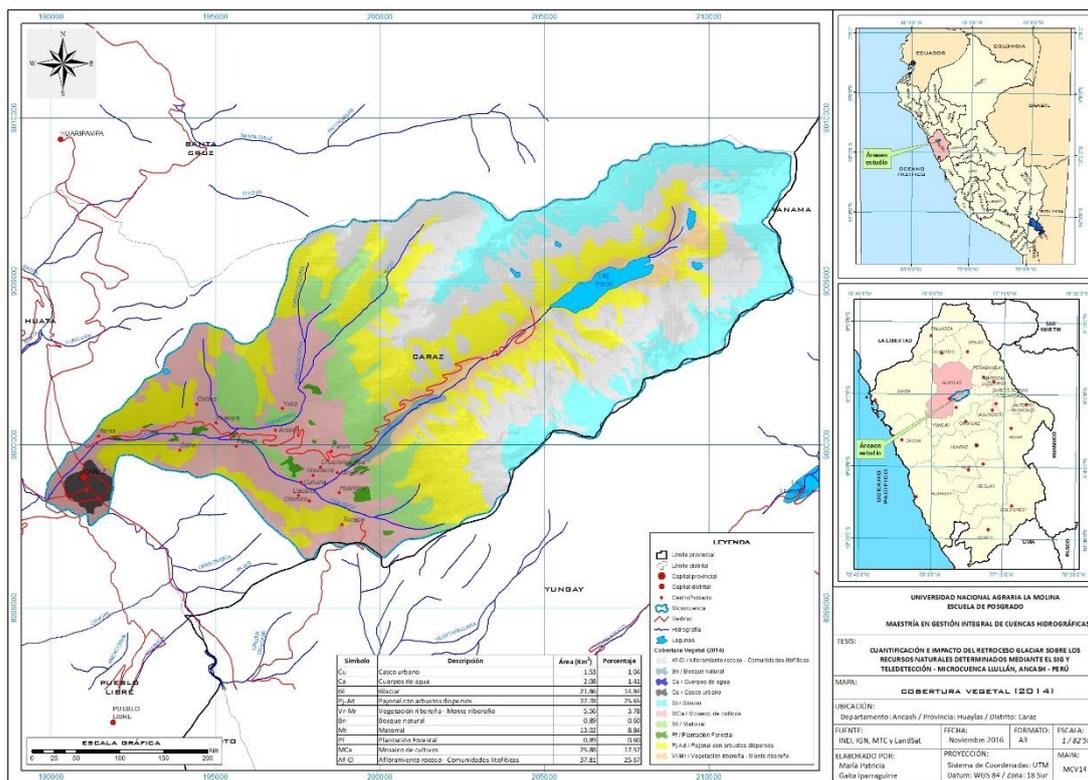


Figura 85: Cobertura vegetal 2014

FUENTE: INEI, IGN, MTC y LandSat.

Elaboración propia

La superficie por cobertura cuantificada en los años 1987, 2001, 2009 y 2014 se presenta en el siguiente cuadro (Cuadro 21):

Cuadro 21: Resultados de la evolución de las coberturas vegetal de los años 1987, 2001, 2009 y 2014

Cobertura vegetal	Años			
	1987 (km ²)	2001 (km ²)	2009 (km ²)	2014 (km ²)
Afloramiento rocoso - Comunidades litofíticas	31,87	32,52	33,14	37,81
Bosque natural	0,89	0,89	0,89	0,89
Casco urbano	0,85	1,09	1,25	1,53
Cuerpos de agua	1,48	1,82	2,02	2,08
Matorral	16,76	13,11	13,39	13,02
Mosaico de cultivos	18,61	23,42	24,21	25,88
Glaciares	25,91	25,70	25,19	21,86
Pajonal con arbustos dispersos	42,70	41,54	40,73	37,78
Plantación forestal	1,72	1,52	0,96	0,89
Vegetación ribereña - Monte ribereño	6,53	5,70	5,53	5,56
Total	147,30	147,30	147,30	147,30

Elaboración propia.

Los bosques naturales no han sufrido cambios en la superficie durante este periodo.

Existe un incremento en la superficie de las coberturas: afloramiento rocoso – comunidades litofíticas (18%), cuerpos de agua (40%), mosaico de cultivos (39%) y casco urbano (79%).

Existe un decremento en la superficie de las coberturas: matorral (22%), pajonal con arbustos dispersos (11%), plantación forestal (48%), vegetación ribereña – monte ribereño (14%), glaciares (15%).

El decremento del área glaciar en la microcuenca, en un periodo de 27 años fue de 15% es decir, de 25,91 km² a 21,86 km². (Figura 86).

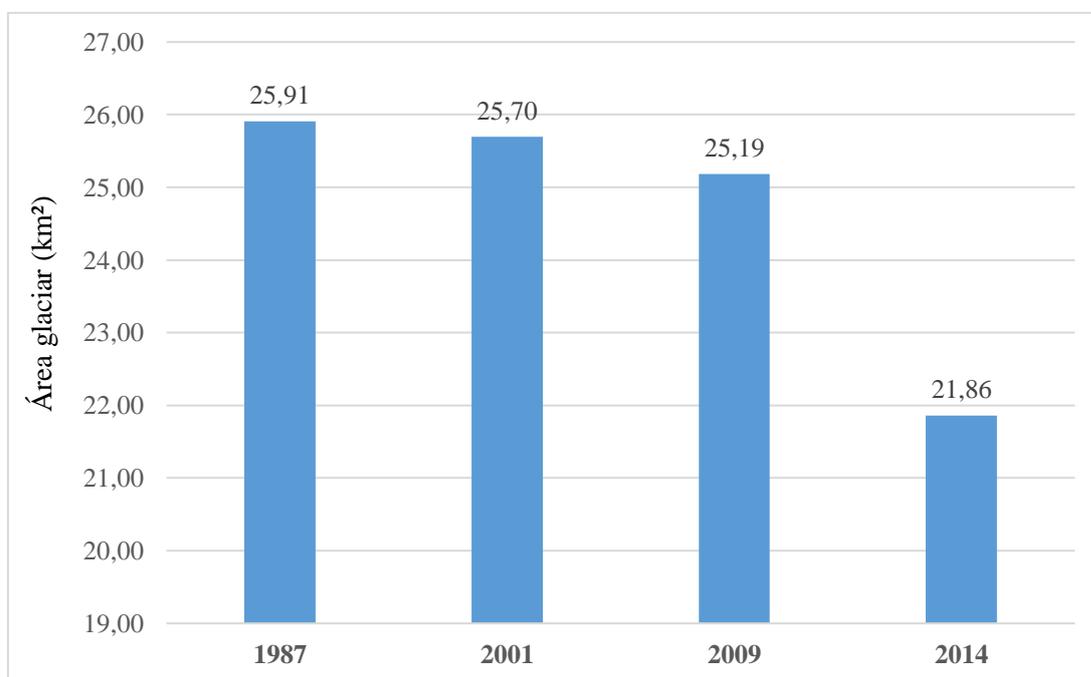


Figura 86: Deglaciación en el tiempo periodo 1987 - 2014

Elaboración propia.

- **Precipitación y temperatura**

Se consideraron como variables independientes a la precipitación anual y temperatura media anual (variable “x”) y como variable dependiente a la superficie glaciar (variable “y”) dando como resultado las Figura Área glaciar vs. Precipitación periodo 1987 – 2014. (Figura 87 y Figura 88).

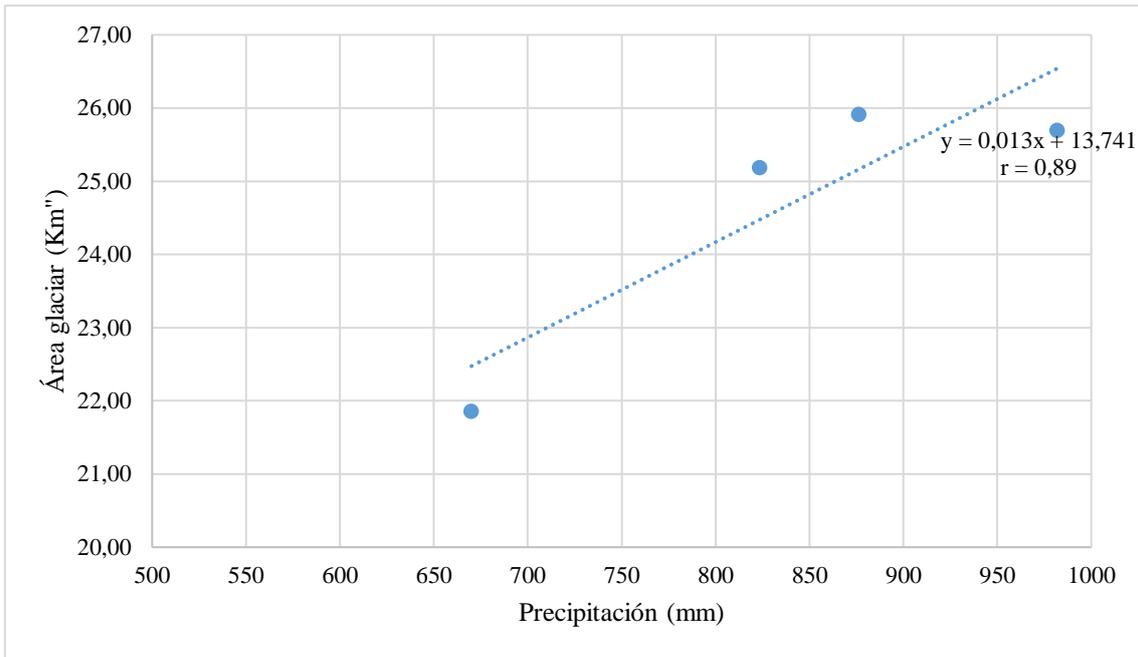


Figura 87: Área glaciar vs. Precipitación periodo 1987 – 2014

Elaboración propia.

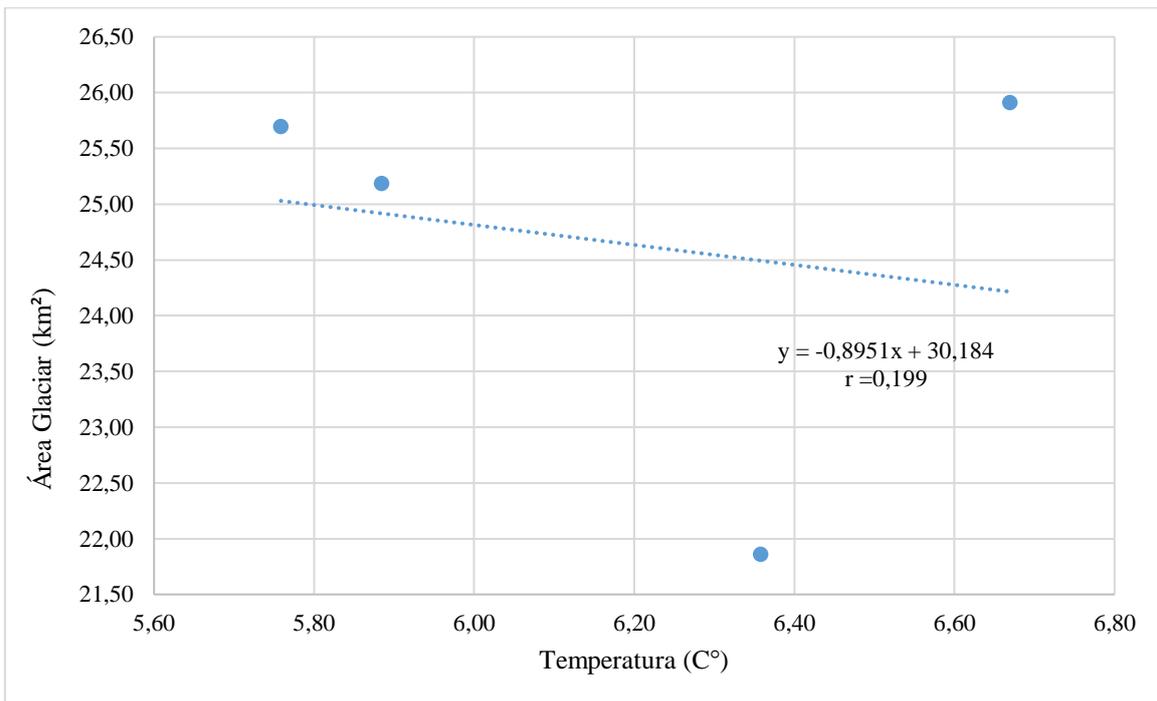


Figura 88: Área glaciar vs. Temperatura periodo 1987 – 2014

Elaboración propia.

Del análisis realizado vemos que existe correlación directa entre el área glaciar y la precipitación mientras que la temperatura y área glaciar son variables independientes.

4.2.2. TASA DE CAMBIO

Del año 1987 al 2001 la tasa de cambio de deglaciación fue del - 0.06 %, del año 2001 al 2009 de - 0.25 %, y - 2,79 % del 2009 al 2014. Con estos datos podemos afirmar que la tasa de cambio anual de deglaciación se acelera con el tiempo. (Cuadro 22 y Figura 89)

Cuadro 22: Tasa de cambio anual periodo 1987 - 2014

1987 (km ²)	Tasa de cambio anual (%)	2001 (km ²)	Tasa de cambio anual (%)	2009 (km ²)	Tasa de cambio anual (%)	2014 (km ²)
25,91	-0,060	25,70	-0,250	25,19	-2,794	21,86

Elaboración propia.

El polinomio de segundo grado de ajuste es el siguiente:

$$y = 0,0092x^2 - 36,786x + 36708$$

Donde:

x: tiempo (año)

y: área glaciar (km²)

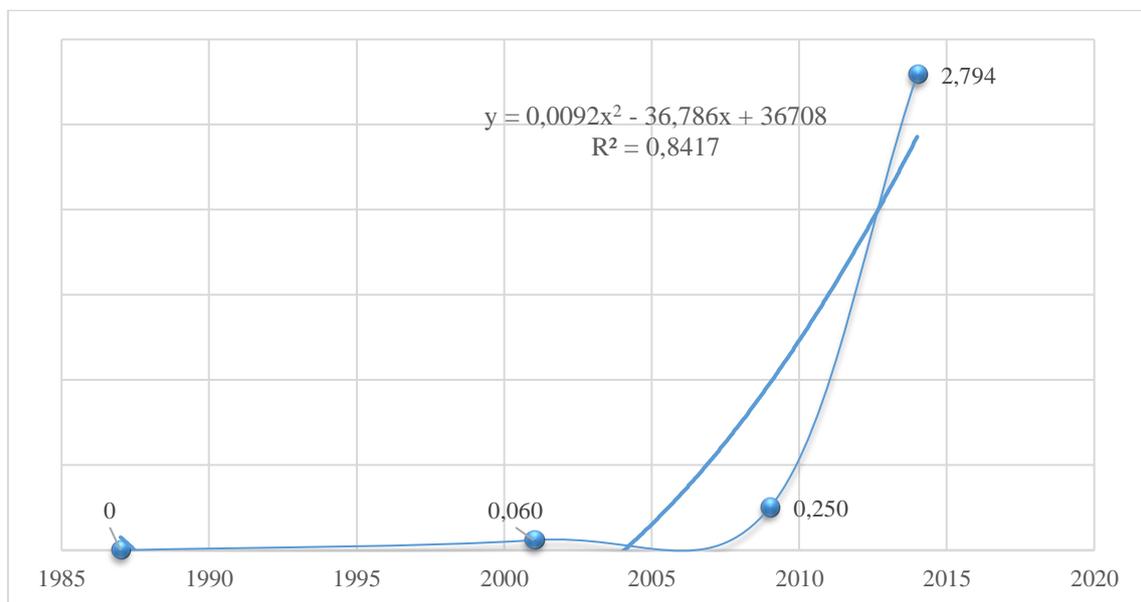


Figura 89: Tasa de cambio anual 1987 - 2014

Elaboración propia.

4.3. ANÁLISIS DE RIESGO

Para la elaboración del Modelo de riesgo se utilizó como insumos los submodelos de peligros en movimiento de masa y el submodelo de vulnerabilidad (elementos expuestos).

4.3.1 SUBMODELO DE PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA

En toda la microcuenca Lullán el 5,53% presenta un peligro muy alto y el 43% un peligro alto a movimientos de masa, estas áreas se encuentran en la cabecera de la cuenca, en las empinadas laderas de la cuenca media, sin embargo al encontrarnos en un Área Natural Protegida, donde las intervenciones en el área con fines de manejo deben estar definidas en el Plan Maestro respectivo, MINAM (2009); hemos descartado el área que se superpone al Parque Nacional Huascarán, quedando esta vez un 8% de la microcuenca a nivel de peligro alto y alrededor del 24% en peligro medio. (Figura 90) y (Figura 91).

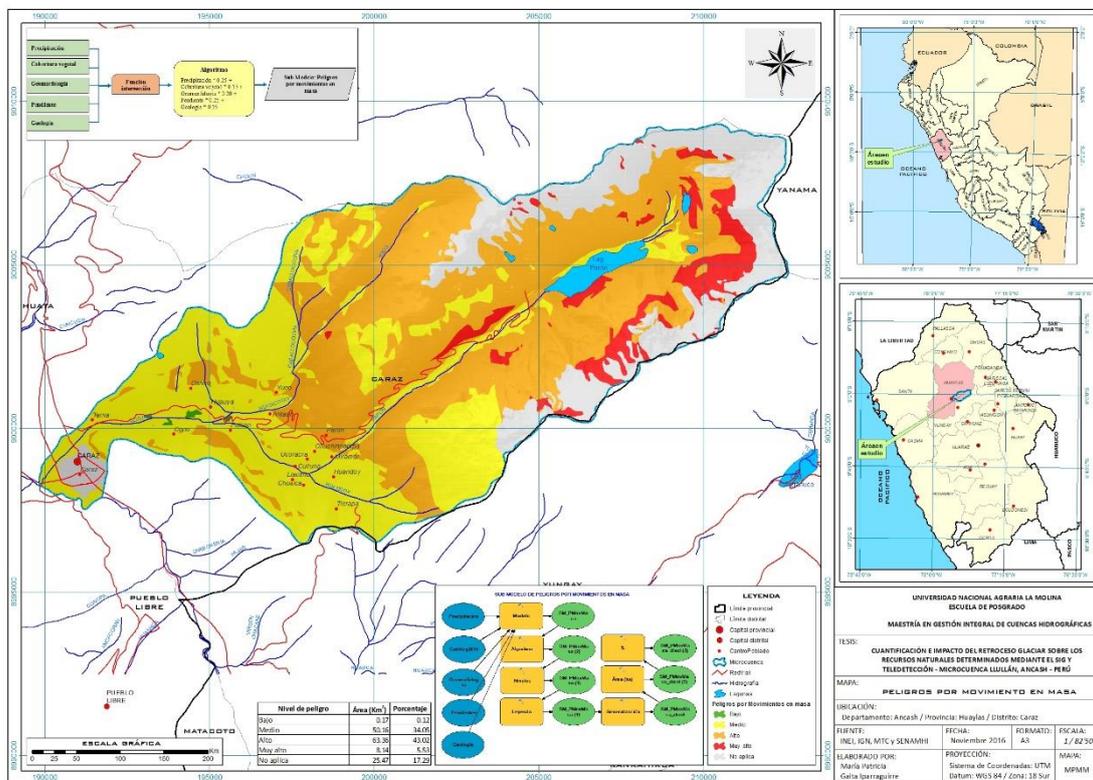


Figura 90: Mapa del Modelo de peligros por movimientos en masa

Fuente: INEI, IGN, MTC Y SENAMHI.

Elaboración propia.

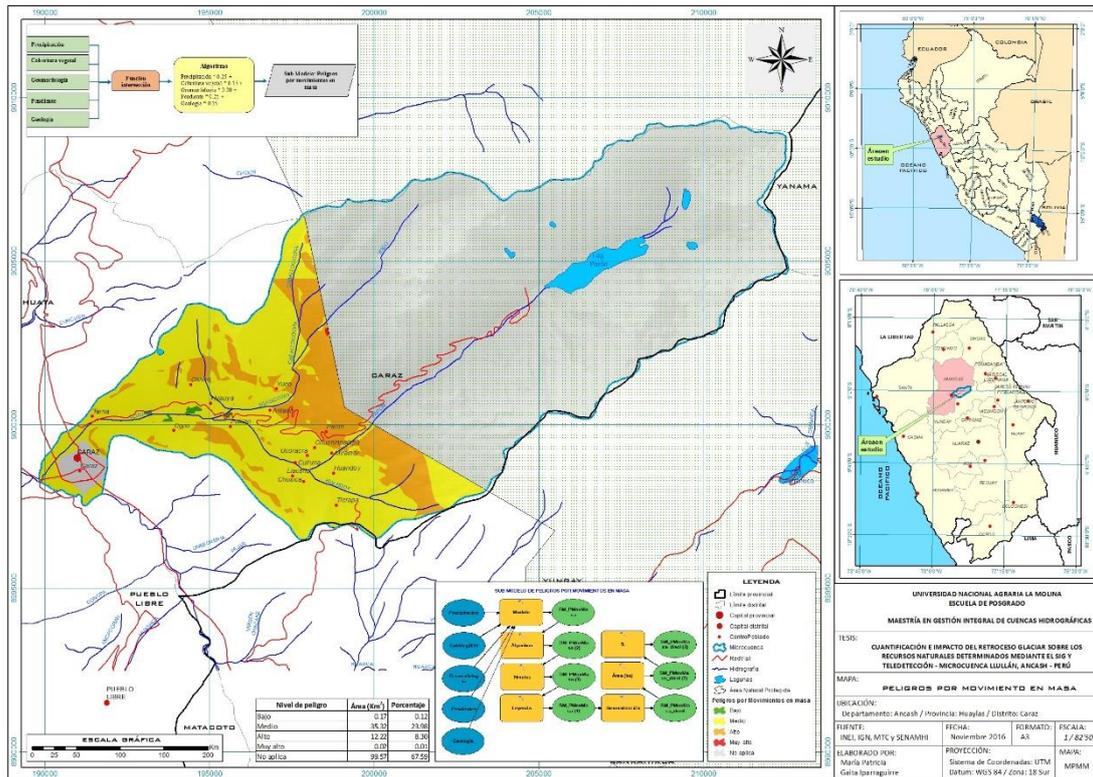


Figura 91: Mapa del Modelo de peligros por movimientos en masa fuera del ANP

Fuente: INEI, IGN, MTC Y SENAMHI.
 Elaboración propia.

4.3.2. SUBMODELO DE VULNERABILIDAD

De acuerdo a los resultados obtenidos de la media aritmética entre las calificaciones de los atributos por cada centro poblado, 28,30 km² presentan algún grado de vulnerabilidad. De ellos el 2% de la microcuenca presenta vulnerabilidad muy alta, el 9,58% vulnerabilidad alta, el 5,32% media y 2,30% baja (Figura 92).

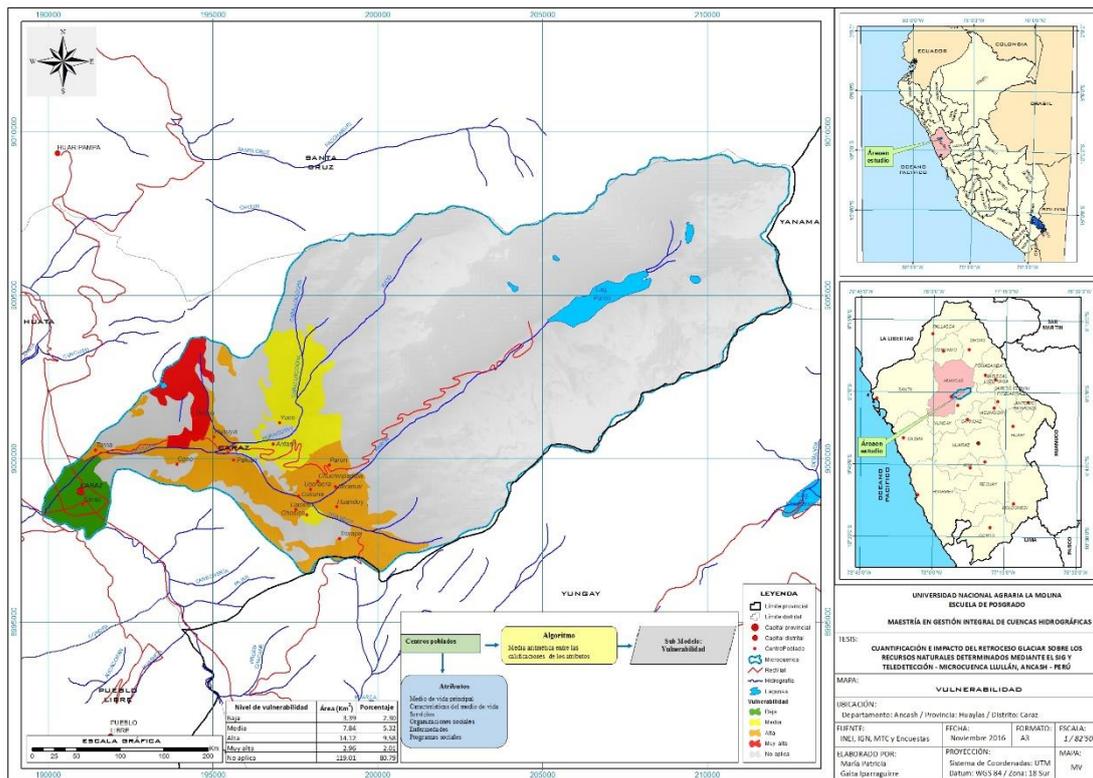


Figura 92: Mapa del Modelo de Vulnerabilidad

Fuente: INEI, IGN, MTC y Encuestas.
Elaboración propia.

4.3.3. MODELO DE RIESGOS

Al intersectar los modelos anteriores con la siguiente ponderación: Peligros por movimientos en masa * 0.30 + Vulnerabilidad (elementos expuestos) * 0.70, se obtiene que el 18,18% de la microcuenca Lullán presenta algún tipo de riesgo: alto 4,5% (6,62 km²); medio 11,29% (16,62 km²) y bajo 2,39% (3,52 km²). (Figura 93).

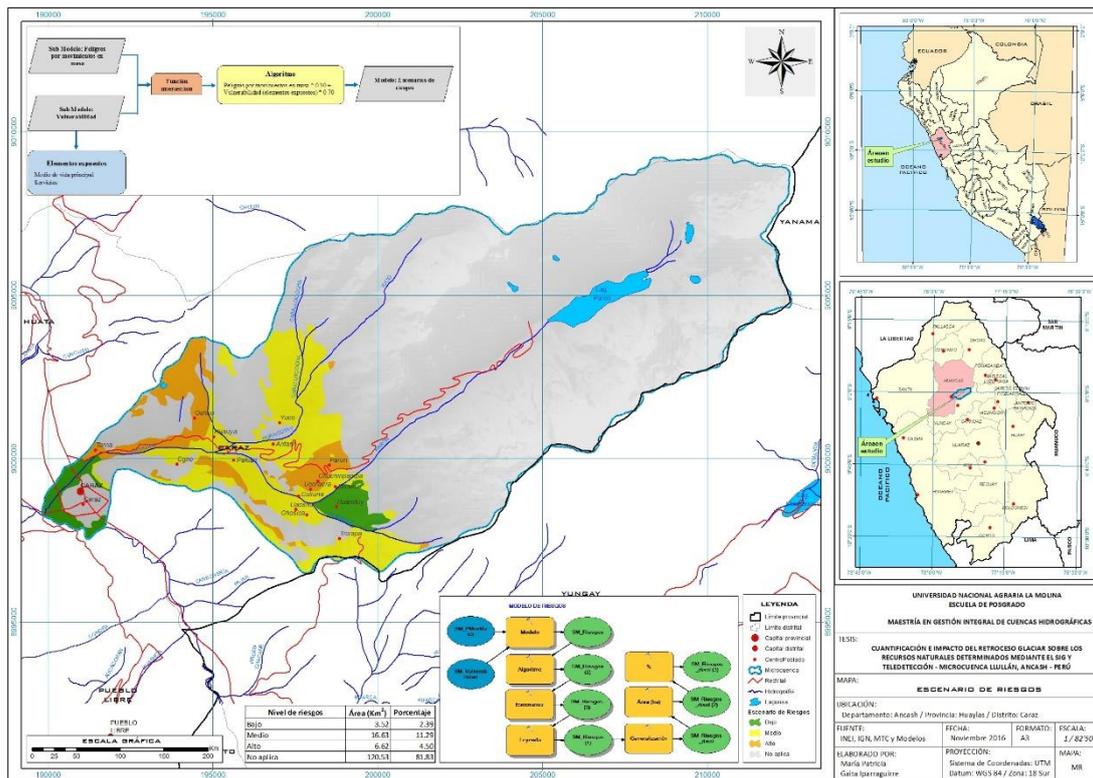


Figura 93: Escenarios de riesgo en la microcuenca Lullán

Fuente: INEI, IGN, MTC Y Modelos.
 Elaboración propia.

4.4. PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO Y GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS NATURALES

Para determinar las áreas prioritarias para la propuesta de manejo integral de la microcuenca Lullán se elaboró un Mapa que permite determinar las Áreas prioritarias para la propuesta del Plan de manejo por Centro poblado. (Figura 94).

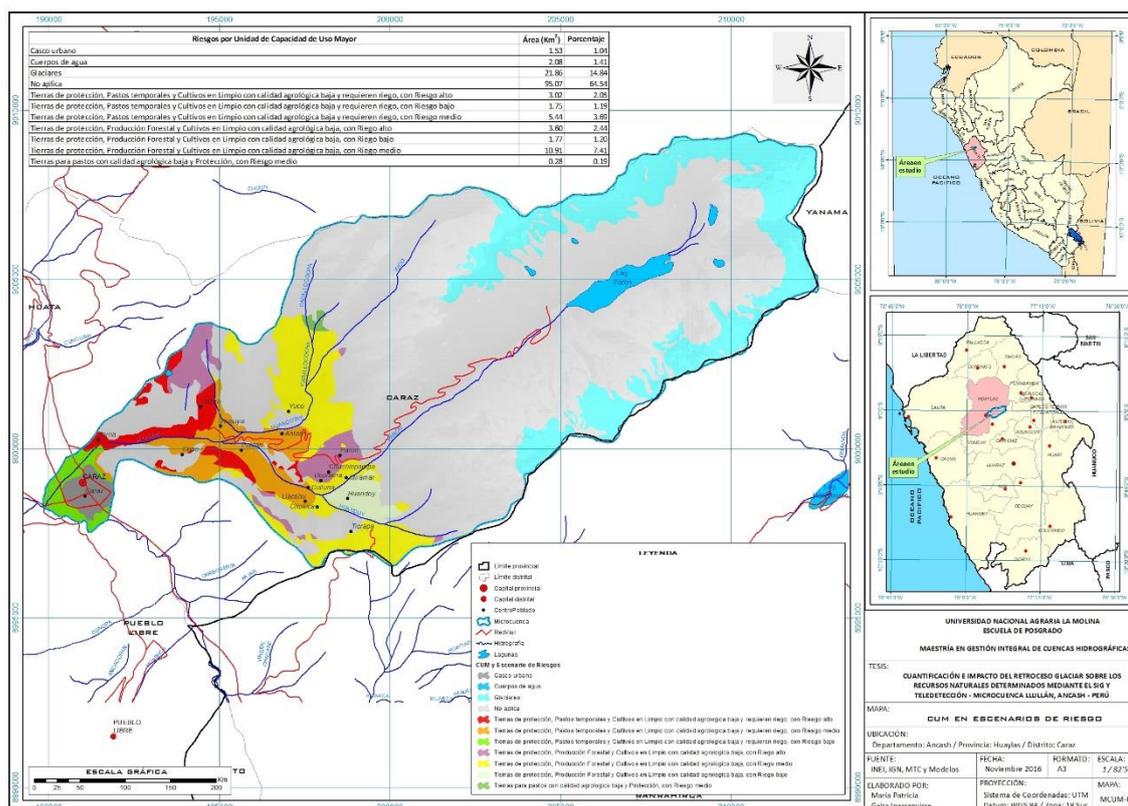


Figura 94: Mapa de Escenarios de riesgo por Capacidad de Uso Mayor en la microcuenca Lullán

Fuente INEI, IGN, MTC, Modelos

Elaboración propia

Los resultados de acuerdo a la de Capacidad de Uso Mayor por Centro poblado para la propuesta del Plan de manejo son las siguientes:

1. Tierras de protección, Pastos temporales y Cultivos en Limpio con calidad agrológica baja y requieren riego (Antash, Caraz, Cono, Culluna, Huauya, Llacshu, Oscho, Pakian, Tarna y Ucoracra).
2. Tierras de protección, Producción Forestal y Cultivos en Limpio con calidad agrológica baja (Antash, Cono, Culluna, Chosica, Chuchinpampa, Huandoy, Huauya, Llacshu, Miramar, Oscho, Pakian, Parón, Ticrapa, Ucoracra y Yuco).
3. Tierras para pastos con calidad agrológica baja y Protección (Yuco)

Para los dos primeros grupos: Tierras de protección, pastos temporales y cultivos en limpio con calidad agrológica baja y requieren riego y Tierras de protección, producción

forestal y cultivos en limpio con calidad agrológica baja; se considera la Propuesta 1, que plantea la instalación de *Zanjas de infiltración con plantaciones forestales y pastos cultivados anual y perenne establece el sistema silvopastoriles con la construcción de zanjas de infiltración*, en ese sentido se proponen las áreas prioritarias donde se ha de desarrollar esta solución, especies a instalar, tipo y diseño de plantación. Mientras que para el tercer grupo: Tierras para pastos con calidad agrológica baja y protección plantea la Propuesta 2 que plantea la instalación de Zanjas de infiltración y pastos naturales propone la construcción de Zanjas de infiltración en áreas de pastoreo, delimitadas como potreros para establecer un sistema de pastoreo rotativo.

En el siguiente cuadro se presentan las áreas prioritarias para la propuesta del Plan de manejo por Centro poblado y por rangos altitudinales. (Cuadro 23)

Cuadro 23: Áreas prioritarias para la propuesta del Plan de manejo por centro poblado y rango altitudinal

Capacidad de Uso Mayor	Centro poblado	Riesgo	Rango altitudinal (m s.n.m.)											
			2000 - 2500		2500-2900		2900 - 3200		3200-3500		3500-3800		3800-4000	
			Área (km ²)	Porcentaje (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Tierras de protección, Pastos temporales y Cultivos en Limpio con calidad agrológica baja y requieren riego	Cono	Alto			0,199	0,135	0,020	0,013						
	Oshco				0,838	0,569	0,273	0,186	0,152	0,103				
	Pakian				0,149	0,101	0,317	0,215						
	Tarna		0,544	0,369	0,280	0,190	0,169	0,115						
	Ucoracra						0,079	0,054						
	Antash				0,382	0,259	0,842	0,571						
	Caraz	Medio	0,112	0,076										
	Cono		0,027	0,018	0,777	0,527	0,495	0,336						
	Culluna						0,054	0,036						
	Huauya				0,935	0,635	0,044	0,030						
	Llacshu						0,267	0,181						
	Pakian				0,945	0,642	0,559	0,379						
Caraz	Bajo	1,746	1,186											
Tierras de protección, Producción Forestal y Cultivos en Limpio con calidad agrológica baja	Antash	Alto									0,033	0,022	0,005	0,003
	Chuchinpampa						0,290	0,197	0,189	0,129				
	Oshco						0,956	0,649	0,736	0,500				
	Pakian						0,077	0,052	0,192	0,130				
	Paron								0,611	0,415	0,008	0,005		
	Ticrapa								0,043	0,029	0,032	0,022	0,011	0,008
	Ucoracra						0,417	0,283						

Capacidad de Uso Mayor	Centro poblado	Riesgo	Rango altitudinal (m s.n.m.)											
			2000 - 2500		2500-2900		2900 - 3200		3200-3500		3500-3800		3800-4000	
			Área (km ²)	Porcentaje (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Capacidad de Uso Mayor	Antash	Medio			0,022	0,015	0,880	0,597	1,451	0,985	0,150	0,102		
	Chosica						0,321	0,218						
	Cono						0,028	0,019						
	Culluna						0,273	0,185						
	Huandoy						0,004	0,003	0,169	0,115	0,060	0,041		
	Huauya						0,027	0,019	0,188	0,128	0,084	0,057		
	Llacshu						0,179	0,122						
	Miramar						0,266	0,181	0,148	0,101				
	Pakian						0,177	0,120	0,353	0,240				
	Paron								0,027	0,018				
	Ticrapa								1,855	1,259	0,775	0,526		
	Yuco						0,571	0,387	1,920	1,304	0,982	0,667		
		Huandoy	Bajo					0,574	0,389	1,198	0,813	0,001	0,001	
Tierras para pastos con calidad agrológica baja y Protección, con Riesgo medio	Yuco	Bajo									0,266	0,181	0,014	0,009

Elaboración propia

Descripción de alternativas técnicas

Propuesta 1. *Zanjas de infiltración con plantaciones forestales y pastos cultivados anual y perenne establece el sistema silvopastoriles con la construcción de zanjas de infiltración.*

Se estima que 26,49 km² son áreas potenciales para forestación y reforestación en la microcuenca Llullán, cifra que se debe definir en campo previo a la implementación de la propuesta. Aquí se incluyen las Tierras de protección, Pastos temporales y Cultivos en Limpio con calidad agrológica baja y para las Tierras de protección, Producción Forestal y Cultivos en Limpio con calidad agrológica baja en los centros poblados de Antash, Caraz, Cono, Culluna, Huauya. Llacshu, Oscho, Pakian, Tarna, Ucoracra, Chosica, Chuchinpampa, Huandoy Miramar Parón, Ticrapa y Yuco.

Cuadro 24: Propuesta 1. Áreas potenciales para forestación y reforestación en la microcuenca Llullán

Riesgos por Unidad de Capacidad de Uso Mayor	Centro poblado	Riesgo	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Tierras de protección, Pastos temporales y Cultivos en Limpio con calidad agrológica baja y requieren riego	Antash, Caraz, Cono, Culluna, Huauya. Llacshu, Oscho, Pakian, Tarna, Ucoracra	alto	3,02	2,05
		medio	5,44	3,69
		bajo	1,75	1,19
Tierras de protección, Producción Forestal y Cultivos en Limpio con calidad agrológica baja	Antash, Cono, Culluna, Chosica, Chuchinpampa, Huandoy, Huauya, Llacshu, Miramar, Oscho, Pakian, Parón, Ticrapa, Ucoracra, Yuco	alto	3,60	2,44
		medio	10,91	7,41
		bajo	1,77	1,20
TOTAL			26,49	17,98

Elaboración propia

Para estas áreas se propone la instalación de las siguientes especies ver cuadro (Cuadro 25) de acuerdo al rango altitudinal.

Cuadro 25: Especies nativas y exóticas consideradas para la forestar y reforestar por piso altitudinal

Especie	Nombre común	Familia	Rango altitudinal (m s.n.m.)				
			2000 - 2900	2900- 3200	3200- 3500	3500- 3800	3800- 4000
<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	Betulaceae	X	X	X		
<i>Prunus serotina</i>	Capuli	Rosaceae	X	X			
<i>Budleja incana</i>	Quishuar	Scrophulariaceae				X	X
<i>Budleja coriacea</i>	Pisonay	Scrophulariaceae	X	X	X	X	X
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	Myrtaceae	X	X	X		
<i>Cupressus</i>	Cipres	Cupressaceae	X				
<i>Schinus molle</i>	Molle	Anacardiaceae	X				
<i>Juglans regia</i>	Nogal	Junglaceae	X	X			
<i>Juglans neotropica</i>	Nogal	Juglandaceae	X	X			
<i>Erythrina edulis</i>	Pajuro, pisonay	Fabaceae	X				
<i>Populus sp</i>	Alamo	Salicaceae	X				
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina	Casuarinaceae.	X				
<i>Caesalpinia spinosa</i>	Tara	Leguminosae	X				
<i>Prosopis pallida</i>	Huarango	Mimosaceae	X				
<i>Spartium junceum</i>	Retama	Fabaceae	X	X	X		
<i>Pinus patula</i>	Pino	Pinaceae	X				
<i>Pinus radiata</i>	Pino	Pinaceae	X	X	X		
<i>Escallonia resinosa</i>	Chachacom o	Grosulariaceae		X	X	X	X
<i>Oreocallis grandiflora</i>	Chakpá	Proteaceae			X		
<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	Salicaceae			X		
<i>Polylepis racemosa</i>	Quinual	Rosaceae				X	X
<i>Polylepis incana</i>	Queñua	Rosaceae		X	X	X	X

Elaboración propia

a. Tipo de plantación

- **Plantación Forestal en Macizo de Protección**

Este tipo de plantaciones se realiza en tierras cuya capacidad de uso mayor es protección, pastos y forestal; siendo las especies nativas las más apropiadas: aliso, quenua, así como otras especies nativas listadas (Cuadro 26) para este, los que se complementarán con las especies de eucalipto y pino.

Las plantaciones de protección están destinadas principalmente a conseguir beneficios ambientales, tales como aminorar las inclemencias de los factores meteorológicos como disminuir la velocidad del viento, reducir la incidencia de las heladas, crear micro climas o condiciones especiales para cultivos introducidos, disminuir la erosión. Como tal el producto no es maderable por ello su rendimiento no supera los 10 m³ /ha/año.

- **Plantación Forestal en Macizo de Producción**

Este tipo de plantaciones se realiza en tierras cuya capacidad de uso mayor es forestal, pastos o agrícola, las especies más indicadas para este tipo de plantación son el eucalipto y pino.

Este tipo de plantación está destinada a conseguir plantas con alto rendimiento maderable, cuyo incremento medio anual sea mayor o igual a 15 m³ /ha/año, con el Proyecto se instalaran eucalipto y pino, para la obtención de productos maderables.

Las plantaciones forestales en macizo de producción se ejecutaran teniendo en consideración, que es una actividad con fines económicos, donde la especie debe tener un buen crecimiento medio anual, para tener una rentabilidad de la inversión, para realizar la plantación se tiene previsto la utilización de insumos que contribuirán para lograr un buen prendimiento, que se complementara con un buen desarrollo de la planta.

Se prevé realizar la fertilización, para conseguir un mejor desarrollo y establecimiento de los árboles. La adecuada fertilización estimula el desarrollo de las raíces, permite a la planta una mayor ocupación del suelo, aprovechando en forma más eficiente el agua y los nutrientes disponibles. Así se logra una mayor supervivencia, un rápido crecimiento inicial y cierre de las copas, lo cual disminuye o elimina la competencia, obteniéndose un rodal más uniforme y un mayor rendimiento al momento de la cosecha.

En estas plantaciones se empleara el guano de isla y el guano de corral la proporción que se utilizara es de 30 gramos de guano de isla y un kilogramo de guano de isla, por cada planta instalada, estas proporciones se les aplicara a 1 o 2 meses posterior a la plantación dependiendo del factor climático, además es importante que la planta ya prendió en el

terreno y los fertilizantes sean aprovechados a través de las raíces que están en pleno crecimiento.

- **Plantación agroforestales**

Serán instaladas con fines de producción y protección, para lo cual se utiliza en asociación árboles y arbustos con cultivos agrícolas y /o pastos. Como por ejemplo: el cultivo mixto de especies arbóreas y agrícolas, cercos vivos, cortina de contención de vientos y heladas, plantaciones silvopastoriles.

b. Diseño de Plantación

El manejo de distanciamientos está relacionado al objetivo o finalidad de las plantaciones, con la elección de sitio en cada una de las parcelas de plantación, se ha determinado realizar un diseño en tres bolillos.(Cuadro 26).

Cuadro 26: Listado de especies propuesta para ser instaladas por tipo de plantación y distanciamiento con diseño a tres bolillos

Especie	Nombre común	Objetivo de la plantación		Distanciamiento en plantaciones con diseño tres bolillos (m)		
		Protección	Producción	2,5 x 2,5	3 x 3	4 x 4
<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	X		X		
<i>Prunus serotina</i>	Capuli			X		
<i>Budleja incana</i>	Quishuar	X		X		
<i>Budleja coriacea</i>	Pisonay	X		X		
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	X	X		X	
<i>Cupressus</i>	Cipres	X	X		X	
<i>Schinus molle</i>	Molle	X			X	
<i>Juglans regia</i>	Nogal	X	X		X	
<i>Juglans neotropica</i>	Nogal	X	X		X	
<i>Erythrina edulis</i>	Pajuro, pisonay	X			X	
<i>Populus sp</i>	Alamo	X	X		X	
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina	X	X		X	
<i>Caesalpinia spinosa</i>	Tara	X	X			X
<i>Prosopis pallida</i>	Huarango	X		X		
<i>Spartium junceum</i>	Retama	X		X		

Especie	Nombre común	Objetivo de la plantación		Distanciamiento en plantaciones con diseño tres bolillos (m)		
		Protección	Producción	2,5 x 2,5	3 x 3	4 x 4
<i>Pinus patula</i>	Pino	X	X		X	
<i>Pinus radiata</i>	Pino	X	X		X	
<i>Escallonia resinosa</i>	Chachacomo	X		X		
<i>Oreocallis grandiflora</i>	Chakpá	X		X		
<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	X		X		
<i>Polylepis racemosa</i>	Quinual	X		X	-	-
<i>Polylepis incana</i>	Queñua	X				

Elaboración propia

Propuesta 2. *Zanjas de infiltración y pastos naturales propone la construcción de Zanjas de infiltración en áreas de pastoreo, delimitadas como potreros para establecer un sistema de pastoreo rotativo*

Se estima que 0,28 km² son áreas potenciales para la instalación de Zanjas de infiltración y pastos naturales propone la construcción de Zanjas de infiltración en áreas de pastoreo, delimitadas como potreros para establecer un sistema de pastoreo rotativo, aquí se incluyen las Tierras para pastos con calidad agrológica baja y Protección, en el centro poblado de Yuco que presenta una categoría de riesgo medio. (Cuadro 27).

Cuadro 27: Alternativa 2. Áreas potenciales para construcción de zanjas de infiltración y pastos naturales en la microcuenca Lullán

Unidad de Capacidad de Uso Mayor	Centro poblado	Riesgo	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Tierras para pastos con calidad agrológica baja y Protección	Yuco	medio	0,28	0,19

Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

1. Mediante la caracterización realizada se encontró que las coberturas vegetales existentes en la microcuenca Lullán son: afloramiento rocoso – comunidades litofíticas, bosques naturales, matorral, mosaico de cultivos, pajonal con arbustos dispersos, plantaciones forestales y vegetación ribereña – monte ribereño. De ellas la cobertura vegetal que ha sufrido mayor incremento en superficie son los mosaicos de cultivos 39% mientras que las plantaciones forestales han disminuido un 48% de su superficie inicial, en el periodo estudiado (1987 – 2014).
2. El retroceso de la cubierta glaciaria en la microcuenca Lullán fue del 15% pasando de 25,91 km² a 21,86 km². Asimismo, la tasa de cambio de deglaciación anual se acelera con el tiempo viendo en los últimos cinco años un mayor incremento.
3. El modelo de riesgos estima que 6,62 km² de la microcuenca Lullán se encuentra en categoría de alto riesgo; 16,63 km² riesgo medio y 3,52 km² riesgo bajo. Las poblaciones en alto riesgo son los centros poblados de: Cono, Oshco, Pakian, Tarna, Ucoracra, Antash, Chuchinpampa, Parón, Ticrapa.
4. Para las áreas potenciales para forestación y reforestación en la microcuenca (26,49 km²) se plantea la instalación de *Zanjas de infiltración con plantaciones forestales y pastos cultivados anual y perenne establece el sistema silvopastoriles*. Mientras que, para las áreas potenciales para la instalación de Zanjas de infiltración y pastos naturales se propone la construcción de *Zanjas de infiltración en áreas de pastoreo, delimitadas como potreros para establecer un sistema de pastoreo rotativo (0,28 km²)*.

VI. RECOMENDACIONES

Este estudio servirá de base para determinar la influencia de la deglaciación en el comportamiento del régimen hidrológico de la microcuenca Lullán

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación se deben implementar las acciones de manejo integral de la microcuenca.

Es importante la utilización de la tecnología del SIG y teledetección para la caracterización y análisis de una cuenca, y para su mayor aproximación a las condiciones es necesario la instalación de estaciones hidrométricas y pluviométricas, lo que permitirá obtener mayor información de la zona.

Se recomienda que para futuros estudios se considere en la elaboración del modelo de riesgo: la precipitación máxima para el submodelo de peligros en movimientos de masa, y una diferente ponderación de las variables para el submodelo de vulnerabilidad de elementos expuestos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRACK A. y MEDIOLA C. 2000 Ecología del Perú 3ª ed. de Bruño. 496 pp
- BOSQUE, J. 1992. Sistemas de Información Geográfica. Primera edición. Madrid - España. 445 p.
- CENEPRED, 2013. MANUAL DE EVALUACIÓN DE RIESGOS FENOMENOS NATURALES. Centro Nacional de Estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres
- CHUVIECO, E. 2010. Teledetección ambiental "La observación de la Tierra desde el espacio". Tercera edición. Barcelona - España. 590 p.
- COLONIA, D. TORRES, J. 2011 Determinación del retroceso glaciar en la microcuenca de Llanganuco, a través del análisis multitemporal en el periodo 1987 - 2007. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo. Huaraz - Perú
- GUTIÉRREZ. M. 2000. Teledetección Nociones y aplicaciones. Madrid - España. 431 p.
- INEI, 2007. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA. Censos Nacionales: XI de Población y VI de Vivienda. Lima - Perú.
- INEI, 2012. Cifras de población de Caraz al 2012.
- INGEMMET, 1989. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico Mapa Geológico del Perú
- INRENA, 1995. Mapa ecologico del Perú. Guia explicativa. Ministerio de Agricultura
- LA LEY N° 29664, LEY DE CREACIÓN DEL SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES – SINAGERD
- LAMA, A. 2008. Perú, Deshielo andino amenaza al ambiente regional. Lima - Perú

- MALLEUX, J. 2012. Definición de bosque en el contexto del Inventario Nacional Forestal del Perú.
- MEDINA, G. MEJÍA, A. 2014. “Análisis multitemporal y multifractal de la deglaciación de la Cordillera Parón en los Andes de Perú” Ecol. apl. vol.13 no.1. Lima - Perú.
- MINAGRI. 2009. Decreto Supremo N° 17 - 2009-AG
- MINAGRI, 2010. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338
- MINAGRI. 2011. Ley N° 29763 Ley Forestal y de Fauna Silvestre
- MINAM. 2009. Plan maestro del Parque Nacional Huascarán 2010 - 2015. SERNANP, Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. Huaraz - Perú
- MORENO DÍAZ, A.; RENNER, I. 2007. Gestión Integral de Cuencas. La Experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas. Lima - Perú. 32 p.
- MVCS, 2009. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Directorio de Comunidades Campesinas del Perú.
- NINYEROLA, M; PONS, X; ROURE, J. 2000. A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques
- PINELL PRADO, C. 2003. Glosario de Términos ambientales. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Proyecto Medio Ambiente. Industria y Minería. Componentes A&B. Lima - Perú.
- POUYAUD, B.; YERREN, J.; ZAPATO, M. 2003. Glaciares y Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Santa. IRD-GREATICE/Francia, SENAMHI-DGH/Perú, INRENA-UGRH/Perú.
- PRONAMACHCS (Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de suelos). 1998. Establecimiento de la plantación PRONAMACHCS - FEMAP. Ministerio de Agricultura - MINAG. Lima - Perú.
- RIGAUX, P. 2002. Spatial Databases with application to GIS. San Francisco – EE. UU. 410 p.

Rivas Martínez, Salvador (1987). Memoria del mapa de series de vegetación de España 1: 400.000. 268 pp. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. ISBN 84-85496-25-6.

ROGGERO, H. 1995. Cartografía y Geodesia satelital. Lima - Perú. 231 p.

SERNANP, 2015. Registro de visitantes al Parque Nacional Huascarán, ingreso Parón.

SORUCO, A. 2013. Glaciares de los Andes Tropicales víctimas del Cambio Climático. 99 p.

TOMLINSON, R. 2007. Pensando en el SIG. California. 255 p.

TUCKER, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment. 8(2): 127-150.

VARGAS GONZÁLES, C.; VILLON REINOSO, C.; PASAPERA GONZALES, J. 2009. Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial – CONIDA. Comparación de Técnicas para el mapeo de cobertura glaciar con imágenes LANDSAT y ASTER en la Cordillera Blanca. Ancash - Perú.

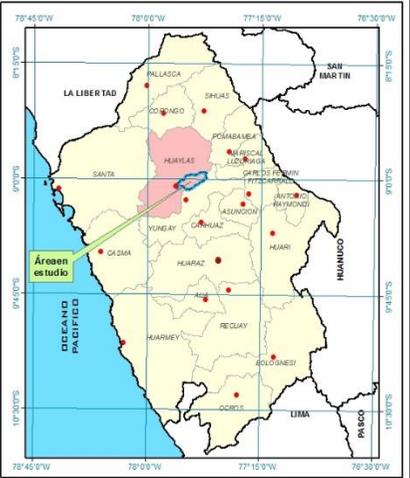
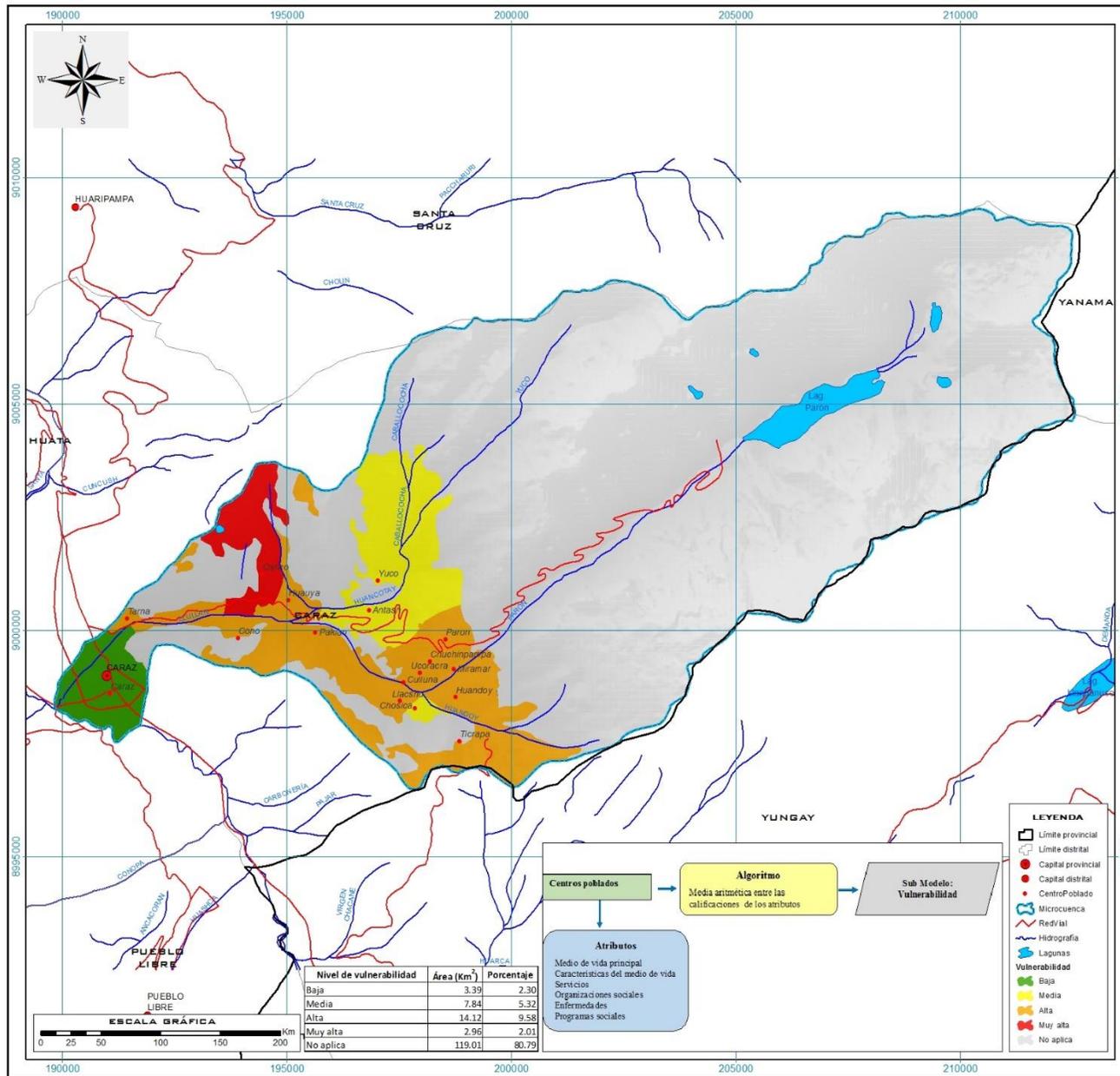
VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Mapa de peligro en movimiento en masa

ANEXO 2. Mapa de vulnerabilidad

ANEXO 3. Mapa de riesgos

ANEXO 4. Mapa de riesgos - Capacidad de Uso mayor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

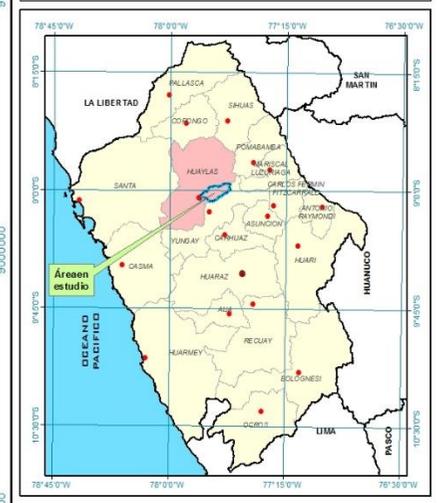
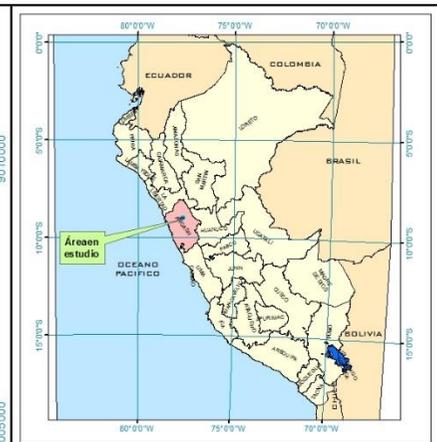
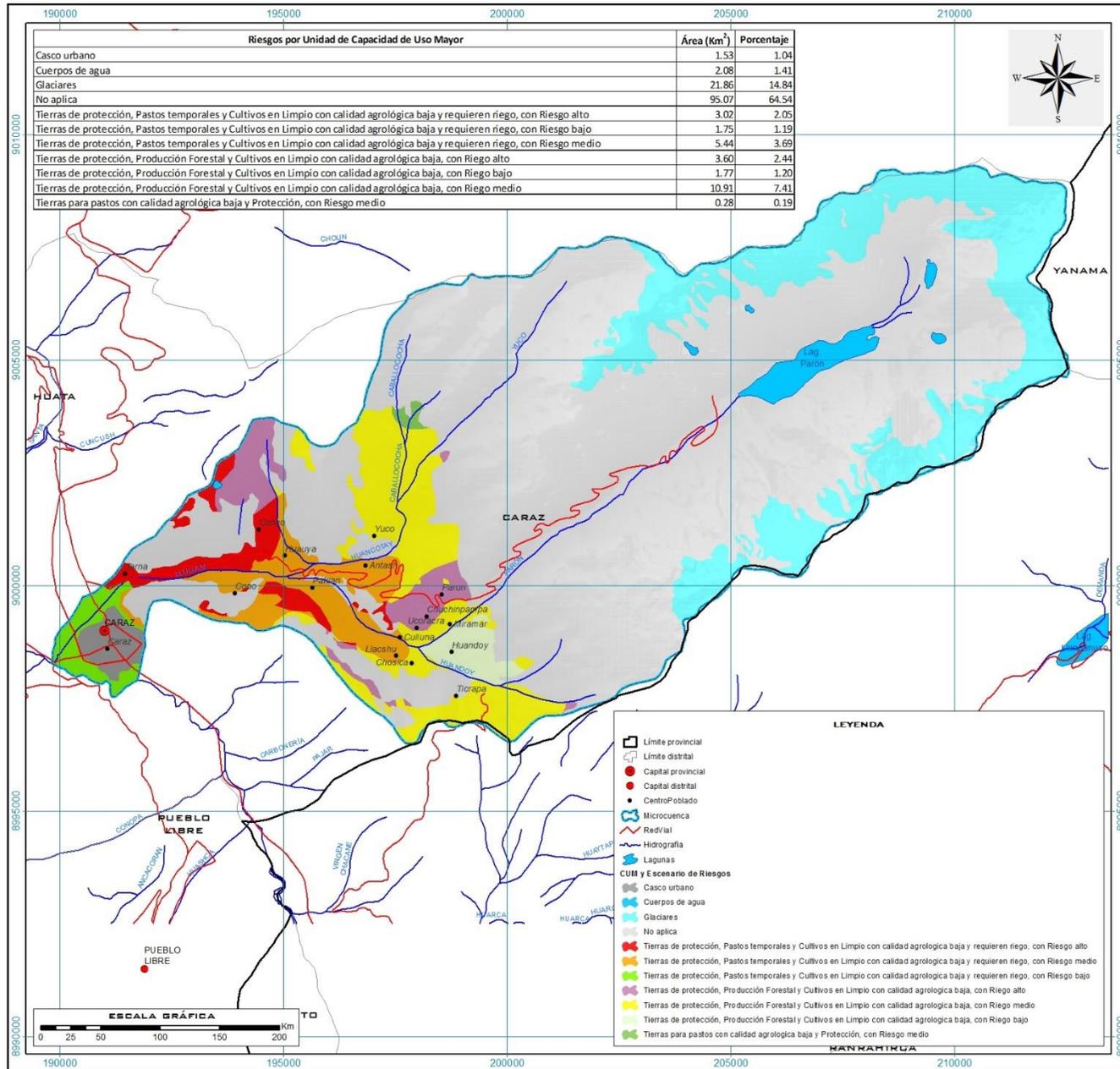
TESIS:
CUANTIFICACIÓN E IMPACTO DEL RETROCESO GLACIAR SOBRE LOS RECURSOS NATURALES DETERMINADOS MEDIANTE EL SIG Y TELEDETECCIÓN - MICROCUENCA LULLÁN, ANCASH - PERÚ

MAPA:
VULNERABILIDAD

UBICACIÓN:
 Departamento: Ancash / Provincia: Huaylas / Distrito: Caraz

FUENTE: INEI, IGN, MTC y Encuestas
FECHA: Noviembre 2016
FORMATO: A3
ESCALA: 1 / 82'500

ELABORADO POR: María Patricia Gaita Iparraguirre
PROYECCIÓN: Sistema de Coordenadas: UTM Datum: WGS 84 / Zona: 18 Sur
MAPA: MV



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
ESCUELA DE POSGRADO

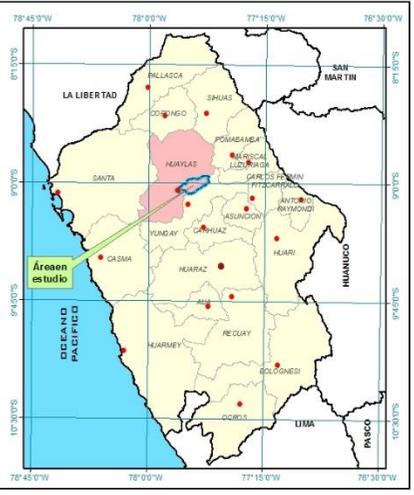
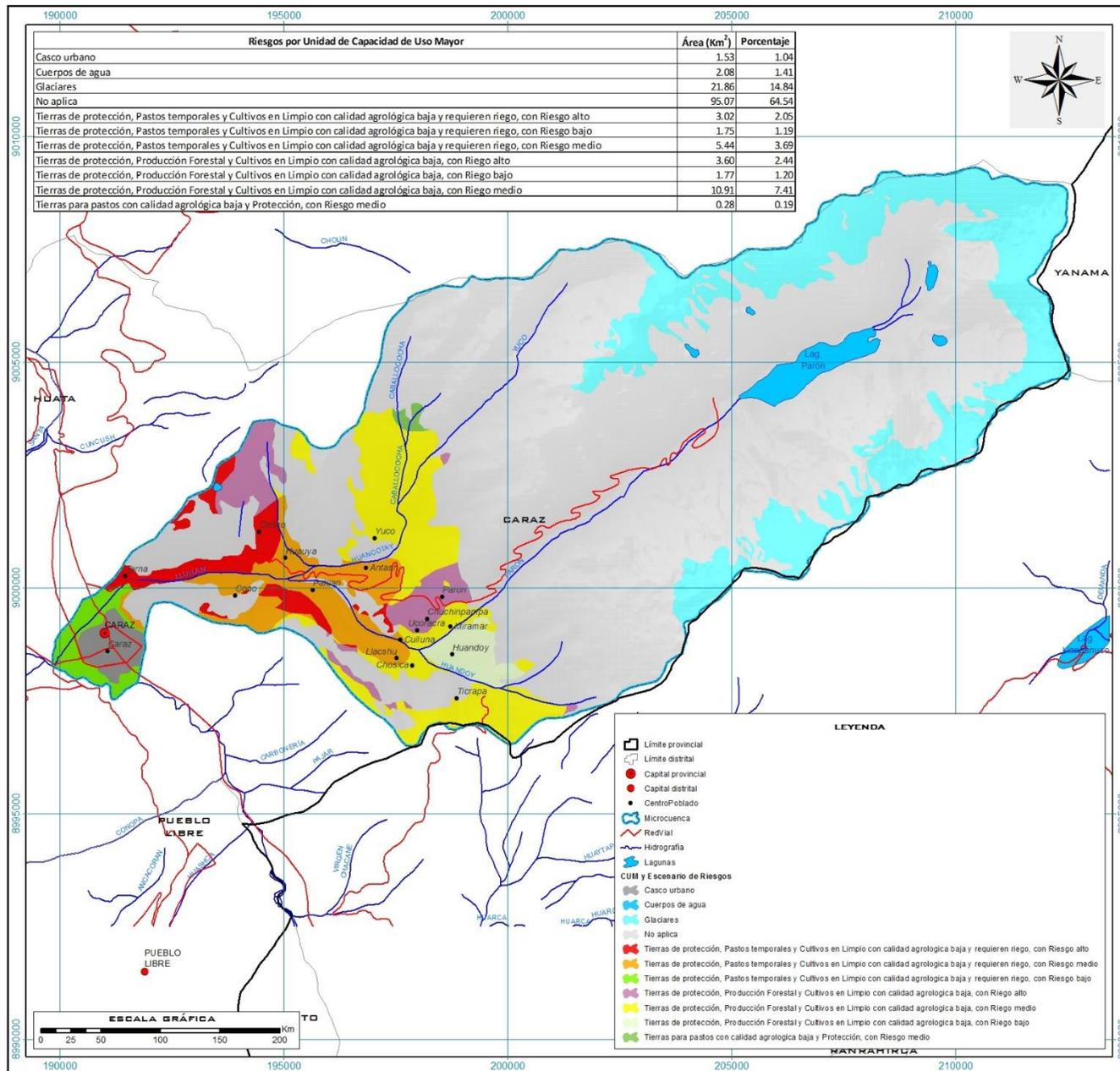
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

TESIS:
CUANTIFICACIÓN E IMPACTO DEL RETROCESO GLACIAR SOBRE LOS RECURSOS NATURALES DETERMINADOS MEDIANTE EL SIG Y TELEDETECCIÓN - MICROCUENCA LULLÁN, ANCASH - PERÚ

MAPA:
CUM EN ESCENARIOS DE RIESGO

UBICACIÓN:
 Departamento: Ancash / Provincia: Huaylas / Distrito: Caraz

FUENTE: INEI, IGN, MTC y Modelos	FECHA: Noviembre 2016	FORMATO: A3	ESCALA: 1 / 82'500
ELABORADO POR: María Patricia Galta Iparraguirre	PROYECCIÓN: Sistema de Coordenadas: UTM Datum: WGS 84 / Zona: 18 Sur		MAPA: MCUM-R



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

TESIS:
CUANTIFICACIÓN E IMPACTO DEL RETROCESO GLACIAR SOBRE LOS RECURSOS NATURALES DETERMINADOS MEDIANTE EL SIG Y TELEDETECCIÓN - MICROCUENCA LULLÁN, ANCASH - PERÚ

MAPA:
CUM EN ESCENARIOS DE RIESGO

UBICACIÓN:
 Departamento: Ancash / Provincia: Huaylas / Distrito: Caraz

FUENTE: INEI, IGN, MTC y Modelos	FECHA: Noviembre 2016	FORMATO: A3	ESCALA: 1 / 82'500
ELABORADO POR: María Patricia Galta Iparraguirre	PROYECCIÓN: Sistema de Coordenadas: UTM Datum: WGS 84 / Zona: 18 Sur		MAPA: MCUM-R



CIENCIAACTIVA

Proyecto CRYOPERU 144-2015