



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**Aplicación del método de análisis jerárquico mediante el
Sistema de Información Geográfica y Teledetección para
la identificación de zonas potenciales de agua
subterránea en la cuenca del río Tambo**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR

Angel Davis BERNUY ARENAS

ASESOR

Mg. Johans Alexanders Arica Gutiérrez

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Cántaro, G. (2024). *Aplicación del método de análisis jerárquico mediante el Sistema de Información Geográfica y Teledetección para la identificación de zonas potenciales de agua subterránea en la cuenca del río Tambo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Angel Davis Bernuy Arenas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70860008
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0285-8559
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Johans Alexanders Arica Gutiérrez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44240717
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8116-4071
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Rolando Reategui Lozano
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06418510
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Alex Segundino Armas Blancas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07568033
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Jose Freddy Atuncar Yrribari
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25527597

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.2.8. Ingeniería y tecnologías del Medio Ambiente
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin Financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Arequipa, Moquegua y Puno Departamento: Lima Provincia: Arequipa, Islay, Caylloma, General Sánchez Cerro, Mariscal Nieto, Puno, El Collao, San Román, Lampa Distrito: La Joya, Pochi, Polobaya, San Juan de Tarucani, Yarambamba, Cocachacra, Dean Valdivia, Mollendo, Punta de Bombón, San Antonio de Chuca, Coalaque, Chojata, Ichuña, La Capilla, Lloque, Matalaque, Omate, Puquina, Quinistaquillas, Ubinas, Yunga, Carumas, Cuchumbaya, Moquegua, San Cristobal, Torata, Acora, Mañazo, Pichacani, San Antonio, Tiquillaca, Santa Rosa, Cabanillas, Santa Lucía Latitud: -15.737837, - 17.176626 Longitud: -71.859621, -69.904226
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Setiembre 2022 – Setiembre 2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería ambiental y geológica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01 Sensores remotos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.04



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; el día 8 de mayo del año 2024, siendo las 12:00 pm, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

Dr. ROLANDO REATEGUI LOZANO

(Presidente del Jurado)

Mg. ALEX SEGUNDINO ARMAS BLANCAS

(Miembro del Jurado)

Mg. JOSE FREDDY ATUNCAR YRRIBARI

(Miembro del Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación del Tesista Bachiller; ANGEL DAVIS BERNUY ARENAS, quien sustentaran la Tesis Titulada:

“Aplicación del método de análisis jerárquico mediante el Sistema de Información Geográfica y Teledetección para la identificación de zonas potenciales de agua subterránea en la cuenca del río Tambo”; para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A. ANGEL DAVIS BERNUY ARENAS

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

QUINCE (15)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el

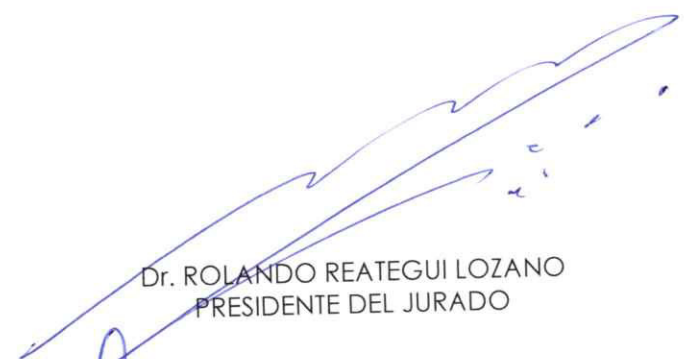


Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL al Bachiller:
ANGEL DAVIS BERNUY ARENAS.

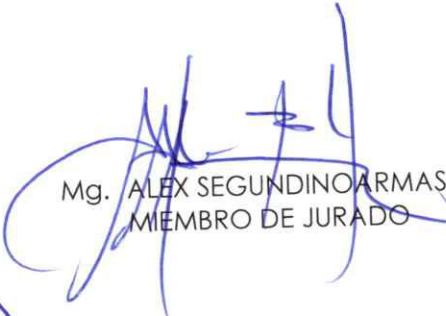
Siendo las 13:00 pm horas se dio por concluido el acta académico,
expidiéndose tres (03) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.



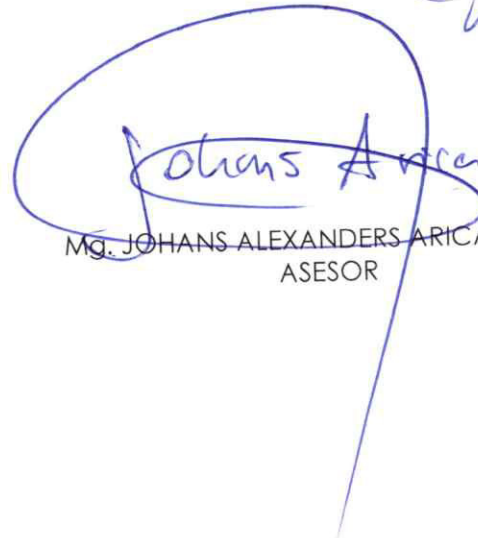
Dr. ROLANDO REATEGUI LOZANO
PRESIDENTE DEL JURADO



Mg. JOSE FREDDY ATUNCAR YRRIBARI
MIEMBRO DE JURADO



Mg. ALEX SEGUNDINO ARMAS BLANCAS
MIEMBRO DE JURADO



Mg. JOHANS ALEXANDERS ARICA GUTIÉRREZ
ASESOR



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **Johans Alexanders Arica Gutierrez** en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 001240-2023-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es "Aplicación del método de análisis jerárquico mediante el Sistema de Información Geográfica y Teledetección para la determinación de zonas de agua subterránea en la cuenca del río Tambo", presentado por el bachiller Angel Davis Bernuy Arenas para optar el título de Ingeniero Ambiental CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual.

Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 18% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: **44240717**

Nombres y Apellidos del Asesor: **Johans Alexanders Arica Gutierrez**



DEDICATORIA

El presente trabajo se dedicó en primer lugar a Dios, por concederme la fortaleza y guiarme en el camino de la vida. También a mi familia por su ayuda infinita. A mi casa de estudios, docentes y compañeros por acompañarme en toda mi etapa universitaria y ciudadana. Finalmente, se lo dedico a la sociedad, esperando aportar en la mejora de nuestro hogar, el mundo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mis padres y familiares quienes estuvieron conmigo apoyándome incondicionalmente durante toda mi etapa universitaria.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, por ser mi alma mater y casa de estudios, y haberme permitido crecer académica y profesionalmente.

A los profesores(as): Giuliana Becerra Celis, Pavel Aquino Espinoza, Johans Arica Gutiérrez, Jorge Llanos García, José Roque Gamarra, Alberto Huiman Cruz, y todos los profesores que contribuyeron a mi formación académica, ética y profesional por los cuales me sentiré siempre eternamente agradecido.

A mi asesor Johans Arica Gutierrez por cada instante dedicado durante el apoyo al presente trabajo de investigación despejando cada una de mis interrogantes.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Situación problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Justificación de la investigación	3
1.3.1. Justificación teórica.....	3
1.3.2. Justificación práctica.....	3
1.4. Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.1. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes del problema.....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	9
2.2. Bases teóricas	12
2.2.1. Aguas subterráneas	12
2.2.2. Teledetección	18
2.2.3. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	27
2.2.4. Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).....	29
2.3. Marco conceptual.....	36

2.3.1 Términos ligados al software ArcGIS.....	36
2.3.2 Términos ligados al software QGIS.....	39
2.3.3 Términos transversales.....	40
CAPÍTULO III. VARIABLES.....	42
3.1. Operacionalización e identificación de variables	42
3.1.1. Identificación de variables	42
3.1.2. Operacionalización de variables	43
3.2. Matriz de consistencia	44
CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	45
3.1. Descripción General de la cuenca del Río Tambo	45
3.1.1 Ubicación Geográfica y Política	45
3.1.2. Aspectos Físicos.....	46
3.1.3. Aspectos socioeconómicos	55
CAPÍTULO V. METODOLOGÍA	58
5.1. Tipo y diseño de investigación	58
5.1.1. Tipo de investigación.....	58
5.1.2. Diseño de investigación	58
5.2. Unidad de análisis.....	58
5.3. Población de estudio	59
5.4. Muestra	59
5.5. Método de selección de muestra.....	59
5.6. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información	61
5.6.1. Recolección y procesamiento de base de datos	61
5.6.2. Aplicación del método AHP	69
5.6.3 Aplicación del método AHP por factor.....	74
5.6.4. Generación del mapa potencial de aguas subterráneas	87

5.6.5. Cálculo de la precisión del mapa potencial de aguas subterráneas.....	87
CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	89
6.1 Resultados por cada factor.....	89
6.1.1. Factor densidad de drenaje.....	89
6.1.2. Factor densidad de lineamiento.....	91
6.1.3. Factor geología.....	93
6.1.4. Factor pendiente.....	95
6.1.5. Factor precipitación.....	97
6.1.6. Factor uso de suelo.....	99
6.2. Índice Potencial de Agua Subterránea (GWPI) y validación	101
6.3. Discusión de Resultados	103
CONCLUSIONES	108
LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXOS	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad del recurso hídrico por vertientes hidrográficas en el Perú	13
Tabla 2. Clasificación de zonas de recarga hídrica	15
Tabla 3. Elementos de la teledetección	18
Tabla 4. Principales Bandas del Espectro Electromagnético	20
Tabla 5. Escala del mapa mediante resolución espacial.....	21
Tabla 6. Número de bits determinando el rango de gris o ND.....	22
Tabla 7. Niveles de resolución temporal	22
Tabla 8. Distribución de las longitudes de onda en las bandas de la imagen Sentinel 2	23
Tabla 9. Principales combinaciones de las bandas del satélite Sentinel 2	25
Tabla 10. Estructuras para el almacenamiento de DEM	26
Tabla 11. Escala fundamental de comparación por pares	32
Tabla 12. Valores del Índice Aleatorio respecto a la cantidad de subcriterios “n”	35
Tabla 13. Clasificación de las variables	42
Tabla 14. Operacionalización de variables.....	43
Tabla 15. Matriz de consistencia.....	44
Tabla 16. Ubicación política de la cuenca del río Tambo	45
Tabla 17. Ubicación geográfica de la cuenca del Tambo.....	46
Tabla 18. Clases de pendiente	46
Tabla 19.....	47
Paisajes en la cuenca del Tambo	47
Tabla 20. Humedad relativa mensual en la cuenca del Tambo	50
Tabla 21. Evaporación mensual en la cuenca del Tambo	50
Tabla 22. Geología en la cuenca del Tambo	52
Tabla 23. Disponibilidades hídricas del río Tambo en la estación Puente Santa Rosa (m ³ /s)	55

Tabla 24. Usos del Suelo en la cuenca del Tambo	57
Tabla 25. Parámetros cartográficos de los factores para identificar zonas de agua subterránea	61
Tabla 26. Códigos de las cuadrículas de los DEM correspondientes al área de estudio según el portal Alaska Satellite Facility	64
Tabla 27. Ubicación de estaciones meteorológicas en la cuenca del Tambo.....	65
Tabla 28. Códigos de Identificación de las Imágenes Sentinel 2 correspondientes al Área de Estudio según el Portal Copernicus Open Access Hub	67
Tabla 29. Comparaciones por pares de los factores	70
Tabla 30. Matriz de comparación por pares de los factores.....	71
Tabla 31. Matriz de comparación por pares normalizada	72
Tabla 32. Producto matricial de matrices de comparaciones por pares y la matriz de pesos relativos	73
Tabla 33. Cálculo del vector consistencia	73
Tabla 34. Matriz de comparaciones pareadas del factor densidad de drenaje	74
Tabla 35. Matriz de comparación normalizada para el factor densidad de drenaje	75
Tabla 36. Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios densidad de drenaje	75
Tabla 37. Cálculo del vector consistencia	76
Tabla 38. Matriz de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor densidad de lineamientos	77
Tabla 39. Matriz de comparación normalizada para los subcriterios del factor densidad de lineamiento	77
Tabla 40. Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor densidad de lineamiento.....	78
Tabla 41. Cálculo del vector consistencia	78
Tabla 42. Matriz de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor geología ...	79

Tabla 43. Matriz de comparación normalizada para los subcriterios del factor geología	79
Tabla 44. Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor geología	80
Tabla 45. Cálculo del vector consistencia	80
Tabla 46. Cálculo del vector consistencia	81
Tabla 47. Matriz de comparación normalizada para los subcriterios del factor pendiente	81
Tabla 48. Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor pendiente	82
Tabla 49. Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor pendiente	82
Tabla 50. Matriz de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor precipitación	83
Tabla 51. Matriz de comparación normalizada para los subcriterios del factor precipitación	83
Tabla 52. Matriz de comparación normalizada para los subcriterios del factor precipitación	84
Tabla 53. Cálculo del vector consistencia	84
Tabla 54. Matriz de comparaciones pareadas del factor Uso de Suelo	85
Tabla 55. Matriz de comparación normalizada para el factor Uso de Suelo	85
Tabla 56. Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios densidad de drenaje	86
Tabla 57. Cálculo del vector consistencia	86
Tabla 58. Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Densidad de Drenaje	89
Tabla 59. Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Densidad de Lineamientos	91

Tabla 60. Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Geología	93
Tabla 61. Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Pendiente	95
Tabla 62. Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Precipitación.....	97
Tabla 63. Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Uso de Suelo.....	99
Tabla 64. Áreas potenciales de agua subterránea.....	101
Tabla 65. Parámetros priorizados respecto a las investigaciones relacionadas a la identificación de zonas a aguas subterráneas	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de un SIG	28
Figura 2. Modelo jerárquico para la toma de decisiones.....	31
Figura 3. Diagrama de flujo de la investigación	60
Figura 4: Mapa de Densidad de Drenaje	90
Figura 5. Mapa de Densidad de Lineamientos	92
Figura 6. Mapa Geológico.....	94
Figura 7. Mapa de Pendientes	96
Figura 8. Mapa de Precipitación.....	98
Figura 9. Mapa de Cobertura/ Uso de Suelo	100
Figura 10. Mapa Potencial de Agua Subterránea	102
Figura 11. Comparativo de las aguas subterráneas identificadas por el INGEMMET respecto a las zonas de alto y muy alto potencial hídrico determinado por el método AHP	107

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Código de RStudio para la extracción de la data de precipitación del producto PISCO del SENAMHI	119
Anexo 2. Mapa de Ubicación de la Cuenca de Estudio: Tambo.....	120
Anexo 3. Inventario de fuentes de agua subterránea.....	121

RESUMEN

El propósito de la investigación fue la aplicación del proceso de análisis jerárquico (AHP) con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Teledetección para la identificación de zonas de agua subterránea en la cuenca del río Tambo. Para ello se recopilaron los siguientes datos correspondientes a los factores a emplear en el método AHP tales como: densidad de drenaje (km/km^2), densidad de lineamientos (km/km^2), geología (adimensional), pendiente ($^\circ$), precipitación ($\text{mm}/\text{año}$) y uso de suelo (adimensional); los cuales fueron obtenidos de las imágenes satelitales Sentinel 2, el modelo de elevación digital ALOS PALSAR RTC, así como de diversas fuentes institucionales de información geoespacial (INGEMMET, SENAMHI). Dichos datos fueron procesados con ayuda de los softwares Excel, ArcGIS 10.5, QGIS 3.26 y R para la aplicación del método AHP correspondiente y así obtener el Índice Potencial de Agua subterránea, indicador de presencia de agua subterránea sobre una cuenca específica, el cual fue comparado con las fuentes de agua subterránea previamente identificadas por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) con el fin de determinar la precisión del método aplicado para el logro del objetivo. Los resultados indicaron que 31,45% del área de estudio presenta zonas de alta y muy alta presencia de aguas subterráneas, debido principalmente a la geología de rocas sedimentarias, Andesitas, Brechas y Tobas con gran capacidad de infiltración de agua, a la baja pendiente (menor a $32,14^\circ$) y a la baja densidad de drenaje (menor a $2,40 \text{ km}/\text{km}^2$); además, al verificar la precisión del mapa obtenido, se demostró que el 67,1 % de las fuentes de agua subterránea previamente identificadas por el INGEMMET se encuentran dentro de zonas de alta y muy alta presencia de aguas subterráneas según lo indicado dentro del mapa elaborado. Finalmente se permite concluir que, haciendo uso de los sistemas de información geográfica, la teledetección y el proceso de análisis jerárquico aunado a una serie de factores indicadores, se pueden identificar zonas de presencia de agua subterránea que coadyuvarían a una adecuada gestión de recursos hídricos.

Palabras claves: proceso de análisis jerárquico (AHP), sistemas de información geográfica, teledetección, aguas subterráneas, cuenca del Tambo

ABSTRACT

The aim of this research work was to apply the hierarchical analysis process (HAP) using Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing to identify potential groundwater areas in the Tambo River basin. Thus, the following data corresponding to the factors to be used in the AHP method were collected, such as: drainage density (km/km²), lineament density (km/km²), geology (dimensionalless), slope (°), precipitation (mm /year) and land use (dimensionless); which were obtained from the Sentinel 2 satellite images, the ALOS PALSAR RTC digital elevation model, as well as various institutional sources of geospatial information (INGEMMET, SENAMHI). These data were processed with the help of Excel, ArcGIS 10.5, QGIS 3.26 and R software for the application of the corresponding AHP method and thus obtain the Groundwater Potential Index, an indicator of the possible presence of groundwater on a specific basin, which was compared with the groundwater sources previously identified by the Geological, Mining and Metallurgical Institute (INGEMMET) in order to determine the precision of the method applied to achieve the goal. The results indicated that 31.45% of the study area presents zones of high and very high potentiality presence of groundwater, mainly due to the geology of sedimentary rocks, Andesites, Breccias and Tuffs with great capacity for water infiltration, the low slope (less than 32.14°) and the low drainage density (less than 2.40 km/km²); furthermore, when verifying the accuracy of the map obtained, it was shown that the 67.1 % of the groundwater sources previously identified by INGEMMET are located within areas of high and very high groundwater potential as indicated on the map prepared. Finally, it can be concluded that, making use of geographic information systems, remote sensing and the hierarchical analysis process together with a series of indicator factors, it is possible to potentially identify areas of groundwater presence that would contribute to an adequate management of water resources.

Keywords: hierarchical analysis process (AHP), geographic information systems, remote sensing, groundwater, Tambo basin

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

Los recursos hídricos se encuentran distribuidos en todo el planeta y en ingentes cantidades (Instituto Geológico y Minero de España, 2017); sin embargo, el incremento del consumo poblacional, la industrialización y urbanización vienen ejerciendo una gran presión y contaminación sobre este recurso, que aunado a una mala planificación y gestión hídrica, podrían ser causales de crisis hídricas locales (Blanco de la Torre, 2017). Los escenarios de estrés hídrico en las distintas unidades hidrográficas del planeta tierra vienen reduciendo la disponibilidad del recurso hídrico a nivel mundial pudiendo llegar a afectar a un total de 4 billones de personas al año 2040 (IPCC, 2019).

Ante ello, se destaca la importancia de realizar estudios de zonificación de recursos hídricos subterráneos, principalmente por la gran cantidad de reservas en el mundo (90% de agua dulce fácilmente disponible), cercanía a zonas de suministro y permanencia en periodos de sequía (Fornés et al., 2009), tal es el caso de Mohammadi-Behzad et al., 2019, Ahmadi et al., 2020, Owolabi et al., 2020, entre otros autores que han venido investigando metodologías para la identificación de fuentes de aguas subterráneas principalmente en África y Asia, áreas geográficas con gran déficit hídrico; sin embargo, en muchos países, como los de América del Sur, son pocos los estudios de zonificación de recursos hídricos y los existentes no son muy conocidos o son poco desarrollados.

En el Perú, a pesar de poseer un gran volumen de recursos hídricos que lo ubican entre los 20 países con mayor oferta hídrica del mundo, no sería ajeno ante un posible estrés hídrico hacia el año 2025 (Guevara Gil et al., 2014); y esto se debe principalmente a la deficiente gestión de cuencas hidrográficas a nivel nacional, tomando como ejemplo la deficiente información de aguas subterráneas en las vertientes hidrográficas del Atlántico y del Titicaca (Echevarría, 2016), además de la escasa información de nuevas tecnologías y/o metodologías que faciliten la identificación del recurso subterráneo en las cuencas hidrográficas a nivel nacional.

En base a lo mencionado, cabe destacar que si contamos con investigación hidrogeológica, como la “Guía para realizar inventarios de aguas subterráneas” realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2020), así como ciertos “Estudios hidrogeológicos” en las cuencas del Chillón, Ilo-Moquegua, Tambo, entre otras, por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET] (Carpio y Peña, 2020). No obstante, la bibliografía antes señalada,

no aborda una metodología de gabinete que permita complementar eficazmente y/o facilitar el trabajo de campo brindando una aproximación de las posibles fuentes de aguas subterráneas en las unidades hidrográficas.

En el ámbito local, la cuenca hidrográfica del río Tambo, podría enfrentar un riesgo por estrés hídrico en base a las diversas variaciones climáticas ya suscitadas en otros tiempos, como el largo periodo de sequía entre los meses de noviembre del año 2015 y marzo del 2016, razón por la cual en el mes de setiembre del año 2016 fueron declarados en estado de emergencia los recursos hídricos en el valle del río Tambo (Resolución Jefatural No 249-2016-ANA, 2016). Una de las medidas para afrontar este posible estrés hídrico, tal cual lo menciona la referencia normativa antes citada, sería la identificación de nuevos pozos para el abastecimiento de agua, según las necesidades hídricas identificadas en la cuenca de estudio

Debido a las grandes necesidades hídricas de la cuenca hidrográfica del Tambo, como a lo señalado en líneas anteriores respecto a su declaración de estado de emergencia por posible estrés hídrico, en esta cuenca se han venido realizando múltiples investigaciones, que han permitido recopilar datos de parámetros superficiales sistematizadas y cartografiadas en bases de datos institucionales como el SENAMHI, la ANA, el INGEMMET, entre otros; sin embargo, a pesar de la disponibilidad de dicha información, además de la recomendación de identificación de nuevas fuentes de abastecimiento de agua, estas investigaciones peruanas no desarrollan una metodología de primera aproximación o reconocimiento en gabinete para facilitar la zonificación de recursos hídricos subterráneos (Carpio y Peña, 2020).

Del contexto mencionado anteriormente, surge la necesidad de contribuir con metodologías eficientes que sean accesibles a los usuarios públicos y privados tomadores de decisiones, y que coadyuven a su gestión de recursos hídricos subterráneos en un contexto adverso de estrés hídrico a causa de las variaciones climáticas (ANA, 2020), partiendo con la identificación de zonas de recarga hídrica subterránea y contribuyendo así a lograr el abastecimiento de este recurso valioso para toda la población en el territorio peruano.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Qué método podría ayudarnos a identificar zonas de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo que coadyuven a la mejora de la gestión de recursos hídricos frente a un escenario de escasez de agua a causa del cambio climático?

1.2.2. Problemas específicos

(1) ¿Cuáles son los parámetros y niveles de importancia que deben tomarse en consideración para la aplicación del método que permita identificar zonas de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo?

(2) ¿De qué manera el método seleccionado permite la construcción de un mapa de zonificación de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo?

(3) ¿Qué nivel de precisión se puede alcanzar con el método seleccionado respecto a la identificación de zonas de aguas subterráneas la cuenca hidrográfica del Tambo?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación teórica

El acceso limitado, ya sea por escasez o contaminación a los recursos hídricos, podría conllevar a generar grandes conflictos socio ambientales a nivel mundial, en ese sentido, toma un papel relevante la gestión integrada de los recursos hídricos subterráneos. Ante ello, generar herramientas o metodologías para la investigación de nuevas fuentes de aguas subterráneas, resulta de crucial importancia tomando en cuenta que son un recurso abundante y ampliamente distribuido el cual, adecuadamente gestionado, podría ayudar en la adaptación de una posible crisis hídrica; en ese sentido la presente investigación titulada “Aplicación del método de análisis jerárquico mediante el Sistema de Información Geográfica y Teledetección para la identificación de zonas potenciales de agua subterránea en la cuenca del río Tambo”, contribuirá con el enriquecimiento de la literatura científica sobre los recursos hídricos subterráneos, y sobre todo con bibliografía acerca de fuentes de datos y una técnica disponible y económicamente viable que coadyuven a la a la gestión integrada de los recursos hídricos.

1.3.2. Justificación práctica

Tomando en cuenta una adversa pero posible escasez de recursos hídricos y siendo ésta una deficiencia para una adecuada gestión de este recurso, el presente estudio aportará información

técnico-científica acerca de una metodología que nos permite zonificar una cuenca hidrográfica respecto a la presencia o no de agua subterránea permitiendo así promover un uso sostenible de este recurso, además de servir de apoyo para la toma de decisiones en instituciones públicas y privadas, o para la comunidad científica en general en busca de nuevas investigaciones hidrológicas. Desarrollar nuevas herramientas económicas para identificación de gabinete de fuentes de agua subterránea resulta de gran relevancia tomando en cuenta que el planeta tierra está por sufrir un cambio climático con grandes repercusiones sobre la disponibilidad de los recursos hídricos; es así que, el marco de acción de la presente investigación aplicada se desarrolla en el Objetivo de Desarrollo Sostenible N° 6 promoviendo al logro de una gestión integrada de los recursos hídricos, así como al acceso universal y equitativo del agua.

Por último, el estudio es factible debido al acceso a geo-información disponible en plataformas institucionales oficiales, tanto nacionales como internacionales; además del conocimiento de sistemas de información geográfica (SIG) y de procesamiento de imágenes satelitales, para el procesamiento de la geodata extraída, haciendo una mención especial al reciente estudio “Hidrogeología de la cuenca del río Tambo” realizado por un equipo de investigadores del INGEMMET, siendo la principal fuente oficial de datos primarios recopilados en campo, los cuales permitirán validar los resultados obtenidos; todos ellos pilares fundamentales que ayudarán al logro de los objetivos de la investigación.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Aplicar el método de Análisis Jerárquico a través de SIG y teledetección como una herramienta eficiente para la identificación de zonas de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo.

1.4.1. Objetivos específicos

- (1) Determinar los parámetros a utilizar, así como su nivel de importancia, para la óptima aplicación del método de análisis jerárquico en la identificación de zonas de aguas subterráneas en la cuenca del Tambo.
- (2) Construir un mapa de zonificación de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo a partir del método de análisis jerárquico.
- (3) Calcular el nivel de precisión del método de Análisis Jerárquico para la identificación de zonas de aguas subterráneas en la cuenca del Tambo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Como referente principal para la realización de la presente investigación se tiene el estudio realizado por Macas y López (2018) titulado “Potencial para la exploración de aguas subterráneas en la Demarcación Hidrográfica Puyango Catamayo, Ecuador, utilizando un proceso de análisis jerárquico basado en SIG y teledetección”, cuyo objetivo fue la aplicación de técnicas de teledetección y SIG para mapear zonas con potencial contenido de agua subterránea en la Demarcación Hidrográfica Puyango Catamayo, utilizando para ello datos gratuitos. La metodología aplicada se basó en un Análisis de Decisión Multicriterio mediante un proceso de análisis jerárquico (AHP), haciendo uso de los siguientes factores o capas temáticas: la densidad de drenajes, la pendiente del terreno, la precipitación de lluvia, la permeabilidad de roca y el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI); las cuales permitieron obtener el Índice de Potencial de Aguas Subterráneas. El modelo obtenido fue comparado con los registros de puntos de agua subterránea generada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador; donde se encontró, durante la validación de la eficiencia del método, que el 70% de los puntos de agua subterráneas se ubicaron en zonas favorables, mientras que el 30% de estas, en zonas no favorables.

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el año 2010, Chowdhury et al., en su estudio titulado “Evaluación de aguas subterráneas en Salboni Block, Bengala Occidental (India) utilizando sensores remotos, sistema de información geográfica y técnicas de análisis de decisiones de criterios múltiples” tuvo como objetivo de identificar y evaluar zonas de aguas subterráneas lo realizó utilizando seis capas temáticas (factores) de parámetros exógenos (hidrológicos): geomorfología, pendiente, suelo, densidad de drenaje, recarga y proximidad a cuerpos de agua; y cuatro de parámetros endógenos (subsuperficiales): resistividad del acuífero, espesor del acuífero, geología, profundidad del nivel de agua subterránea; asignándole pesos adecuados que se normalizaron mediante un proceso de jerarquía analítica y técnicas de vectores propios. Luego, los factores se integraron utilizando el software ArcGIS generando así dos mapas potenciales de agua subterránea. Después, el mapa basado en parámetros hidrológicos fue comparado con el mapa potencial de agua subterránea basado en parámetros del subsuelo; resultando en que el primero de los mapas comparados, delimita con una precisión del 59% las posibles zonas de agua; por ende, es

factible de usarse bajo ciertas restricciones. Por último, dicha técnica resulta rentable y provechosa para una primera aproximación ante una evaluación de los recursos de agua subterránea a escala de cuenca o subcuenca.

En el año 2019, Mohammadi et al. en su investigación “Delineation of groundwater potential zones using remote sensing (RS), geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques: a case study in the Leylia–Keynow watershed, southwest of Iran” buscó aplicar una metodología estándar para delimitar las posibles zonas de recursos hídricos subterráneos basados en técnicas integradas de teledetección (RS), sistema de información geográfica (GIS) y un proceso de análisis jerárquico (AHP) en la cuenca de Leylia-Keynow, al suroeste de Irán. Para ello utilizó cinco factores: Densidad de lineamientos, precipitación, litología, pendiente y densidad de drenaje; que se cree influyen en el potencial de almacenamiento de agua subterránea en el área. A cada factor se le asignó un peso apropiado y los pesos se normalizaron a través del AHP. El mapa de prospección de aguas subterráneas obtenido se clasificó como excelente potencial, muy buen potencial, buen potencial, potencial moderado y zona de bajo potencial. Los resultados obtenidos indicaron que solo el 21% (122 km²) del área de estudio exhibe un potencial de agua subterránea pobre, alrededor del 24% (141 km²) se clasificó como de potencial moderado, mientras que la mayoría de las regiones (326 km²) mostraron un potencial de bueno a excelente. Las zonas de potencial bueno a excelente se caracterizan por la mayor densidad de lineamientos, mayor precipitación y tipo de litología como la piedra caliza, mientras que las zonas de potencial de agua subterránea de pobre a moderado se caracterizan por la menor densidad de lineamientos, menor precipitación, tipo de litología de lutitas y margas como, así como pizarra.

En el año 2020, Ahmadi et al. publicaron un estudio titulado “Mapeo de Potencialidad de Agua Subterránea Basado en GIS Usando Modelos AHP y FR en Antalya Central, Turquía” cuyo objetivo principal fue el de delinear posibles zonas de agua subterránea en la provincia central de Antalya, Turquía, utilizando el proceso de jerarquía analítica (AHP) y la relación de frecuencia (FR). Siete capas temáticas, que incluyen litología, pendiente, densidad de drenaje, cobertura/uso de la tierra, densidad de lineamientos, lluvia y profundidad del suelo, se consideraron como factores influyentes para estos modelos. La preparación de todos los

conjuntos de datos geoespaciales se realizó en el entorno GIS y Google Earth Engine. Además, también se probaron algunos portales web relevantes autorizados para obtener los datos espaciales requeridos. Los resultados del análisis de los modelos AHP y FR mostraron que Muratpasa, Kepez y el este de Dosemealti en la parte este del área de estudio se caracterizan por una alta potencialidad de las aguas subterráneas. En contraste, las regiones del sur y del oeste cubiertas por rocas ígneas y otros sedimentos menos permeables, también con pendientes altas y pronunciadas, también fueron seguidas por un potencial de agua subterránea bajo o muy bajo. En consecuencia, los resultados de ambos modelos se evaluaron utilizando la curva operativa del receptor (ROC) y el área bajo la curva (AUC) para la validación. La validación en este estudio confirmó la mayor efectividad de los resultados obtenidos por FR que el modelo AHP.

En el año 2020, Hernández et al., en su artículo de investigación titulado “Identificación de posibles zonas de recarga y descarga de agua subterránea en la cuenca del río Ayuquila-Armería mediante el uso de SIG y el análisis multicriterio”, pretendió identificar áreas con posible descarga y recarga hídrica subterránea en la cuenca del río Ayuquila-Armería en los estados de Jalisco y Colima; para ello, se basó en la técnica del análisis multicriterio (AMC) con la teoría de los sistemas de flujo (TSF). Tomando en cuenta herramientas SIG y el AMC, se pudo identificar zonas con mayor potencial de recarga y descarga a partir de parámetros como: índice topográfico de humedad (ITH), geología, pendiente, suelo, topoformas y vegetación. Las superficies jerarquizadas como áreas de alta potencial de recarga varían entre 21% a 80%, mientras que las de descarga, de 4% a 30%. Las zonas identificadas como áreas de recarga vendrían a ser la sierra de Cacoma-Manantlán, la sierra Verde, la sierra de Quila, la sierra de Tapalpa y el complejo volcánico del Nevado de Colima. Por otra parte, las zonas de descarga se encuentran en las planicies costeras de Jalisco y Colima, en una zona de lagos interiores en San Marcos, Sayula y Zapotlán. Otras zonas de descarga las constituyen las planicies y los valles intermontanos de Unión de Tula y Autlán-El Grullo, así como los fondos de valles en *V* en determinadas zonas de la cuenca.

En 2021, Chonlong y Pacheco desarrollaron una investigación titulada “Estimación de posibles zonas de aguas subterráneas en la cuenca del río Portoviejo mediante análisis jerárquico basado

en sig y teledetección”, el cual tuvo como objetivo identificar zonas con potencial acumulación de recursos hídricos en la cuenca hidrográfica del río Portoviejo haciendo uso del proceso de análisis jerárquico (AHP) y basándose además en técnicas de teledetección y SIG de acceso libre. Para el logro del objetivo se utilizaron múltiples factores siendo los de mayor influencia la permeabilidad de la roca, la precipitación y la densidad de drenaje, así como otros de menor influencia como la pendiente del terreno y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI); a partir de los factores y técnicas aplicadas se obtuvo el índice de potencial de aguas subterráneas (GWPI, según sus siglas en inglés) el cual para su validación fue comparado con datos existentes en el inventario de puntos de agua. En la validación, se obtuvo una efectividad del 87 % para el mapa resultante.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el año 2018, Alarcón en su tesis de investigación titulada “Aplicación de las técnicas de teledetección pasiva para la determinación de aguas subterráneas en la Región Ica durante el periodo 2017 al 2018” tuvo como propósito identificar las potenciales zonas de aguas subterráneas para lo cual tuvo que procesar imágenes satelitales del satélite Landsat 8/LCDM y su correspondiente sensor Operational Land Imager (OLI). La provincia de Ica fue dividida en sus 14 distritos para determinar de forma porcentual la potencial presencia o ausencia de aguas subterráneas. Los factores utilizados para la aplicación del método fueron: los componentes principales, el NDVI, la pendiente y la temperatura. Asimismo, para validar el instrumento de recolección de datos se realizó el juicio de expertos; adicional a ello, se realizaron trabajos de campo en compañía de la población. Y para comparar en mayor amplitud los valores obtenidos fue solicitada la información de pozos de agua subterránea en explotación a la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Como resultado, se obtuvieron que las zonas de la Tinguña, Pachacutec, Parcona, Pueblo Nuevo y San Juan Bautista presentan un 98% de posibles zonas de aguas subterráneas, los Aquijes un 95%, Salas y Ocucaje un 10% cada uno, Yauca del Rosario un 5% y San José de los Molinos solo el 3%; coincidiendo dichos flujos con las áreas de aguas subterránea explotados en la actualidad, así como con lo adquirido a través del sonde eléctrico vertical ejecutado en dicha provincia.

En el año 2018, Díaz elaboró un trabajo de investigación titulado “Análisis multiespectral mediante imágenes satelitales para identificar zonas de recarga hídrica subterránea en la cuenca Jequetepeque”, cuyo objetivo fue hacer uso de las imágenes satelitales LANDSAT 8 Y ÁSTER GDEM pertenecientes a la cuenca Jequetepeque en una extensión de 3 956 km² con el fin de ubicar zonas de recarga hídrica subterránea y comparar dichos resultados con los pozos contabilizados en la tesis de Vargas (2010) y los inventariados por la ANA. Para este fin se descargaron imágenes satelitales Landsat 8, se procesaron dichas imágenes mediante la corrección, unión, obtención de parámetros para el clasificar en árbol como son: temperatura, pendientes, índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), luego de ello se realizaron análisis de parámetros para ingresarlo a un clasificador en árbol para obtener como resultados la ubicación de zonas de recarga hídrica subterránea. Finalmente se concluyó el estudio señalando que, con una certeza aproximada del 94% y en base a los pozos existentes del área de estudio, se pueden identificar zonas de recarga hídrica subterránea haciendo uso de imágenes satelitales.

En el año 2020, Cusquisiban en su tesis titulada “Ubicación de zonas de recarga hídrica usando imágenes Landsat 8 mediante el método de árbol de decisiones en la cuenca del río Chamán, Cajamarca y La Libertad-Perú”, la cual pretendió hacer uso de imágenes LANDSAT 8 y el método del árbol de decisiones para ubicar zonas de recarga hídrica en un área de estudio de 1 569 km² en la cuenca Chamán. Para el logro de su objetivo, hizo uso de instrumentos de recolección de datos como los softwares ArcGIS 10.5 y Envi 5.4, así como de técnicas espectrales con el fin de discriminar distintos tipos de materiales; del cual se obtuvo como resultado la identificación de zonas de recarga hídrica, en la cual se mostró que de 1 021 pozos, que fueron registrados previamente por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), 805 corresponden a la clase recarga hídrica favorable, permitiendo demostrar así, sobre la base de los pozos inventariados en campo por el INGEMMET, una certeza aproximada del 78.8 %, la cual permitiría un mejor aprovechamiento y protección de los recursos hídricos subterráneos.

En el 2020, Portocarrero realizó una investigación cuyo título es “Clasificación del territorio peruano de acuerdo con su potencial de agua subterránea utilizando algoritmos de aprendizaje

automatizado”, que pretendió aplicar modelos de clasificación de redes neuronales y bosques aleatorios, dos algoritmos de aprendizaje automatizado para la exploración del potencial hidrológico subterráneo en territorio peruano, específicamente a acuíferos de profundidad baja. Para ello se valió de diversas variables topográficas: pedológicas, geológicas, hidrológicas y ambientales; las cuales tienen influencia con distinta medida en la tasa de recarga de acuíferos y la conductividad hidráulica subterránea. Como resultado se tuvo que el mejor para la clasificación del territorio peruano acorde con su potencial de aguas subterráneas fue el modelo de bosques aleatorios (exactitud=0.77, puntaje F1=0.73, AUC=0.88) y que la construcción de modelos especializados en una región dada permite mejorar la capacidad de los modelos al reducir la varianza de los datos. Finalmente, el estudio permitió concluir que los variables o factores más relevantes en los modelos fueron: la precipitación, el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI), la densidad de drenaje, la elevación y el aspecto; y además la principal limitante de la investigación fue la distribución irregular y la exigua cantidad de pozos de caudal conocidos en el Perú.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas subterráneas

Aquellas aguas provenientes de las nubes en forma de nieve, granizo, lluvia o cualquier tipo de precipitación, las cuales atraviesan la superficie del suelo llegando hasta los acuíferos (Arce, 2016). Asimismo, también se denominan así al recurso hídrico que se “[...] localiza bajo el nivel freático, en suelos y formaciones geológicas completamente saturadas [...]”. (Fernandez Cirelli et al., 2005, p. 197) Es imprescindible la comprensión de este recurso para la promoción de una gestión integrada de los recursos hídricos a nivel de cuenca.

Su principal fuente de aporte es el agua de lluvia, que se introduce en el suelo a través la infiltración. Otras fuentes locales de abastecimiento pueden ser cuerpos de agua como arroyos, riachuelos, ríos, lagunas y lagos. El agua subterránea se encuentra debajo del nivel freático y satura por completo los espacios porosos y fisuras del subsuelo, emergiendo naturalmente en forma de manantiales, vertientes o fluyendo a través de ríos. Su movimiento en los acuíferos se produce desde áreas de recarga hacia áreas de descarga, con velocidades variables, lo que facilita en determinadas zonas la capacidad de almacenaje de grandes volúmenes de agua (Collazo y Montaña, 2012).

2.2.1.1. Zona de agua subterránea

Zona o área de agua subterránea hace referencia a la probabilidad o posibilidad de encontrar dichas aguas en un área específica del terreno (Chowdhury et al., 2010). Para determinar las áreas de presencia de aguas subterráneas se pueden utilizar métodos tradicionales; sin embargo, “el advenimiento de la teledetección (RS) y el sistema de información geográfica (GIS) ha proporcionado recientemente otro medio eficaz en términos de costo y tiempo para evaluar y administrar los recursos de agua subterránea”. (Mohammadi-Behzad et al., 2019, p. 1)

2.2.1.2. Disponibilidad de las aguas subterráneas en el Perú

En su segundo informe de evaluación del diseño y la ejecución del presupuesto destinado al uso agrario de los recursos hídricos en el año 2015, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) señala que “la disponibilidad del recurso hídrico en el país difiere en las tres cuencas principales. Asimismo, es necesario indicar que no se poseen datos completos sobre la disponibilidad hídrica” (Castro et al., 2015, p. 8). A continuación, en la Tabla 1 se muestran datos respecto a la disponibilidad de agua o recursos hídricos en el territorio peruano.

Tabla 1.*Disponibilidad del recurso hídrico por vertientes hidrográficas en el Perú*

Vertiente hidrográfica	Aguas superficiales*	Aguas subterráneas*	Total*
Pacífico	35632	2849	38481
Amazonas	1719814	Sin datos	1719814
Titicaca	9877	Sin datos	9877
Total	1 765 323	2849	1769

**Datos en millones de metros cúbicos (MMC)*

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego, 2015

2.2.1.3. Acuíferos

Formaciones geológicas que albergan y permiten el flujo de agua. Estos sistemas son sensibles al inadecuado uso del recurso hídricos, por ello un manejo sostenible que implique en primera instancia la identificación y exploración permite su conservación, explotación racional en función a la recarga y renovación existente (Collazo y Montaña, 2012).

2.2.1.3.1. Acuíferos según su textura

Acuíferos de porosidad primaria o poroso

Aquellos constituidos por “[...] formaciones geológicas sedimentarias [...] suelen ser gravas y principalmente arenas, que varían su composición y tamaño en función de su origen geológico” (Collazo y Montaña, 2012, p. 22) que pueden ser eólico, fluvial, lacustre, glacial, etc.

Acuíferos de porosidad secundaria o fisurado

Aquellos formadas por “rocas “duras” de origen ígneo o metamórfico. La porosidad en estos acuíferos viene dada por la presencia de zonas de alteración” (Collazo y Montaña, 2012, p. 22); ya sean fallas, fracturas o diaclasas, las cuales vienen a ser su origen de almacenaje y circulación dependiendo de su apertura y comunicación.

Acuíferos kársticos por disolución

Aquellas compuestas por “rocas de origen carbonático (calizas, margas, dolomías), donde la porosidad (huecos y cavernas) se desarrollan en forma secundaria” (Collazo y Montaña, 2012, p. 22) mediante la disolución del carbonato. En comparación a los acuíferos porosos o fracturados, el agua circula por estos huecos con mayor velocidad.

2.2.1.2.2. Acuíferos según su comportamiento hidrodinámico

Acuífero

Capaces de “almacenar y transmitir el agua (gravas, arenas, materiales calizos, etc.); [...] con capacidad de drenaje alta” (Walsh Peru y Gaseoducto Sur Peruano S.A., 2015, p. 1-2); son las principales fuentes de abastecimiento de agua para consumo.

Acuitardo

Capaces de “almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con dificultad [...] formaciones semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillosas, etc.)” (Walsh Peru y Gaseoducto Sur Peruano S.A., 2015, p. 2); desempeñan un papel importante transmitiendo agua de forma vertical en acuíferos.

Acuicludos

Capaces de “almacenar el agua en grandes cantidades, pero no tienen la capacidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad [...] formaciones impermeables” (Walsh Peru y Gaseoducto Sur Peruano S.A., 2015, p. 2); abundan las arcillas, y limos arcillosos en cuyos poros se almacena agua que no puede ser liberada.

Acuífugos

“Formaciones incapaces de almacenar y de transmitir el agua [...] rocas compactas, como granitos y gneises, [...] calizas muy compactas sin carstificar (Walsh Peru y Gaseoducto Sur Peruano S.A., 2015, p. 2); la única forma de transmisión de agua sería por la formación de fracturas.

2.2.1.2.3. Acuíferos según su comportamiento hidráulico

Acuíferos libres, no confinados o freáticos

Aquellos en los que el límite superior del volumen hídrico se encuentra en contacto con la presión atmosférica del aire en la zona no saturada. La fuente de recarga de estos acuíferos es por infiltración de aguas de ríos, lagos o lagunas o de precipitación a través del suelo (Fornés et al., 2009).

Acuíferos confinados, cautivos o a presión

Aquellos en cuyo límites superior del volumen hídrico, el agua posee una mayor presión que la atmosférica, debido a que la capa confinante (superior) es menos permeable que la capa

confinada (inferior); como en el caso de una capa arenosa bajo otra arcillosa (Fornés et al., 2009).

Acuíferos semiconfinados o semicautivos

Aquellos en los que el límite superior no son del todo impermeables permitiendo el flujo vertical de agua, este se transmite desde o hacia el acuitardo variando de tiempo según los valores de permeabilidad y niveles piezométricos (Fornés et al., 2009).

2.2.1.4. Recarga y descarga hídrica

La recarga hídrica es un proceso natural a causa del agua proveniente de la precipitación, aguas superficiales o trasferidos de otros acuíferos las cuales se infiltran a través del suelo o la roca hacia un acuífero, permitiendo la alimentación de aguas subterráneas. Y al área donde se acumula agua proveniente de una recarga hídrica se le llama zona de recarga (Matus, 2007). La descarga hídrica se refiere a un proceso natural de salida de aguas subterráneas desde el acuífero, atravesando lentamente el manto freático, a la superficie formando manantiales u otras fuentes de agua. Y el área donde ocurre una descarga hídrica se llama zona de descarga. La descarga y recarga de un acuífero a/de un río es un evento común, en el cual el sentido del flujo depende principalmente de la geomorfología zonal y de los volúmenes de agua en el acuífero y/o el río (Faustino et al., 2009, como se citó en Faustino, 2006). La Tabla 2 indica la clasificación de la recarga hídrica:

Tabla 2.

Clasificación de zonas de recarga hídrica

Zonas de recarga hídrica superficial	Zonas de recarga hídrica subsuperficial	Zonas de recarga hídrica subterránea
Aquellas áreas de terreno de una “cuenca hidrográfica, excepto las zonas totalmente impermeables. Después de cada lluvia [...] origina escorrentía superficial (relieve del suelo y saturación)”. (Faustino et al., 2009, p.8)	Aquellas áreas de terreno con “capacidad para retener el agua o almacenarla superficialmente sobre una capa impermeable que hace que el flujo horizontal en el subsuelo se concentre aguas abajo [...]”. (Faustino et al., 2009, p.8)	Aquellas áreas de terreno donde existe una “[...] conexión entre acuíferos y la recarga externa [...] el flujo vertical de la infiltración es significativo [...] alimenta los acuíferos. (Faustino et al., 2009, p.8)

Nota. Adaptado de Faustino et al., 2009

2.2.2.5 Factores que afectan la recarga hídrica

Los factores principales que afectan la recarga hídrica son el clima, el suelo, la topografía, la estratigrafía geológica, la cobertura vegetal y el escurrimiento (Faustino et al., 2009, como se citó en Instituto Nacional de Bosques de Guatemala, 2006):

2.2.2.5.1. Clima

Hace referencia a las condiciones atmosféricas en un determinado lugar, el cual tiene una estrecha relación con la recarga de acuíferos considerando que al disminuir el nivel de precipitación y aumentando los de temperatura, aumentará también la evapotranspiración disminuyendo así la infiltración a los acuíferos (Landa et al., 2008).

Precipitación

Toda forma de nieve, granizo y/o lluvia proveniente de la condensación del vapor de agua a nivel atmosférico, las cuales son imprescindibles para el abastecimiento de agua en el sistema terrestre sobre todo en zonas de escasez de recurso hídrico (Landa et al., 2008).

2.2.2.5.2. Suelo

“[...] los suelos impermeables y compactados impiden o dificultan la infiltración, mientras que los suelos permeables facilitan la recarga”. (Faustino et al., 2009, p. 7) Las propiedades del suelo que influyen en la recarga son el contenido de humedad, la capacidad de infiltración, la textura y densidad aparente.

Uso de suelo/ tierra

Este factor se relaciona con la precipitación filtrada al suelo por tanto es un criterio de relevancia en la formación de aguas subterráneas

[...] en los sitios de construcción, las fugas son raras y [...] la tasa de flujo superficial es mayor [...] los humedales y las masas de agua tienen la puntuación de evaluación más alta. [...] en los ríos, los depósitos aluviales tienen una alta tasa de fuga. Además, la infiltración de agua en el suelo de las áreas agrícolas irrigadas también es alta. De manera similar, hay una alta tasa de fuga en las zonas de plantas, en parte en forma de tierra, porque las plantaciones impiden el flujo superficial. (Çelik, 2019, p. 9)

2.2.2.5.3. Topografía

Son las características de la superficie de una cuenca, que según lo señalado por López et al., (2017), si es fuerte o abrupta produciría muchos sistemas de agua locales, flujos hídricos

cercanos a la superficie y menor infiltración, pero por otra parte otras topografías podrían generarían infiltración o recarga hídrica debido al aumento del tiempo de contacto con la superficie (Faustino et al., 2009).

Pendiente

Es la medida del nivel de inclinación de un terreno o cuenca y te permite indicar infiltración de agua; si es muy baja, hay mayor probabilidad de infiltración que si fuera muy alta, ya que el agua proveniente de precipitación no correría tan rápido.

2.2.2.5.4. Estratigrafía geológica

Llamada así a la disposición de los materiales rocosas en una superficie o cuenca; la acumulación de recarga hídrica puede ser afectado por esta disposición de materiales geológicos en los distintos estratos del suelo (Faustino et al., 2009).

Densidad de lineamientos

Son “características lineales de origen tectónico que se identifican como alineaciones largas, estrechas y relativamente rectas [...] puede representar una falla, una fractura, una articulación principal o una formación geológica larga y lineal”. (Mohammadi-Behzad et al., 2019, p. 5) Estos son indicadores de permeabilidad secundaria el cual a su vez es una tendencia de almacenamiento y movimiento de agua subterránea.

Litología

“Está representado por la distribución de diferentes unidades rocosas que caracterizan un área de estudio”. (Mohammadi-Behzad et al., 2019, p. 7) este factor o variable es de relevancia para el cálculo de la cantidad y calidad de agua subterránea en la cuenca.

2.2.2.5.5. Cobertura Vegetal

Superficie vegetal generadora del proceso de intercepción del agua de precipitación el cual genera una potencial decremento o disminución del agua que se dispondría para la recarga hídrica de los acuíferos (Murillo Díaz, 2004). Esta retarda la escorrentía superficial, posibilita un mayor tiempo de contacto del agua con la superficie facilitando procesos de infiltración (Faustino et al., 2009)

2.2.2.5.6. Esguerrimiento

Aquellas aguas que “en un determinado punto de control ha circulado siempre sobre la superficie del terreno”. (Murillo Díaz, 2004, p. 70) “[...] el agua proveniente de las

precipitaciones forma flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos” (Faustino et al., 2009, p. 8), algunos dirigidos a los cauces de los ríos y otros infiltrados para formar parte de las aguas subterráneas.

Densidad de drenaje

Hace referencia a las distribuciones espaciales de los arroyos en un área de la cuenca; es asimismo una función inversa a la permeabilidad, aquellas áreas que menor densidad de drenaje tengan, mayor capacidad de infiltración tendrán; mientras que las que mayor densidad de drenaje tengan, menor será su infiltración y por ende menor su posibilidad de contener aguas subterráneas (Mohammadi-Behzad et al., 2019).

2.2.2. Teledetección

Según el Instituto Geográfico Nacional (s. f.), la teledetección es una técnica para la adquisición de datos superficiales a partir de sistemas de sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética terreno – sensor genera datos que con el debido procesamiento permiten obtener información interpretable terrestre.

Según lo mencionado por Bravo (2017, como se citó en Chuvieco, 1996), incluye los elementos señalados en la Tabla 3:

Tabla 3.

Elementos de la teledetección

Elemento	Descripción
Fuente de energía	Aquellas que origina la radiación electromagnética que será captada por el sensor del satélite. Puede ser una fuente activa, cuando la radiación tiene su origen por el propio sensor hacia la superficie el cual luego captará el reflejo (radar), o pasiva, cuando es emitida por la luz solar.
Cubierta terrestre	Conjunto de rasgos antrópicos o naturales existentes sobre la tierra (rocas, suelos, vegetación, edificaciones, etc.) que reflejan la radiación hacia el sensor.
Sistema sensor	Aquel conformado por la plataforma (avión, satélite, etc.) y el sensor (cámaras, radar, etc.), cuya función es la de captar energía proveniente de la superficie terrestre, almacenarla y/o enviarla a un sistema de recepción
Sistema de recepción - comercialización	Aquel que recibe los datos procedentes del sistema sensor, la guarda y la distribuye a los potenciales usuarios.

Elemento	Descripción
Interprete	Aquel que transforma los datos en información útil según el objeto de su estudio (ambiente, minería, agricultura, recursos hídricos, etc.) mediante procedimientos y/o técnicas digitales.
Usuario	Aquel favorecido del producto de la conversión de datos, el cual la utiliza para los fines que cree conveniente.

Nota. Adaptado de Bravo, 2017

2.2.2.2. Técnicas de teledetección

Según el Organización Meteorológica Mundial (1994), existen dos técnicas de teledetección usadas en mediciones hidrológicas: métodos pasivos (mediante el análisis de la radiación natural de un objeto) y métodos activos (mediante la emisión de un haz de radiación artificial hacia un objetivo, y el análisis de su respuesta).

2.2.2.2.1. Métodos activos

En este método, la radiación es electromagnética acústica (dispositivos ultrasónicos) o de alta frecuencia (radar). El receptor de radiación se instala sobre el suelo (radar ultrasónico) o la superficie de satélites (radar) o aviones; y es utilizado en su mayoría para la medición de zonas, pero puede también para mediciones puntuales (dispositivos ultrasónicos) (Organización Meteorológica Mundial, 1994).

2.2.2.2.2. Métodos pasivos

En este método es electromagnético y va desde el infrarrojo hasta el violeta (pocas veces el ultravioleta). Se aplican por medio de un analizador multiespectral, que es aerotransportado y en su mayoría previamente instalado en un satélite. La medición con este método se realiza siempre en una zona determinada (Organización Meteorológica Mundial, 1994).

2.2.2.3. Bandas espectrales y espectro electromagnético

Según lo señalado por Díaz (2018, como se citó en Chuvieco, 2010); se denominan bandas espectrales a los segmentos del espectro electromagnético que manifiestan similares comportamientos de frecuencia y longitudes de onda; asimismo, se el espectro electromagnético hace referencia a una distribución u organización de bandas espectrales; es decir, de longitudes de onda que van desde micrométricas (rayos X y Gamma) hasta las kilométricas (telecomunicaciones), a estas últimas se les denomina microondas, y a cada una de estas se les asignan valores de frecuencia que varían de forma inversamente proporcional a las longitudes de onda.

[...] podemos definir cualquier tipo de energía radiante en función de la longitud de onda o frecuencia

Las bandas espectrales muestran el potencial de los satélites para contraer información en rangos del espectro electromagnético y las más utilizadas en teledetección son las siguientes (Alarcón, 2018, como se citó en Chivieco, 1996):

2.2.2.3.1. Principales bandas espectrales

En la Tabla 4 se presentan las principales bandas del espectro electromagnético

Tabla 4.

Principales Bandas del Espectro Electromagnético

Banda Espectral	Descripción
Espectro visible (0.4 a 0.7 μm)	Radiación electromagnética [sic] que puede ser percibida por la vista humana, coincidente con las longitudes de onda donde la radiación solar es máxima. Aquí se diferencian tres bandas espectrales red (0.6-0.7 μm), green (0.5-0.6 μm) y blue (0.4-0.5 μm). (Díaz, 2018, como se citó en Chuvieco, 2010).
Infrarrojo cercano o próximo (0.7 a 1.3 μm)	De relevancia por su capacidad para diferenciar zonas húmedas y masas vegetales; es también llamado reflejado o fotográfico debido a que puede detectarse a partir de películas dotadas de emulsiones especiales (Díaz, 2018, como se citó en Chuvieco, 2010).
Infrarrojo medio (1.3 a 8 μm).	Región del espectro electromagnético [sic] en la que los procesos de emisión a la superficie terrestre y reflexión de la luz solar se mezclan. La primera banda (1.3 y 2.5 μm) es denominada infrarrojo de onda corta y resulta útil para indicar el contenido de humedad en los suelos y en la vegetación. La segunda (aprox. 3.7 μm) es conocida como infrarrojo medio (IRM), y es utilizada para la detección de focos de alta temperatura (volcanes activos, etc.). (Díaz, 2018, como se citó en Chuvieco, 2010).
Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 μm)	Región del espectro electromagnético [sic], el cual discrimina el calor procedente de la mayor parte de las coberturas terrestres. Son microondas con gran importancia debido a que son un tipo de energía transparente a la cubierta [sic] nubosa. (Díaz, 2018, como se citó en Chuvieco, 2010).

Nota. Adaptado de Chuvieco, 2010

2.2.2.4. Sensores remotos

Instrumentos que permiten la recopilación y registro de los valores de radiación proveniente de la superficie terrestre; así como de transformarla en señales susceptible de ser analizados de forma análoga (productos fotográficos) o de forma digital (cintas magnéticas compatibles con ordenador u otros). En otras palabras, detectan señales electromagnéticas (radiación reflejada o emitida) procedentes de la atmósfera o superficie terrestre en determinada frecuencia y longitud

de onda; y de convertirla en una magnitud física a ser tratada y grabada (Cusquisiban, 2020, como se citó en Meijering, 2007)

2.2.2.4.1. Resolución de un sistema de sensor

Resolución espacial

Distancia de la unidad mínima de información en la imagen (píxel); mientras menor sea el tamaño del píxel mayor será la resolución espacial, lo que implica mayor detalle de los objetos de la imagen (Bravo, 2017) Esta resolución permite la definición de la escala topográfica durante la presentación de mapas:

Tabla 5.

Escala del mapa mediante resolución espacial

Resolución espacial (metros)	Escala
1	1: 2 000
5	1: 12 000
10	1: 25 000
20	1: 50 000
30	1: 80 000
1000	1: 1 500 000

Nota. Adaptado de Bravo, 2017

Resolución espectral

Número y ancho de las bandas espectrales que puede ser discriminado por el sensor; mientras mayor resolución espectral, se podrán discriminar mejor el comportamiento de una misma cobertura en diferentes bandas espectrales (Bravo, 2017)

Resolución radiométrica

Gama de valores de brillo disponibles, que se corresponden con mayor alcance de niveles digitales. Indica la medida de bits de la imagen (dígitos binarios); por ejemplo, una imagen con resolución de 8 bits tiene 256 niveles de brillo, es decir cada píxel de esa imagen variará de 0 – 255 tonalidades de gris (Bravo, 2017, como se citó en Richard y Jia, 2006).

$$2^{(\text{número de bits})} = \text{Niveles de grises} \quad (1)$$

Tabla 6.*Número de bits determinando el rango de gris o ND*

Bits	Niveles de gris	Rango
1	2	0 – 1
2	4	0 – 3
3	8	0 – 7
4	16	0 – 15
5	32	0 – 31
6	64	0 – 63
7	128	0 - 127
...		...

Nota. Adaptado de Bravo, 2017**Resolución temporal**

Indica el tiempo necesario para volver a visitar la misma zona de superficie terrestre; es decir, la periodicidad con la que puede ser adquiridas imágenes de la misma porción de la tierra. Esta resolución varía en función al diseño del sensor y las características orbitales de la plataforma (altura, inclinación y velocidad) (Bravo, 2017).

Tabla 7.*Niveles de resolución temporal*

Grado de resolución temporal	Rango
Alta resolución temporal	Menor a 3 días
Media resolución temporal	Entre 4 y 16 días
Baja resolución temporal	Mayor a 16 días

Nota. Adaptado de Bravo, 2017**2.2.2.5. Imágenes satelitales**

En la investigación realizada por Barrera y García (2015) describen a las imágenes satelitales como matrices de píxeles organizadas en filas y columnas. Cada imagen muestra un área geográfica definida e indivisible; el tamaño del pixel según el satélite y tamaño del sensor que tome la imagen. Los valores numéricos de cada pixel representan la media de la cantidad de

energía que la atmósfera y/o superficie reflejan, y esta depende última depende directamente de lo que haya sobre ella: recursos hídricos, vegetación, suelos desnudos, asfaltos, etc.

2.2.2.5.1. Imágenes Sentinel 2

Imágenes multiespectrales globales provenientes del instrumento multiespectral de la Agencia Espacial Europea en el satélite Sentinel-2 (desde 83 grados norte 56 grados de latitud sur) con una resolución de 10 metros cada 10 días (2015-presente). Este satélite adquiere 13 bandas espectrales que van desde longitudes de onda visibles e infrarrojas cercanas (VNIR) a infrarrojas de onda corta (SWIR) a lo largo de una franja orbital de 290 km; la resolución espacial depende de la banda espectral particular y cuenta con 4 bandas a 10 metros: azul (490 nm), verde (560 nm), rojo (665 nm) e infrarrojo cercano (842 nm) (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2017).

Tabla 8.

Distribución de las longitudes de onda en las bandas de la imagen Sentinel 2

Banda	Longitud de onda (um)	Resolución (m)
Banda 1 – aerosol	0.443	60
Banda 2 – azul	0.490	10
Banda 3 – verde	0.560	10
Banda 4 – rojo	0.665	10
Banda 5 – borde rojo 1	0.705	20
Banda 6 – borde rojo 2	0.740	20
Banda 7 – borde rojo 3	0.783	20
Banda 8 – Infrarrojo Cercano 1	0.842	10
Banda 8A – Infrarrojo Cercano 2	0.865	20
Banda 9 – Vapor de agua	0.945	60
Banda 10 - Cirrus	1.375	60
Banda 11 – SWIR 1	1.610	20
Banda 10 - SWIR 2	2.190	20

Nota. Adaptado del Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2017

2.2.2.5.2. Procesamiento de imágenes satelitales

Corrección radiométrica atmosférica

Al descargar una imagen satelital se tiene un conjunto de imágenes (una por banda) que necesitan cierto procesamiento para su uso; y por ello la primera parte de su procesamiento es realizar una corrección radiométrica atmosférica el cual consisten en convertir los niveles digitales, valores recibidos a partir de la energía recibida, a niveles de reflectancia (valores físicos absolutos), es decir asemejar la imagen como si hubiera sido tomada al tope de la atmósfera, sin efectos de dispersión por parte de esta, y además removiendo los diferentes ángulos de incidencia de la energía del sol (Reddy, 2008).

Apilación o combinación de bandas

Proceso que permite unificar todas las imágenes descargadas de una imagen satelital y así obtener una sola que permita realizar las combinaciones de bandas respectivas y obtener una imagen en los espectros visible e infrarrojo. Resaltar que, no todos los sensores tienen la misma cantidad de bandas para ser apiladas y que este procedimiento varía según el sensor que se esté empleando (Congedo, 2013).

Reproyección

Debido a que para la mayoría de las fuentes de imágenes satelitales se utilizan servidores estadounidenses, estas vienen proyectadas en el Sistema UTM zona norte, y en caso su área de estudio esté ubicado en una zona sur, como es el caso del territorio peruano, es de gran importancia la reproyección de la imagen combinada a la zona adecuada, en este caso la zona sur. De ser el caso del área de estudio ubicada en la zona norte, este paso deberá ser omitido (Reddy, 2008).

Composición de bandas

Hace referencia a la acción de representar una imagen que está compuesta por la combinación de 03 diferentes bandas del sensor y definidas cada una en los tres canales de proyección de pantalla: Rojo (R), Verde (G) y Azul (B) (Congedo, 2013). Esta composición puede ser utilizada para distintos tipos de análisis y estudios de la superficie de la tierra y en diferentes campos como podemos ver a continuación en la Tabla 9:

Tabla 9.*Principales combinaciones de las bandas del satélite Sentinel 2*

Combinación RGB	Aplicación principal/Descripción
4 3 2	Color real/ natural (visión humana)
8A 4 3	Color Infrarrojo, similar a la tradicional fotografía aérea. Fenología de cultivos, vegetación, patrones de suelos y monitoreo de drenajes.
8A 11 4	Diferenciar tierra / agua y para destacar áreas de bosque.
11 8A 4	Vegetación.
12 8A 3	Natural con remoción atmosférica
12 8A 4	Combinación de infrarrojos.
12 11 4	Formaciones rocosas o áreas urbanas
12 11 8A	Estudios geológicos y análisis de humedad en suelos (penetración atmosférica)
12 4 2	Geología/ Permite destacar elementos geológicos.
11 8A 2	Agricultura
8A 11 2	Vegetación saludable.
2 11 12	Nube y nieve.

Nota: Adaptado de Bravo, 2017, p.85

2.2.5.6. Modelo de elevación digital (DEM)

De acuerdo con Felicísimo (s. f.), los modelos de elevación digital son definidos como:

[...] una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno [...] De forma general, la unidad básica de información en un MDE es un valor de altitud, z , al que acompañan los valores correspondientes de x e y , expresados en un sistema de proyección geográfica para una precisa referenciación espacial. (p. 12)

Las estructuras de mayor interés para la gestión de datos de los modelos de elevación digital son los señalados en la Tabla 10:

Tabla 10.*Estructuras para el almacenamiento de DEM*

Vectoriales	CONTORNOS	SECUENCIAL: líneas almacenadas como cadenas de cotas.
		ANALÍTICA: líneas almacenadas como segmentos de polinómicos
	PERFILES	Cadenas paralelas de cotas en línea con altitud variable.
RASTER	TRIÁNGULOS	Red de triángulos irregulares (TIN).
	MATRICES	REGULARES: cotas sobre malla cuadrada de equidistantes columnas y filas.
		ESCALABLES: cotas asignadas a teselas poligonales regulares.
	POLÍGONOS	Cotas asignadas a teselas poligonales regulares (triángulos o hexágonos).

Nota. Adaptado de Felicísimo s. f., p.13.

2.2.5.6.1. Datos de elevación ALOS PALSAR DEM

De acuerdo con (Alaska Satellite Facility [ASF], s. f.) PALSAR fue uno de los tres instrumentos del Advanced Land Observing Satellite-1 (ALOS), también conocido como DAICHI, desarrollado para contribuir a los campos de mapeo, observación precisa de la cobertura terrestre regional [...] ALOS fue una misión de la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) [...] La calidad de un producto ALOS PALSAR RTC está directamente relacionada con la calidad del modelo digital de elevación (DEM) utilizado en el proceso de corrección radiométrica del terreno (RTC) [...] ASF ha producido productos con resoluciones de 12,5 m y 30 m para las áreas indicadas en el mapa. (parr. 1)

2.2.5.6.2. Procesamiento de Modelo de Elevación Digital (DEM)

Creación de un mosaico

Mayormente el área de estudio está conformado por una cuenca de gran extensión, como en este caso la cuenca del tambo y para ello se requieren descargar varias cuadrículas de DEM unir cada una de estas para poder tener una imagen que contenga completamente al área de estudio (Reddy, 2008).

Relleno de píxeles vacíos

Luego de ello, se tendrán espacios de color blanco que hacer referencia a píxeles vacíos, sin ningún valor de altitud, para ello se tendrá que utilizar un método de interpolación para asegurarse de que todos los píxeles tenga un valor que represente su nivel de altitud sobre el nivel del mar (Reddy, 2008).

Reproyección

De la misma forma que en el caso anterior, debido a que para la mayoría de las fuentes de DEM se utilizan servidores estadounidenses, estas vienen proyectadas en el Sistema UTM zona norte, y en caso su área de estudio esté ubicado en una zona sur, resulta importante la reproyección del DEM a la zona adecuada, en este caso la zona sur. De ser el caso del área de estudio ubicada en la zona norte, este paso deberá ser omitido (Reddy, 2008).

2.2.3. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

El National Center for Geographic Information and Analysis de Estados Unidos lo define como un “Sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión”. (Junta de Castilla y León, 2009, p.46)

Se llama también SIG al conjunto de “programas de ordenador capaces de, no solo permitir la visualización [SIG], consulta e impresión [SIG] de los mapas, sino además [SIG] realizar operaciones de análisis [SIG] como superposiciones vectoriales o álgebra de mapas”. (Macebo et al., 2008, p. 8)

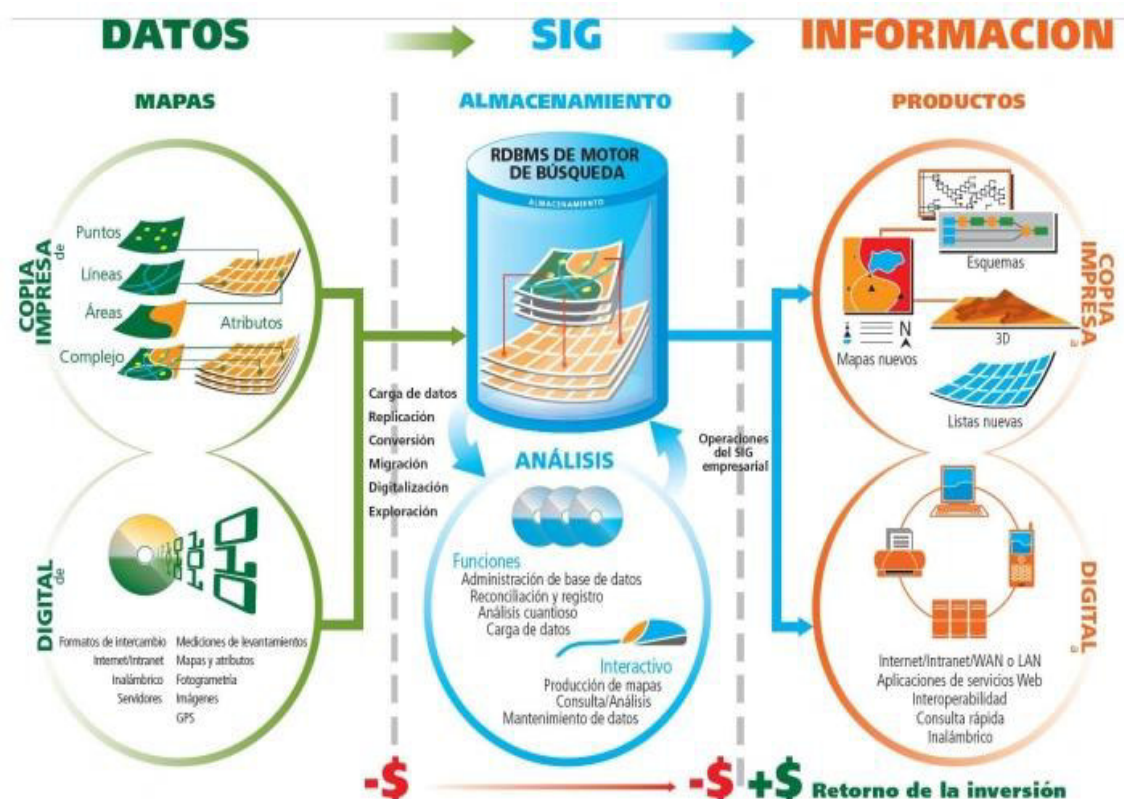
Cabe destacar también la definición de Anhelía y Mori (2020, como se citó en Tomilson, 2007) el cual hace referencia al SIG como un modelo que:

convierte los datos, mediante análisis, en información útil [...] almacenan datos espaciales que contienen información de atributos vinculados lógicamente [...] en una base de datos de almacenamiento de SIG, donde las funciones analíticas son controladas interactivamente por un grupo de profesionales para generar los productos de información necesarios. (p. 19)

En la Figura 1 se muestran las partes de un SIG, así como la relación entre ellas.

Figura 1.

Partes de un SIG



Nota. Tomado de Anhelía y Mori, 2020

2.2.3.1. Aplicaciones del SIG

Los campos de aplicación de los sistemas de información geográfica “es muy amplio, pudiendo utilizarse en cualquier actividad con un componente espacial, tales como, catastro, planificación urbana, gestión de recursos naturales, planificación comercial, rutas de transporte, evaluación de impacto ambiental, estudios demográficos, gestión de riesgo de desastres, entre otros” (Anhelía y Mori, 2020, p. 20)

Y en lo referente al uso de SIG en la gestión de recursos hídricos, la Organización Meteorológica Mundial (1994) nos menciona:

Los sistemas de información geográfica (SIG) se aplican ampliamente en los campos de la hidrología operativa y la evaluación de los recursos hídricos. Muchos aspectos de recolección e interpretación de datos pueden ser facilitados por medio de SIG empleados en microcomputadoras [...] Los métodos de los SIG pueden incorporarse en modelos

hidrológicos para extraer y formatear datos distribuidos de una cuenca. En el futuro, estos métodos permitirán relacionar efectivamente modelos atmosféricos (modelos de circulación global) con modelos hidrológicos. Usados junto con bases de datos digitales sobre el terreno, completan la representación fisiográfica e hidrológica de la cuenca. (p. 578)

2.2.4. Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

Según Anchelía y Mori (2020, como se citó en Toskano, 2005) hace referencia al Proceso de Análisis Jerárquico, como un método introducido Thomas L. Saaty que:

consiste en la jerarquización de procesos dependiendo de una evaluación multicriterio para lograr un óptima de decisiones [...] se utiliza cuando existe una serie de opciones donde se tiene que priorizar algunas de estas y consecuentemente tomar la más conveniente de todas. Estas decisiones, como bien lo menciona, puede variar en su complejidad, desde ser simples decisiones personales de índole cualitativa, hasta decisiones muy complejas y netamente cuantitativa. Siendo el resultado del AHP, una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión. (p. 20 – 21)

Las funciones básicas que son los pilares del método corresponden a:

2.2.4.1. Estructuración jerárquica

[...] se descompone una meta u objetivo en factores más simples, es decir, un problema se descompone en subproblemas, los cuales están relacionados directamente con el problema inicial, y al lograr la solución de los subproblemas y manteniendo la relación existente entre ellos, se consigue la solución del problema inicial. (Osorio y Orejuela, 2008, p. 248)

2.2.4.1.1. Jerarquías estructurales

Según Saaty (2014):

los sistemas complejos están estructurados en sus partes constitutivas en orden descendente, de acuerdo con propiedades estructurales tales como tamaño, forma, color, o edad. Una jerarquía estructural del universo descendería desde las galaxias a las constelaciones a los sistemas solares a los planetas, etc. hasta los átomos, núcleos, protones y neutrones [...] se relacionan estrechamente con la forma en que nuestros

cerebros analizan la complejidad descomponiendo los objetos percibidos por nuestros sentidos en grupos, subgrupos e incluso grupos más pequeños. (p. 65)

2.2.4.1.2. Jerarquías funcionales

De acuerdo a lo indicado por Saaty (2014):

las jerarquías funcionales descomponen los sistemas complejos en sus partes constituyentes, de acuerdo con sus relaciones esenciales. Un conflicto sobre el traslado de los escolares en ómnibus a colegios fuera de su zona, para favorecer la integración racial en las escuelas públicas a fin de lograr la integración, se pueden estructurar en un grupo donde se incluya a los principales interesados (comunidades mayoritarias y minoritarias, funcionarios de la ciudad, consejo de educación, gobierno federal); un grupo de objetivos de los interesados (educar a los niños, retener poder y otros por el estilo) y resultados alternativos (traslado de los escolares completo, parcial o inexistente). Dichas jerarquías funcionales ayudan a la gente a conducir un sistema hacia un objetivo deseado -como la solución de los conflictos, un desempeño eficiente o la felicidad total. (p. 66)

2.2.4.2. Medición de escalas

“Podemos inventar una escala para medir cualidades intangibles, de la misma manera que se han inventado escalas para medir las cualidades física”. (Saaty, 2014, p. 54)

El AHP puede ser aplicado en diferentes campos por su gran flexibilidad, la cual se debe a su capacidad de medir factores tanto subjetivos como objetivos a partir de estimaciones verbales, numéricas o gráficas [...] este método posee una escala general, clara y con una gran amplitud de comparaciones que facilita su aplicación en diferentes situaciones y su utilización por los tomadores de decisiones. (Osorio y Orejuela, 2008, p. 249)

La escala fundamental para la comparación por pares es mostrada en la Tabla 11.

2.2.4.3. Síntesis

El método AHP está enfocado en el sistema en general y en la obtención de la solución del problema en su totalidad, por lo tanto, se podría concluir que es totalmente sistémico. A pesar de la descomposición jerárquica, el método no deja de centrarse en el objetivo general y las interdependencias entre los conjuntos de factores, criterios y alternativas. (Osorio y Orejuela, 2008, p. 249)

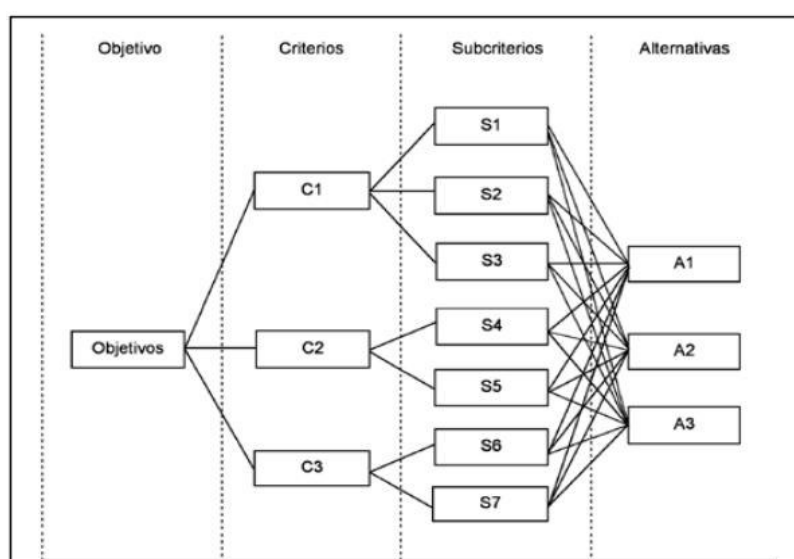
2.2.4.4. Etapas del proceso de análisis jerárquico

2.2.4.4.1. Estructuración jerárquica y determinación de factores

En la primera etapa “los tomadores de decisiones implicados deben desglosar el problema y sus componentes principales en partes. Los pasos para obtener la estructuración del modelo jerárquico son: (i) definición del objetivo, (ii) identificación de criterios, (iii) identificación de subcriterios y (iv) identificación de alternativas” (Berumen y Llamazares, 2007, p. 71). La figura 2 muestra gráficamente lo señalado anteriormente:

Figura 2.

Modelo jerárquico para la toma de decisiones



Nota. Tomado de Berumen y Llamazares, 2007

La **definición del objetivo** es una declaración de algo que uno desea alcanzar. El objetivo está en un nivel independiente del resto de los elementos (criterios, subcriterios y alternativas), que contribuyen a su consecución. La **identificación de criterios y subcriterios** constituye los puntos de vista considerados importantes para la resolución de un problema o la consecución de un objetivo. Este proceso es la base para la toma de decisiones, que puede ser medida o evaluada y expresará las preferencias de los implicados. La **identificación de alternativas** corresponde a propuestas posibles o viables mediante las cuales se podrá alcanzar el objetivo general. (Berumen y Llamazares, 2007, p. 71)

Para finalizar la primera etapa, se determinan los factores o componentes que son determinantes para la solución del problema, lo cual permitirá elaborar la estructura jerárquica básica del problema.

2.2.4.4.2. Comparaciones pareadas

Después de determinar los componentes del problema:

[...] el AHP trata directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión [...] la evaluación de los diferentes criterios depende del juicio especialista, ya sean cuantitativos o cualitativos. Estos se realizarán utilizando la escala fundamental de comparación de pares (Tabla 1). Donde se establecen primordialmente valores de calificación 1, 3, 5, 7 y 9; mientras que los valores 2, 4, 6 y 8 son valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre las dos intensidades anteriores. (Anchelía y Mori, 2020)

La escala de comparaciones pareadas se muestra en la Tabla 11 a continuación:

Tabla 11.

Escala fundamental de comparación por pares

Escala numérica	Escala verbal
1	Ambos criterios o elementos son de igual importancia
3	Débil o moderada importancia de uno sobre el otro
5	Importancia esencial o fuerte de un criterio sobre el otro
7	Importancia demostrada de un criterio sobre otro
9	Importancia absoluta de un criterio sobre otro
2	Entre igual y moderadamente preferible
4	Entre moderada y fuertemente preferible
6	Entre fuerte y extremadamente preferible
8	Entre muy fuerte y extremadamente preferible

Nota. Tomado de Saaty, 1994

Con el fin de trabajar con los datos resultantes en cada una de las evaluaciones de pares, se hace uso de la matriz de comparaciones pareadas ejemplificado en la ecuación 2. Sea:

A una matriz $n \times n$, donde $n \in \mathbb{Z}^+$. Sea a_{ij} el elemento (i, j) de A, para $i = 1, 2, \dots, n$, y, $j = 1, 2, \dots, n$. Decimos que A es una matriz de comparaciones pareadas de n alternativas, si

a_{ij} es la medida de la preferencia de la alternativa en el renglón i cuando se le compara con la alternativa de la columna j . Cuando $i = j$, el valor de a_{ij} será igual a 1, pues se está comparando la alternativa consigo misma (Toskano, 2005, p.27-27)

$$A = (1 \ a_{12} \ \cdots \ a_{1n} \ 1/a_{12} \ 1 \ \cdots \ a_{2n} \ \vdots \ \vdots \ \vdots \ 1/a_{1n} \ 1/a_{12} \ \cdots \ 1) \quad (2)$$

2.2.4.4.3. Sintetización

Lo siguiente en el proceso de análisis jerárquico es la sintetización, etapa en la que se establece el orden de prioridades respecto de cada uno de los factores, requiriendo para ello unas operaciones matemáticas entre los vectores y valores mostrados en la matriz; denominando al resultado final “vector de prioridades” (Saaty, 2014).

Este proceso se realiza con la sumatoria de los valores de cada columna de la matriz de comparaciones pareadas. Posteriormente se divide cada elemento de la matriz, entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada. Luego se calcula el promedio de los elementos de cada fila de la matriz de comparaciones pareadas normalizada. Los valores resultantes corresponden a el “peso” que tiene cada factor. El orden de prioridad es determinado del mayor al menor valor de los “n” promedios obtenidos. (Anchelía y Mori, 2020, p. 24)

Matriz de prioridades

Es llamada así, a aquella matriz que resume las prioridades de cada una de las alternativas en función al criterio. Dicha matriz puede ser visualizada gráficamente en la ecuación 3 (Toskano, 2005).

$$\begin{array}{ccccccc} & \text{Factor 1} & \text{Factor 2} & \vdots & & & \\ \text{Factor } n & (\text{Criterio 1} & \text{Criterio 2} & \cdots & \text{Criterio } m & w_{11} & w_{21} \ \cdots \ w_{1m} & w_{21} & w_{22} \ \ddots & w_{2m} & \vdots & \cdots & \vdots \\ & & & & & w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nm}) & & & & \end{array} \quad (3)$$

En la cual w_{ij} responde a la prioridad de la alternativa i respecto al criterio j , para $i= 1, 2, \dots, n$; y $j= 1, 2, \dots, m$.

Prioridad global

Finalmente, la matriz de prioridades se multiplica con el vector de prioridades para obtener la prioridad global para cada alternativa de decisión. Este priorización se resumen en el vector columna (Toskano, 2005).

$$\begin{pmatrix} w_{11} & w_{21} & \cdots & w_{1m} & w_{21} & w_{22} & \ddots & w_{2m} & \vdots & \cdots & \vdots & w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w'_1 & w'_2 & \vdots & w'_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} wg_1 & wg_2 & \vdots & wg_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

Donde w_{gi} es la prioridad global (respecto a la meta global) de la alternativa i ($i = 1, 2, \dots, n$).

2.2.4.4.4. Relación de consistencia

La jerarquización o juicios de valor utilizados en las comparaciones y relaciones entre pares de factores pueden presentar ciertas inconsistencias; ya sea por tener carácter subjetivo o por provenir de distintas opiniones expertas, por lo que se hace necesario la determinación de la calidad de la consistencia de estos (Anchelía y Mori, 2020)

Según lo señalado por Saaty (2014):

La consistencia es perfecta si todos los juicios se relacionan entre sí de manera perfecta. Si se dice que uno prefiere tres veces más la primavera que el verano y que prefiere dos veces más el verano que el invierno, cuando se emite el juicio para comparar su preferencia de la primavera con respecto al invierno, para ser consistente el juicio debe ser 6 y ningún otro (p. 44)

Esta relación expresa en términos matemáticos la coherencia de los juicios de valor emitidos “[...] Si el grado de consistencia es aceptable, puede continuarse con el proceso de decisión. Si [...] es inaceptable, quien toma las decisiones debe reconsiderar y posiblemente modificar sus juicios sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el análisis” (Toskano, 2005, p. 30).

Una matriz A es perfectamente consistente, siempre y cuando produzca una matriz normalizada N ($n \times n$), de elementos a_{ij} , donde todas las columnas son idénticas, tales como $a_{12} = a_{13} = \dots = a_{1n} = a_1$; siendo esta condición la que se repita en todas las filas de la matriz N . Por lo que la matriz de comparación correspondiente A , se puede determinar a partir de N , dividiendo los elementos de la columna i entre a_{ij} , el cual es el proceso inverso de determinación de N a partir de A). (Anchelía y Mori, 2020, p. 25-26)

$$\begin{pmatrix} 1 & a_1/a_2 & \cdots & a_1/a_n & a_2/a_1 & 1 & \ddots & a_2/a_n & \vdots & \cdots & \vdots & a_n/a_1 & a_n/a_2 & \cdots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \vdots & a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} na_1 & na_2 & \vdots & na_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \vdots & a_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

Donde a partir de las operaciones se concluye que la consistencia de A es dada cuando $AW = nW$ o bien, $(A - n)W = 0$. Este es un sistema de ecuaciones lineales homogéneas. Si y solo si el determinante de $A - n$ desaparece, n es un valor propio de A y W es su vector propio; resulta que n es el valor propio máximo y las entradas de w que son las prioridades que queremos, son siempre positivas. (Anchelía y Mori, 2020, p. 26)

$$\begin{pmatrix} 1 & a_1/a_2 & \cdots & a_1/a_n & a_2/a_1 & 1 & \ddots & a_2/a_n & \vdots & \cdots & \vdots & a_n/a_1 & a_n/a_2 & \cdots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \vdots & a_n \end{pmatrix} = n_{\text{máx}} \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \vdots & a_n \end{pmatrix} \quad (6)$$

Donde se infiere que, cuando $n_{\text{máx}}$ sea más cercano a n , mayor será la consistencia de la matriz A; por lo que la razón de consistencia (RC), se calcula como el cociente entre el índice de consistencia de la matriz (IC) y el índice de consistencia aleatorio (IA). (Anchelía y Mori, 2020, p. 26)

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (7)$$

Siendo IC calculado como:

$$IC = \frac{n_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (8)$$

El $n_{\text{máx}}$ se determina primero calculando el vector columna A, para luego sumar sus elementos. Para el caso de valor del índice de consistencia aleatorio fueron considerados los valores predeterminados a partir de un análisis de regresión, donde se generaron diferentes IA obtenidos para diferentes “n” provenientes de más de 1 000 000 de matrices (Aguarón y Moreno-Jiménez, 2003). El resultado de los IA predeterminados se muestra en la Tabla 12:

Tabla 12.

Valores del Índice Aleatorio respecto a la cantidad de subcriterios “n”

“n”	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

Nota. Adaptado de Aguarón & Moreno-Jiménez, 2003.

Finalmente, una vez obtenido el valor de la relación de consistencia, este valor se encontrará en un rango entre 0 y 1. Si el valor supere el 0.1, la recomendación el juicio sería inconsistente; sin embargo, si resulta menor a 0.1, indicaría una razonable consistencia (Aguarón y Moreno-Jiménez, 2003).

2.2.4.4. Ventajas y desventajas

Ventajas (Toskano, 2005)

- Permite analizar un problema, desglosándolo por partes para una adecuada solución.
- Posibilita la medición de criterios cualitativos y cuantitativos bajo una misma escala
- Uso sencillo y permite que su solución se complemente con modelos matemáticos para ser optimizado.
- Permite verificar la relación de consistencia, y de ser el caso realizar las correcciones correspondientes
- Incluye la participación de diversos grupos de interés y actores multidisciplinares para un consenso en la jerarquización de criterios

Desventajas (Saaty, 2014)

- La estructura jerárquica puede en algunos casos no ser adecuadamente diseñada y no considerar los factores adecuados para una investigación, con ello los pesos de los criterios podrían distorsionarse, es por ello por lo que se requiere cierta especialización para ello.

2.3. Marco conceptual

2.3.1 Términos ligados al software ArcGIS

ArcGIS

Es un software de Sistemas de Información Geográfica utilizado para el análisis de datos espaciales creado y comercializado por Environmental Systems Research Institute (ESRI) el cual consta de tres (03) componentes principales: ArcMAP, para la cartografía, análisis y edición espacial; ArcCatalog, para el acceso y manejo de la geodata y ArcToolbox, para el geoprocésamiento (Baroja et al., 2020).

Shapefile

Es un formato que almacena data vectorial de ESRI conteniendo la ubicación, forma y los atributos de entidades geográficas. Se utiliza en muchos software SIG y la forma de que sean compartidos y disponibles en comprimiéndolos en un archivo .zip que contendrá al menos los archivos .shp, .shx, .dbf y .prj del shapefile (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2022)

Merge

Herramienta que combina diversos datos vectoriales (punto, línea o polígono) llamados datasets de entrada en un único dataset de salida; para que la unión resulte válida, las entidades deberán tener el mismo tipo de geometría (ESRI, 2022).

Clip

Herramienta utilizada para recortar una parte de una entidad o más entidades o datos vectoriales (punto, línea o polígono) haciendo uso de otra como molde. Resulta muy útil para la delimitación de un área de estudio o interés (ESRI, 2022).

Line Density

Herramienta usada para calcular un área de magnitud por unidad partiendo de entidades polilínea encontradas dentro de un radio alrededor de una celda (ESRI, 2022).

Mosaic to New Raster

Herramienta que une o combina diversos datasets ráster para formar un mosaico de ráster de salida, para una eficiente unión, todos los ráster deberían tener igual número de bandas, así como el mismo sistema de referencias geográficas o proyectada (ESRI, 2022).

Extract by mask

Herramienta utilizada para extraer las celdas de un ráster que se encuentran dentro de un área definida por una máscara. Este nuevo ráster de salida conserva todos los atributos del ráster de entrada (ESRI, 2022).

Slope

Esta herramienta es utilizada para identificar la pendiente (gradiente o inclinación) de cada celda de un ráster, específicamente de un modelo de elevación digital. Los valores de salida pueden tener 02 tipos de unidades de medida: valores en grados (°) de 0 a 90, o valores en porcentaje donde una superficie plana es 0% y una superficie de 45° es 100% (ESRI, 2022).

Kriging

Es un método de interpolación el cual a partir de un procedimiento geoestadístico genera una superficie raster estimada a partir de puntos dispersados interna o cercanamente externos a una superficie (ESRI, 2022).

Reclassify

Es una herramienta utilizada para cambiar los valores de un Raster otorgando un valor a un rango de valores del Raster establecido por el usuario (ESRI, 2022).

Natural Breaks

Método de clasificación de archivos Raster en la cual las clases se basan en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. Las rupturas de clase se crean de manera que los valores similares se agrupan mejor y se maximizan las diferencias entre clases (ESRI, 2022).

Polygon to Raster

Herramienta que transforma entidades poligonales en archivos Raster a partir de un campo asignado del cual el Raster obtendrá sus valores de salida (ESRI, 2022).

Add XY Data

Herramienta que transforma datos tabulares, principalmente en formato .csv, y agrega dicha data georeferenciada por medio de un capa basada en esa clase de entidad (ESRI, 2022).

Raster to Polygon

Herramienta que transforma datos raster en formatos vectoriales, específicamente polígonos; el parámetro campo de esta herramienta te permite escoger el atributo del raster que será también atributo de la entidad de salida (ESRI, 2022).

Export Data

Herramienta utilizada para convertir las entidades seleccionadas de un archivo (una parte del total) en un nuevo archivo que solo contenga datos de las entidades seleccionadas (ESRI, 2022).

Select by feature

Herramienta que permite la selección de entidades en función a su relación de ubicación (intersección, dentro de, completamente dentro, fuera de, a cierta distancia de, etc.) con entidades de otra capa (ESRI, 2022).

2.3.2 Términos ligados al software QGIS

QGIS

Es un software de Sistema de Información Geográfica de código abierto nacido en el año 2002, el cual tiene como objetivo permitir el análisis de datos espaciales al alcance de cualquier usuario de un computador personal (Baroja et al., 2020).

Raster

Hace referencia a una matriz de píxeles o celdas organizadas en filas y columnas, donde cada celda posee un valor respecto a una entidad geográfica (precipitación, temperatura, altitud, etc.) (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2022).

DOS1 Atmospheric Correction

Es una herramienta propia del QGIS y del complemento Semi-Automatic Classification Plugin para realizar una corrección atmosférica basado en imágenes, y parte de que los algunos de los píxeles de las imágenes satelitales están en sombra completa y sus radiancias recepcionadas se deben a una dispersión atmosférica, ante ello DOS1 Atmospheric Correction supone una reflectancia mínima del 1% para reflejar mejor la reflectancia en la superficie terrestre (Congedo, 2017).

Create Raster or Band Set (Stack band)

Herramienta propia del QGIS que combina imágenes monocromáticas (de un solo color) individuales, en donde a cada una de ellas se les asigna un color determinado. El resultante es un compuesto de color útil para diferentes interpretaciones fotográficas. Generalmente está conformado por: Br: número de banda asociado al color Rojo; Bg: es el número de banda asociado al color Verde y Bb: número de banda asociado al color Azul (Congedo, 2017)

Clip Raster by Mask Layer

Herramienta propia del QGIS, en el cual realiza un recorte de un ráster a partir de una máscara de tipo vectorial. El nuevo ráster de salida conserva los atributos del ráster de entrada (Dassau et al., 2022)

Merge

Herramienta propia del QGIS usada para fusionar capas raster de forma sencilla, para ello todas las imágenes deberían tener el mismo sistema de coordenadas (Dassau et al., 2022).

Training Input y ROI Polygon

Training Input hace referencia a una herramienta propia del complemento SCP del QGIS que “permite la creación del archivo de entrada de entrenamiento (.scp) que se requiere para almacenar ROI y firmas espectrales para la clasificación de imágenes”; mientras que los ROI señalan áreas de interés o polígonos que van a definir firmas espectrales (Congedo, 2017).

Panel SCP Dock

Hace referencia a un panel de herramientas proveniente del complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) que contiene una serie de comandos o herramientas que facilitan la clasificación supervisada de imágenes satelitales (Congedo, 2017).

2.3.3 Términos transversales

Carta Nacional

Hacen referencia a documentos que representan elementos naturales dentro de un territorio nacional de manera georeferenciada. En Perú existen 501 Cartas Nacionales con información valiosa para ser procesada en distintos softwares SIG (HIDRO SM, 2022).

Datum

Es el punto de referencia u origen en la superficie terrestre el cual definirá un sistema de referencia de coordenadas y sobre los cuales las medidas de posición serán tomadas (Macebo et al., 2008).

Elipsoide WGS84

Forma geométrica resultante de girar una elipse alrededor de su eje, el cual al ajustarse al datum reproducirá óptimamente la superficie a representar. El elipsoide WGS84 es uno de los más utilizados mundialmente para la representación cartográfica (Macebo et al., 2008).

Producto PISCO

El producto Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO) es el resultado de procesamiento en conjunto de múltiples datos de estaciones climatológicas, y productos satelitales de estimación de precipitación del cual se obtiene una base de datos grillada con alta resolución espacial (5x5 km) que registra datos desde enero de 1981 (Aybar et al., 2017).

RStudio y R

Es el principal entorno de desarrollo integrado de R, lenguaje de programación con enfoque estadístico y gráfico. Se basa en la recepción de una serie de instrucciones de forma ordenada, por parte del usuario (programador), para el análisis, procesamiento y visualización de datos (Fuquen y Vargas, 2021).

Semieje menor, mayor y achatamiento

El semieje mayor hace referencia al eje polar de la superficie terrestre; mientras que el semieje menor, al eje ecuatorial; por otra parte, el achatamiento hace referencia a la forma achatada que tienen los polos sur y norte de la esfera terrestre (Macebo et al., 2008).

Sistema de Referencia

Es llamado así a un estándar que precisa la posición de un punto. En cartografía se emplean dos sistemas principales: los sistemas proyectados, que son de tipo plano; y los sistemas geodésicos, que son de tipo polar. En el sistema geodésico, la posición es definida por medio de la longitud, latitud y altitud; mientras que en el proyectado, el punto se define usando las coordenadas este y norte (Macebo et al., 2008).

Tabla dinámica

Herramienta avanzada del Microsoft Excel para calcular, resumir y analizar datos que permite visualizar comparaciones, patrones y tendencias en ellos. Funcionan de forma distinta dependiendo de la plataforma que use para ejecutar Excel. (Microsoft 365, 2022)

Clasificación Supervisada

Es un tipo de clasificación en el cual se crean muestras de entrenamiento que permite, a partir de una imagen satelital procesada, obtener clases de cobertura terrestre como: vegetación, suelo, área urbana, cuerpo de agua, etc. (Congedo, 2017).

CAPÍTULO III. VARIABLES

3.1. Operacionalización e identificación de variables

3.1.1. Identificación de variables

Tabla 13.

Clasificación de las variables

	Variables	Zonas de Aguas subterráneas	Proceso de Análisis Jerárquico
	Independiente		X
Por su función	Dependiente	X	
	Interviniente		
Por su naturaleza	Cualitativa	X	
	Cuantitativa		X
Por su escala de medición	De intervalo		X
	De razón/ proporción		
Por sus valores	Dicotómica	X	
	Polinómica		X

3.1.2. Operacionalización de variables

Tabla 14.

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
Aguas subterráneas	Son aguas provenientes de las nubes en forma de llovizna, lluvia, granizo, nieve, entre otras; las cuales se filtran a través del suelo llegando a los acuíferos (material rocoso saturado de agua) mediante un proceso llamado recarga hídrica (Arce, 2016). Según Faustino et al. (2009) las variables o factores que intervienen en el proceso de generación de aguas subterráneas son: el clima, la cobertura vegetal, el escurrimiento, los estratos geológicos y la topografía.	Aguas situadas en los acuíferos que puede ser determinadas en los mapas de zonificación de aguas subterráneas luego de haber aplicado técnicas de Teledetección, SIG, así como un proceso de análisis jerárquico a un conjunto de variables o factores ambientales y geológicos.	Escurrimiento	Densidad de drenaje	Modelo de elevación digital de la Misión topográfica Radar Shuttle	km/km ²
			Estratos geológicos	Densidad de lineamientos	Shapefile del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	km/km ²
				Geología		Adimensional
			Topografía	Pendiente	Modelo de elevación digital ALOS PALSAR RTC	° (grados)
			Clima	Precipitación acumulada	Registro de datos de estaciones meteorológicas	mm/mes
			Uso de Suelo	Percepción remota	Imagen Satelital del satélite SENTINEL 2a	Adimensional
Proceso de análisis jerárquico	El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) consiste en: “la jerarquización de procesos dependiendo de una evaluación multicriterio para lograr un óptima de decisiones [...] el resultado del AHP, una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión (Anchelia y Mori, 2020). Es posible hacer uso del método AHP, SIG y Teledetección para identificar posibles zonas de agua subterránea, siendo ésta una de las mejores y más rentables técnicas (Mohammadi-Behzad, et al., 2018)	El Proceso de Análisis Jerárquico puede ser empleado para identificar zonas de agua subterránea, haciendo uso para ello de técnicas de Teledetección y SIG, así como un procesamiento de una serie de factores o variables.	Zonas de agua subterránea	Mapa de zonificación de agua subterránea en la cuenca del Tambo.	Procesamiento de datos a través de SIG y Teledetección	¿Presencia de agua subterránea? Si No

3.2. Matriz de consistencia

Tabla 15.

Matriz de consistencia

Título	Problemas	Objetivos	Variables e Indicadores	Metodología
Aplicación del método de análisis jerárquico mediante el Sistema de Información Geográfica y Teledetección para la identificación de zonas potenciales de agua subterránea en la cuenca del río Tambo	Problema general ¿Qué método podría ayudarnos a identificar zonas de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo que coadyuven a la mejora de la gestión de recursos hídricos frente a un escenario de escasez de agua a causa del cambio climático?	Objetivo general Aplicar el método de Análisis Jerárquico a través de SIG y teledetección como una herramienta eficiente para la identificación de zonas de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo.	Variable dependiente, cualitativa y dicotómica: Zonas de agua subterránea	Tipo de Investigación: Investigación aplicada, cuantitativa. Diseño de investigación: No experimental, de tipo transversal. Población: 53 cuencas hidrográficas de la vertiente del pacífico.
	Problemas específicos (1) ¿Cuáles son los parámetros y niveles de importancia que deben tomarse en consideración para la aplicación del método que permita identificar zonas de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo?	Objetivos específicos (1) Determinar los parámetros a utilizar, así como su nivel de importancia, para la óptima aplicación del método de análisis jerárquico en la identificación de zonas de aguas subterráneas en la cuenca del Tambo.	Densidad de drenaje, densidad de lineamientos, geología, pendiente, precipitación y uso de suelo	Unidad de análisis: Zonas de presencia de agua subterránea.
	(2) ¿De qué manera el método seleccionado permite la construcción de un mapa de zonificación de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo?	(2) Construir un mapa de zonificación de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo a partir del método de análisis jerárquico.	Variable independiente, cuantitativa y de razón: Proceso de análisis jerárquico a través de SIG y Teledetección	Muestra: Cuenca hidrográfica del río Tambo.
	(3) ¿Qué nivel de precisión se puede alcanzar con el método seleccionado respecto a la identificación de zonas de aguas subterráneas la cuenca hidrográfica del Tambo?	(3) Calcular el nivel de precisión del método de Análisis Jerárquico para la identificación de zonas de aguas subterráneas en la cuenca del Tambo.	Mapa de zonificación de agua subterránea en la cuenca del Tambo.	Tipo de muestra: No probabilística. Método: Proceso de análisis jerárquico a través de SIG y teledetección. Tratamiento de datos. Softwares QGIS 3.16 ArcGIS 10.5 y Microsoft Excel

CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Descripción General de la cuenca del Río Tambo

3.1.1 Ubicación Geográfica y Política

La superficie de estudio es la cuenca del río Tambo la cual se encuentra ubicada en el sur del Perú dentro del sistema hidrográfico de la vertiente del Pacífico. Esta cuenca posee una extensión total de aproximadamente 12 719 km² y a su vez está limitado por el sur con los ríos Moquegua y Locumba, por el norte con los ríos Chili, Vitor, Quilca y Coata, por el este con los ríos Ilave e Illpa, y por el oeste con el Océano Pacífico (ANA, 2019).

Con respecto a la ubicación política, la cuenca del Tambo posee extensiones de territorios de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Puno y se extiende sobre 35 distritos pertenecientes a 10 provincias.

Tabla 16.

Ubicación política de la cuenca del río Tambo

Departamento	Provincia	Distrito
Arequipa	Arequipa	La Joya
		Pocsi
		Polobaya
		San Juan de Tarucani
		Yarabamba
	Islay	Cocachacra
		Dean Valdivia
		Mollendo
	Caylloma	Punta de Bombón
		San Antonio de Chuca
Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
		Chojata
		Ichuña
		La Capilla
		Lloque
		Matalaque
		Omate
		Puquina
		Quinistaquillas
		Ubinas
Puno	Mariscal Nieto	Yunga
		Carumas
		Cuchumbaya
		Moquegua
		San Cristobal
		Torata
		Acora
		Mañazo
		Pichacani
		San Antonio
	Puno	Tiquillaca
		Santa Rosa
		Cabanillas
		Santa Lucía

Nota. Elaboración Propia. Adaptado de INEI, 2017

Geográficamente las coordenadas del centroide de la cuenca del Tambo son longitud: -70.89085° y latitud: -16.50807° , y los límites geográficos, así como el nivel altitudinal de la cuenca son presentados en la Tabla 17.

Tabla 17.

Ubicación geográfica de la cuenca del Tambo

Sistema	DATUM	Componentes	Valor mínimo	Valor máximo
Coordenadas geográficas	Horizontal WGS 1984	Longitud Oeste	-71.859621°	-69.904226°
		Latitud Sur	-15.737837°	-17.176626°
Altitud	Vertical Nivel Medio de Mar	m.s.n.m.	0 msnm	5618 msnm

Nota. Elaboración Propia. Adaptado de ANA, 2008

3.1.2. Aspectos Físicos

3.1.2.1. Pendiente

El nivel de inclinación en la extensión de la cuenca hidrográfica del Tambo varía de 0° a 81.88° ($0 - 433\%$) y la pendiente media de toda la cuenca resulta en 7.46% por lo cual es de clase “accidentada” según lo descrito en la Tabla 18 a continuación:

Tabla 18.

Clases de pendiente

Pendiente (%)	Clase
1 – 15	Accidentado
15 – 30	Fuertemente accidentado
30 – 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

Nota. Elaboración Propia. Adaptado de ANA, 2019

3.1.2.2. Fisiografía

El área de estudio, de acuerdo a lo descrito en la Memoria Descriptiva del Mapa Fisiográfico de los departamentos de Puno, Moquegua y Arequipa (MINAM, 2022), posee cinco categorías de Gran Paisaje (altiplanicie agradacional, altiplanicie degradacional, colinoso degradacional, montañoso degradacional y valle agradacional), las cuales a su vez contienen a 14 distintos paisajes, 22 subpaisajes, además de 3 elementos fijos.

Cada una de las categorías como sus atributos correspondientes en relación a la fisiografía del área de estudio están descritas en la Tabla 19:

Tabla 19.

Paisajes en la cuenca del Tambo

Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje	Elemento del paisaje
Altiplanicie (agradacional)	Planicie agradacional	Altiplano	Altiplano
	Planicie de inundación	Abanico aluvial	Abanico aluvial inundable
		Terraza baja	Terraza baja aluvial inundable
Altiplanicie (degradacional)	Planicie sedimentaria	Altiplano con substrato rocoso sedimentario	Altiplano con substrato rocoso sedimentario con pendiente A - C
Colinoso (degradacional)	Colina degradacional (glaciar)	Colina alta/ baja	Ladera de colina alta/ baja con pendiente C - E
	Colina estructural sedimentaria	Colina alta/ baja	Ladera de colina alta/ baja con pendiente D - E
	Colina estructural volcánica	Colina alta/ baja	Ladera de colina alta/ baja con pendiente D - E
	Isla degradacional	Isla	Isla
Montañoso (degradacional)	Montaña degradacional	Montaña alta/ baja	Ladera de montaña alta/ baja con pendiente B - G
	Montaña degradacional (glaciar)	Montaña alta	Ladera de montaña alta con pendiente E - F
	Montaña estructural metamórfica	Montaña baja	Ladera de montaña baja con pendiente C - G
	Montaña estructural plutónica	Montaña alta/ baja	Ladera de montaña alta/ baja con pendiente E - F
	Montaña estructural sedimentaria	Montaña alta/ baja	Ladera de montaña alta/ baja con pendiente E - F
	Montaña estructural volcánica	Montaña alta/ baja	Ladera de montaña alta/ baja con pendiente C - G
Valla (agradacional)	Valle aluvial	Valle	Fondo de valle intercolinoso
Elementos fijos		Ríos	
		Laguna	
		Área de actividad antrópica	

Nota. Elaboración Propia. Adaptado de MINAM, 2022

3.1.2.3. Climatología y meteorología

Temperatura

Los niveles de temperatura en la cuenca del Tambo varía en función a los niveles de altitud y los periodos estacionales del año, teniendo así que, en la cuenca baja la temperatura media resulta en 19.9°C, con un máximo de 24°C en el mes de febrero y un mínimo de 16.4°C en el mes de julio; en la cuenca media la temperatura media es de 18.9°C, incrementándose en el mes de febrero hasta un máximo de 20.1°C y disminuyendo a un mínimo de 17.6°C en el mes de julio; por otra parte en la cuenca alta, la temperatura media es de 1.4°C, aumentando de valor a un máximo de 4.5°C en el mes de febrero, con una disminución de -2.1°C en el mes de julio (ANA, 2019). En la tabla 18 se presentan los valores de temperatura en 13 estaciones meteorológicas situados dentro y en los alrededores de la cuenca del Tambo.

Tabla 16.

Temperaturas medias mensuales en la cuenca del Tambo

Estaciones	msm	En	Fe	Ma	Ab	Ma	Jn	Jl	Ag	Se	Oc	No	Di	Pro
Capazo	4530	6.4	6.3	5.9	4.4	2.4	0.8	0.0	1.2	2.6	4.0	5.2	6.2	3.8
Laraqueri	3970	9.0	8.8	8.6	7.7	5.8	4.3	3.9	5.2	6.9	8.4	9.2	9.3	7.3
Mazo Cruz	4003	8.0	7.8	7.5	5.6	2.5	0.6	0.2	1.5	3.4	4.9	6.3	7.6	4.7
Ilo	75	24.2	24.6	23.7	21.2	19.3	17.6	16.7	17.0	17.7	19.3	20.7	22.6	20.4
Moquegua	1450	19.7	20.1	20.1	19.1	18.3	17.7	17.6	18.1	18.4	19.0	19.4	19.7	18.9
Pampa Blanca	106	23.5	24.0	23.3	21.2	19.1	17.3	16.4	16.5	16.8	18.5	20.4	22.3	19.9
Pizacoma	3930	9.4	9.3	9.1	8.3	6.1	4.4	4.3	5.6	7.4	8.5	9.7	9.8	7.6
Rincón de la Cruz	3835	9.8	9.7	10.2	8.7	7.1	6.2	5.8	6.6	8.1	9.5	10.5	10.0	8.5
Calacoa	3260	5.5	5.6	6.0	6.9	7.1	6.7	6.3	6.3	6.5	6.5	6.9	6.5	6.4
Vilacota	4465	4.1	4.5	4.1	2.7	0.0	-1.6	-2.1	-1.4	-0.3	1.5	2.0	3.5	1.4
Suches	4452	8.7	8.4	8.5	9.8	11.2	11.5	12.2	11.8	11.6	11.7	11.0	9.4	10.5
Promedio		11.7	11.7	11.5	10.5	9.0	7.8	7.4	8.0	9.0	10.2	11.0	11.5	9.9

Nota. Elaboración propia. Adaptado de ANA, 2019

Precipitación

Los niveles de precipitación en la cuenca del Tambo son variables dependiendo de los niveles de altitud y los periodos estacionales del año, es así que, mientras mayor sea el nivel de altitud del área de la cuenca, mayores niveles de precipitación le corresponderá; además, se producen mayores valores de precipitación en los meses de enero – abril y menores valores en los meses de mayo – diciembre (ANA, 2019). En la Tabla 19 se presentan los valores de precipitación en 26 estaciones meteorológicas situados dentro y en los alrededores de la cuenca del Tambo.

Tabla 17.*Precipitaciones promedio mensuales en la cuenca del Tambo*

Estación	En	Fe	Ma	Ab	Ma	Jn	Jl	Ag	Se	Oc	No	Di	Tot
Pizacoma	144.3	127.7	89.4	25.2	5.0	5.3	3.1	7.6	12.9	20.6	42.1	100.6	583.7
Calacoa	118.8	144.8	88.0	6.1	1.5	1.0	1.2	3.8	1.5	3.6	4.3	37.8	412.3
Mazo Cruz	137.5	117.2	85.9	24.7	5.1	2.8	1.8	7.9	8.9	20.5	34.5	79.3	526.0
Chiguata	1.7	1.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.9
El Frayle	77.6	78.3	59.9	16.3	2.1	3.3	1.8	2.9	3.8	5.4	13.5	31.3	296.1
Pampa Blanca	1.0	0.6	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	1.5	0.7	0.2	0.3	0.7	6.6
Capaso	150.8	133.3	97.0	22.6	3.5	3.0	2.3	4.2	3.3	11.6	26.0	80.4	537.9
Vilacota	122.0	122.9	87.4	15.0	2.4	5.5	1.9	4.2	3.0	8.1	13.6	51.3	437.2
Quinistaquillas	23.3	28.9	13.0	0.9	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2	1.5	5.3	74.4
Ubinas	90.1	85.6	57.5	16.2	2.3	2.1	2.0	3.5	3.9	5.3	8.4	34.8	311.7
Ilo	4.8	4.6	2.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	12.2
Otora	8.8	9.1	2.8	0.3	0.6	0.2	0.6	0.5	0.8	0.1	0.2	0.7	24.5
Puquina	48.1	52.8	30.9	3.2	0.7	0.4	1.1	0.3	2.0	1.5	2.8	13.4	157.2
Ichuña	146.1	125.6	85.7	31.5	5.3	3.3	3.2	7.2	9.0	17.6	36.6	87.7	558.8
Mollendo	0.8	1.1	0.2	0.0	0.2	0.0	0.6	0.8	0.6	0.2	0.0	0.1	4.6
Yanque	109.9	85.4	70.3	22.6	3.2	1.9	2.6	10.4	5.4	10.6	15.1	48.3	385.9
Suches	101.2	98.1	71.3	18.1	1.8	2.3	1.1	3.4	3.4	8.6	17.0	46.4	372.7
Pampilla	24.0	37.6	18.0	1.1	0.2	0.2	0.2	0.9	0.3	0.2	0.8	3.4	86.9
Vizcachas	103.3	114.1	83.8	22.0	1.8	0.3	0.9	1.1	2.1	14.7	18.0	55.0	417.2
Laraqueri	169.6	157.1	119.7	44.4	9.1	4.7	4.6	10.5	18.3	36.1	56.5	113.3	743.7
Rincon de La Cruz	164.9	152.1	130.0	49.8	11.8	6.7	5.2	11.1	25.6	47.2	59.1	107.3	770.8
Las Salinas	92.2	89.1	79.7	24.6	3.6	2.3	2.2	1.7	3.8	9.7	16.5	43.6	368.8
Pillones	101.1	105.4	79.7	22.9	3.5	2.3	2.4	2.7	3.5	16.0	25.3	54.6	419.3
Imata	133.7	128.3	100.6	32.1	4.8	2.5	2.8	4.1	6.2	13.5	29.9	69.6	528.2
Lagunillas	157.2	143.0	110.2	43.0	8.0	3.4	3.0	8.0	14.4	31.7	53.1	98.4	673.3
Moquegua	1.2	1.5	0.2	0.0	0.2	0.0	0.6	0.8	0.6	0.2	0.0	0.1	5.4

Nota. Elaboración propia. Adaptado de ANA, 2019

Humedad relativa

En el área de estudio los valores de la humedad relativa son los siguientes: en la cuenca baja la media es de 78.1%, disminuyendo en verano hasta un 75% y aumentando en invierno llegando al 81%; en la cuenca media el promedio resulta en 59.2%, con incrementos en verano de hasta 69% y disminuyendo en invierno a valores de 51%; por último, en la cuenca alta el valor promedio es de 57.4% con un máximo en los meses de verano de hasta 59%, disminuyendo en los meses de invierno hasta un 52% (ANA, 2019). En la Tabla 20 se muestran valores de humedad relativa en 11 estaciones meteorológicas situados dentro y en los alrededores de la cuenca del Tambo.

Tabla 20.*Humedad relativa mensual en la cuenca del Tambo*

Estaciones	En	Fe	Ma	Ab	Ma	Jn	Jl	Ag	Se	Oc	No	Di	Prom
Capazo	66.0	66.0	68.0	61.0	51.0	41.0	43.0	45.0	44.0	53.0	53.0	59.0	54.2
Laraqueri	64.0	63.0	64.0	56.0	49.0	47.0	46.0	48.0	49.0	46.0	49.0	55.0	53.0
Mazo Cruz	64.0	67.0	66.0	59.0	52.0	50.0	48.0	49.0	52.0	49.0	53.0	58.0	55.6
Ilo	74.0	73.0	75.0	76.0	78.0	80.0	79.0	80.0	79.0	75.0	72.0	73.0	76.2
Moquegua	69.0	69.0	67.0	62.0	57.0	55.0	53.0	51.0	54.0	53.0	58.0	62.0	59.2
Pampa Blanca	75.0	75.0	78.0	79.0	80.0	81.0	81.0	80.0	81.0	78.0	75.0	74.0	78.1
Pizacoma	53.0	56.0	55.0	47.0	41.0	41.0	40.0	42.0	40.0	36.0	37.0	43.0	44.3
Rincón de la Cruz	63.0	62.0	63.0	55.0	48.0	46.0	46.0	47.0	49.0	45.0	49.0	54.0	52.3
Vilacota	65.0	68.0	69.0	60.0	57.0	53.0	52.0	53.0	50.0	52.0	53.0	57.0	57.4
Suches	76.8	70.9	70.8	67.4	61.8	58.8	57.3	58.7	61.2	60.3	64.6	68.2	64.7
Promedio	67.0	67.0	67.6	62.2	57.5	55.3	54.5	55.4	55.9	54.7	56.4	60.3	59.5

Nota. Elaboración propia. Adaptado de ANA, 2019

Evaporación

En el área de estudio los valores de la evaporación son los siguientes: en la cuenca baja la media es de 2.5 mm/día, incrementándose en verano llegando a 3 mm/día y disminuyendo en invierno hasta 2 mm/día; en la cuenca media el promedio resulta en 5mm/día, disminuyendo en verano de hasta 4.4 mm/día y aumentando en invierno llegando a 6 mm/día; por último, en la cuenca alta el valor promedio es de 4.6 mm/día con un mínimo en los meses de verano de 4.6 mm/día, disminuyendo en los meses de invierno hasta 4.9 mm/día (ANA, 2019). En la Tabla 21 se muestran valores de evaporación en 10 estaciones meteorológicas situados dentro y en los alrededores de la cuenca del Tambo.

Tabla 21.*Evaporación mensual en la cuenca del Tambo*

Estaciones	En	Fe	Ma	Ab	Ma	Jn	Jl	Ag	Se	Oc	No	Di	Prom
Capazo	4.6	4.9	4.2	4.0	4.0	3.9	3.7	3.6	5.1	6.0	6.8	5.5	4.7
Laraqueri	3.9	4.0	3.4	3.0	3.7	3.2	3.4	4.9	6.0	6.8	5.5	4.9	4.4
Mazo Cruz	4.7	4.9	4.6	4.4	4.4	4.0	3.9	4.1	4.8	5.8	5.8	5.2	4.7
Ilo	3.9	4.0	3.9	3.4	2.7	2.3	2.3	2.8	3.4	4.0	4.4	4.3	3.4
Moquegua	4.8	4.4	4.6	4.7	4.7	4.2	4.2	4.9	5.5	6.0	5.9	5.5	5.0
Pampa Blanca	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.2	2.5
Pizacoma	3.8	3.6	4.1	4.0	3.2	3.1	3.0	3.8	4.0	5.3	5.5	5.1	4.0

Rincón de la Cruz	4.6	4.6	4.3	4.2	4.1	3.7	3.9	4.7	5.3	6.1	5.8	5.4	4.7
Suches	4.7	4.1	4.1	4.4	4.4	3.7	3.5	4.1	5.0	5.7	6.1	5.3	4.6
Vilacota	4.2	3.9	3.7	3.7	3.8	3.5	3.5	4.0	4.7	4.9	5.1	4.7	4.1
Promedio	4.2	4.1	3.9	3.8	3.6	3.3	3.3	3.9	4.6	5.3	5.3	5.0	4.2

Nota. Elaboración propia. Adaptado de ANA, 2019

3.1.2.4. Geología

Sobre la superficie de estudio se asientan unidades geológicas de origen y antigüedad diversos, teniendo de mayor antigüedad a las Ordovídicas del Paleozoico, y como unidades contemporáneas al Holoceno del Cuaternario. En la Tabla 22 se indican las distintas unidades litoestratigráficas en la cuenca del río Tambo de acuerdo con los estudios geológicos de los Departamentos de Puno, Moquegua y Arequipa seguido de su respectivo símbolo y descripción (MINAM, 2022):

Tabla 22.

Geología en la cuenca del Tambo

Sistema	Serie	Unidad estratigráfica	Símbolo	Descripción
Cuaternario	Holoceno	Depósito Aluvial	Qh-al	Depósitos de lechos de río, gravas en matriz arenosa y limo-arcillitas
		Depósito Coluvial	Qh-co	Depósitos de limos, arcillas, arenas y gravas dispuestos en capas lenticulares
		Depósito Eólico	Qh-eo	Depósitos de arenas en mantos y dunas
		Depósito Fluvial	Qh-fl	Depósitos de gravas, arenas, arcillas y limos dispuestos en capas lenticulares
		Depósito Coluvio Aluviales	Qh-coal	Conjuntos polimícticos con matriz de grava arenosa o arena guijarrosa, intercalada con limos y arenas
		Depósitos Cuaternarios	Qh-hu/pi	Depósitos de piroclastos como pomez, lapilli y ceniza volcánica con abundante cuarzo
		Depósitos de Bofedales	Qh-bo	Limos, arcillas y arenas con presencia de turba y materia orgánica
		Depósitos Fluviales	Qh-fl	Gravas subangulosas
		Depósitos Fluvioaluviales	Qh-fa	Limos y gravas intercaladas ubicados cerca a lagos y lagunas
		Depósitos Fluvioglaciares	Qh-fg	Depósitos clásticos de gran extensión e insipiente estratificación constituidos por gravas, gravillas, arenas gruesas y en menor proporción bloques
	Pleistoceno	Estratovolcán Ubina	Qh-uba/ap	Andesita porfírica con plagioclasas
		Depósito Aluvial Antiguo	Qp-al	Gravas poco consolidadas con matriz arenosa y limos
		Depósito Marino	Qpl-ma	Capas de conglomerados con elementos heterogéneos en una matriz arenacea, areniscas bioclásticas y lentes de areniscas
		Depósito Morrenico	Qpl-mo	Acumulacion de grava y bloques sub angulosos a angulosos consolidados en matriz areno limosa
		Depósito Cuaternarios	Qpl-mo	Bloques angulosos dispersos con diámetro variable en matriz limosa y arcillosa
		Grupo Barroso	Qpl-ti/da	Dacitas, Aglomerados andesíticos, Dacitas
Neógeno	Plioceno	Formación Barroso Superior	NpQ-ba-s	Andesitas porfíricas y brechas piroclásticas, domos riocácicos y brechas de cristales
		Formación Capillune	N-ca	Piroclastos de arena, cenizas en estratos, tobas líticas, areniscas, limolitas y conglomerados grises intercalados con tobas retrabajadas de color amarillo, calizas con materia orgánica
		Formación Confital	Np-co/tbk	Toba de cristales
		Formación Millo	Np-mi	Conglomerados polimicticos compuestos por clastos sub-redondeados a redondeados moderadamente consolidados en una matriz areno tufacea de grano grueso

Paleogeno		Formación Sencca	N-se	Toba lapilli rica en biotita, pomez, litica, lavas andesíticas de coloración gris oscura a rojiza con fenos de plagioclasa
		Formación Maure	NQ-co/tqa	Traquiandesitas
		Formación Sillapaca	N-si/an	Andesitas porfíricas
		Intrusivo Andesítico del Neógeno	N-dm/an	Domo andesítico
		Subvolcánico andesítico	N-dml/po-an	Domos lava andesita porfírica con cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita
		Subvolcánico riolítico	N-dml/po-ri	Domo de lava riolítico con cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita en matriz de feldespato potásico
		Estrato Volcán Condori	Nm-co/tbbl	Toba de bloques andesíticos, envueltos en ceniza de color verde
		Formación Confital	Nm-co/tbk	Toba de cristales
		Formación Huaylillas	Nm-hu	Tobas líticas soldadas gris claras, macizas se intercalan con flujos lávicos de composición riolita
	Mioceno	Formación Palca	Nm-pa	Depositos de flujo piroclásticos de pomez y cenizas
		Formación Viscacha	Nm-vi/tbxr	Tobas brechadas de composición riolita blanca
		Grupo Barroso	NQ-con/ap	Coladas volcánicas latíandesitas porfíricas con cristales de plagioclasa y hornblenda
		Grupo Maure	Nm-ma/tb	Niveles de toba lapilli con cuarzo biotita y pómez blancas
		Grupo Sillapaca	Nm-si/ap+bx	Andesitas porfíricas, brechas
		Grupo Tacaza	N-ll/an	Lavas andeíticas porfíricas gris pardas, tobas
		Intrusivos	N-dmr	Domo riolítico
		Formación Huaylillas	P-Ta/h	Tobas explosivas e ignimbritas
	Oligoceno	Formación Tacaza	Po-ta	Andesitas afaníticas, tufos, conglomerados, areniscas y riolitas
		Grupo Moquegua	PN-mo-i	Conglomerados con matriz arena limosa y niveles de lodolita
		Grupo Tacaza	PN-tc	Andesitas basálticas y brechas volcánicas
		Hipabisales y Domos Dioríticos	P-di	Diorita
	Paleogeno	Subvolcánicos	P-prd	Pórfidos riódacíticos
		Formación Pichu	P-pi	Andesitas basálticas, areniscas tobáceas verdes, lavas y calizas lacustrinas, aglomerados de composición andesítica violáceas, depósitos volcanosedimentarios,
		Formación Sotillo	P-so	Areniscas, arcosas y lutitas rojizas
	Eoceno	Grupo Tacaza	P-pi/an_aga	Andesitas basálticas y aglomerados violáceos a gris verdosos
		Subvolcánicos	PN-la	Latita
	Paleoceno	Formación Saracocha	Peo-sa	Conglomerados con clastos de ortocuarcitas, calizas y volcánicos subredondeados envueltos en matriz limoarenosa de color rojo presenta intercalaciones de areniscas y lutitas

Mesozoico	Cretácico	Grupo Puno	P-ci	Conglomerado con clastos subredondeados e intercalados con areniscas y limoarcillitas rojizas
		Grupo Tacaza	PN-ta/sed	Secuencias de conglomerados y brechas con matriz de arena tobácea
		Formación Arcurquina	Kis-ar	Conglomerados, vulcarenitas y limoarcillitas gris verdosas, gradando a calizas micríticas
		Formación Ayabacas	Kis-ay	Calizas micríticas laminares y bioturbadas, lentes de chert, arcillitas rojas y areniscas calcáreas
		Formación Guaneros	Ks-gus/an+plg	Andesitas grises con fenocristales de plagioclasa, Ocoíticas
		Formación Hualhuani	Ki-hu	Areniscas cuarzosas blancas sacaroideas de grano fino a medio
		Formación Matalaque	Ki-ma	Andesitas, dacitas, aglomerados y brechas andesíticas; seccion media conglomerados, areniscas gris verdosas y limoarcillitas fosilíferas
		Formación Murco	Ki-mu	Lutitas rojas, verdes, purpuras y areniscas rojas con canales al tope
		Grupo Toquepala	Ks-hu/tbk	Toba de cristales subredondeados a angulosos en matriz areno tobácea de composición andesítica a dacita
		Intrusivos	KP-to/di	Tonalita y diorita
	Jurásico	Super Unidad Ilo	Ki-il/gb-di-gd	Compuesto por gabrodioritas, dioritas y granodioritas
		Super Unidad Tiabaya	Ks-ti/gd	De naturaleza mayormente granodiorítica
		Super Unidad Yarabamba	KP-ya/mc	Monzocuarcita y granodiorita
		Formación Cachios	Jm-ca	Constituidas por lutitas, con capas delgadas de areniscas y limolitas y presencia de nodulos areniscosos con ammonites mal conservados. (Grupo Yura)
		Formación Chocolate	Ji-cho	Andesitas porfíricas de color marron intercaladas con areniscas, conglomerados y brechas andesíticas
		Formación Gramadal	Js-gr	Calizas micríticas y esparítica masivas con niveles fosilíferos
		Formación Guaneros	Jm-gu	Areniscas verdes intercaladas con andesita porfírica verde con limolitas y brechas volcánicas
		Formación Labra	Js-la	Areniscas, areniscas cuarcíticas intercaladas con lutitas y limolitas. (Grupo Yura)
		Formación Puente	Jm-pu	Areniscas cuarcíticas de grano fino con coloracion parda, grises y verdosas, con limoarcillitas y lutitas con contenido de ammonites. (Grupo Yura)
		Grupo Yura	Jm-pu	Limoarcillitas con intercalación rítmica de areniscas con restos fósiles, areniscas cuarzosas, areniscas pardas y lutitas carbonosas
Paleozoico	Devónico	Super Unidad Punta Coles	Jim-pc/di-gd	Dioritas y granodioritas con cristales desarrollados de hornblenda, algunas monzonitas y granitos
		Grupo Cabanillas	D-ca	Areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas silicificadas
		Batolito Atico-Camana-Mollendo	O-gr	Intrusiones dioritas, granodioritas y en mayor cantidad granitos

Nota. Elaboración Propia. Adaptado de MINAM, 2022

3.1.2.5. Hidrología

La cuenca hidrográfica del Tambo, perteneciente a la vertiente hidrográfica del Pacífico, posee un 62.58% de zona húmeda (8149 km²) ubicada principalmente sobre los 3500 msnm. Los afluentes de la red hidrográfica del río Tambo son los ríos Carumas, Coralaque, Ichuña y Paltut que vienen descargando, al 75% de persistencia, aproximadamente 13.998 m³/s (437.0 MMC); con un promedio de descarga anual de 31.418 m³/s (975.458 MMC/año); cabe destacar que, el 76% del volumen de agua disponible antes mencionado está concentrado en los meses de enero a abril (periodo de lluvias) (ANA 2019).

Según la data hidrológica disponible, permite concluir que, el caudal del río Tambo es de régimen irregular y carácter torrencioso con grandes variaciones en los distintos periodos del año; teniendo descargas máximas de 1500 m³/s en avenidas, mientras que 1.5 m³/s en épocas de estiaje con un promedio de 34.75 m³/s (ANA 2019).

Tabla 23.

Disponibilidades hídricas del río Tambo en la estación Puente Santa Rosa (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Prom	62.883	110.024	77.721	37.072	18.662	14.224	11.875	9.948	8.148	6.767	8.122	11.576	31.418
Máx	300.708	392.200	271.968	156.167	51.403	32.733	21.413	17.359	16.729	11.666	37.937	36.783	112.256
Mín	6.571	7.988	6.667	4.514	4.703	4.322	5.565	5.979	4.682	3.455	3.525	3.693	5.139
Q75 %	21.500	33.335	31.197	18.050	11.747	9.773	9.138	7.869	6.435	5.736	5.780	7.420	13.998

Nota. Elaboración propia. Adaptado de ANA 2019

3.1.3. Aspectos socioeconómicos

Población

La extensión territorial de la cuenca está conformado por 03 departamentos: Arequipa, Puno y Moquegua, los cuales según lo indicado en el Censo Nacional del 2017 (INEI, 2017) poseen una población de 1 075 302, 902 036 y 136 721 habitantes respectivamente. Además, las provincias de los respectivos departamentos que se encuentran dentro de la cuenca del Tambo y poseen la mayor densidad poblacional son: Arequipa (846 441 hab.), San Román (230 146) y Mariscal nieta (45 484 hab.).

Actividades Económicas

➤ **Agricultura**

En la extensión de la cuenca del Tambo la actividad económica predominante es la agricultura destacando en la parte alta y media de la cuenca los cultivos de cebadas, alfalfa, trigo y pasas; mientras que en la parte baja de la cuenca abunda el cultivo de arroz, caña de azúcar, ají y alfalfa (ANA, 2019). Cabe destacar que esta actividad es la que genera el mayor consumo de agua sobre todo en la cuenca baja cuya característica desértica requiere de fuentes de agua para su producción (Velazquez, 2022).

➤ **Minería**

En la cuenca del Tambo predomina la presencia de 03 grandes empresas mineras: Compañía Minera Milpo S.A.A., Aruntari S.A.C. y Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.; las cuales realizan la extracción y refinación mineral con contenido de Cobre. Cabe destacar que el uso de agua por actividad minera es de uso no consuntivo, es decir una vez incorporada durante las actividades mineras regresan al medio (Velazquez, 2022).

➤ **Industrial y poblacional**

Las principales empresas industriales presentes en la cuenca del Tambo son: Central Azucarera Chucarapi Pampa Blanca S.A y Leche Gloria S.A. Asimismo, el uso poblacional hace referencia al consumo de agua consuntivo por parte de la población de esta cuenca; la cual es abastecida principalmente por la SEDAPAR S.A. (Velazquez, 2022).

Uso de Suelo

Según los mapas de usos de suelos señalados en las zonificaciones ecológicas económicas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Puno, en la extensión de la cuenca del Tambo se encuentran los siguientes usos de suelos con su respectiva descripción (Tabla 24):

Tabla 24.*Usos del Suelo en la cuenca del Tambo*

Uso del Suelo	Descripción
Conglomerado Urbano	Espacios con presencia de edificaciones e infraestructura urbana construida
Vegetación herbácea	Cobertura con presencia de comunidades vegetales herbáceas dominantes
Vegetación arbustiva	Cobertura con presencia de comunidades vegetales leñosas dominantes
Áreas de suelo seco/ desnudo	Terrenos planos constituidos principalmente por tierras arenosas y pedregosos, por lo general desprovistos de vegetación
Afloramientos rocosos	Terrenos en cuya superficie se encuentran unidades rocosas a la intemperie
Glaciares	Áreas cubiertas por hielo en forma permanente y temporal
Tuberas y bofedales	Extensión de vegetación que habita en los humedales de altura
Cuerpos hídricos (ríos, lagos, lagunas, entre otros)	Espacios con presencia de cuerpos hídricos estacionales, intermitentes y/o permanentes (lagunas, lagos, ríos, entre otros)

Nota. Elaboración Propia. Adaptado de MINAM, 2022

CAPÍTULO V. METODOLOGÍA

5.1. Tipo y diseño de investigación

5.1.1. Tipo de investigación

De acuerdo con Ñaupas et al. (2018), las investigaciones aplicadas “[...] con base en la investigación básica [...] se formulan problemas e hipótesis de trabajo para resolver los problemas [...] de la sociedad”. (p.93)

Respecto a lo antes mencionado, se consideró a la investigación de tipo aplicada; porque contribuirá a resolver el problema de la falta de herramientas metodológicas para identificar zonas de agua subterránea haciendo uso del método de análisis jerárquico.

5.1.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es el “[...] plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema” (Hernández Sampieri et al., 2014, p.128), ante ello, la presente investigación es de tipo no experimental, debido a que no se van a manipular o controlar las variables de estudio, solamente se hace una observación y recopilación de estas, asimismo se trata de una investigación de tipo transversal o transeccional ya que recolectan datos, describen variables y se analiza su interrelación en un momento determinado y por último, el diseño es descriptivo, ya que se detalla la aplicación del método de análisis jerárquico para la identificación de zonas de agua subterránea en la cuenca del Tambo.

5.2. Unidad de análisis

Son el “[...] tipo de objeto delimitado por el investigador para ser investigado [...] aquellas que tienen características similares y que se encuentran en un ámbito determinado” (Ñaupas et al., 2018, p. 326) pudiendo ser una objeto, un grupo, una persona u otro que contenga los eventos a investigar.

La unidad de estudio o análisis del presente estudio son las zonas de agua subterránea donde se aplica el método de análisis jerárquico para la identificación de aguas subterráneas.

5.3. Población de estudio

Es el conjunto de casos que coinciden con determinados criterios o especificaciones sobre los cuales se generalizaran las conclusiones resultantes de una investigación (Hernández Sampieri et al., 2014) es decir, vendría a ser el conjunto de elementos que poseen cualidades similares, y por ende serán válidas las conclusiones de la investigación.

En el contexto de esta investigación la población de estudio son las 62 cuencas/ unidades hidrográficas de la vertiente del Pacífico.

5.4. Muestra

Hace referencia al subconjunto o subgrupo de elementos de la población (Hernández Sampieri et al., 2014). En el contexto de esta investigación la muestra corresponde a la cuenca hidrográfica del río Tambo.

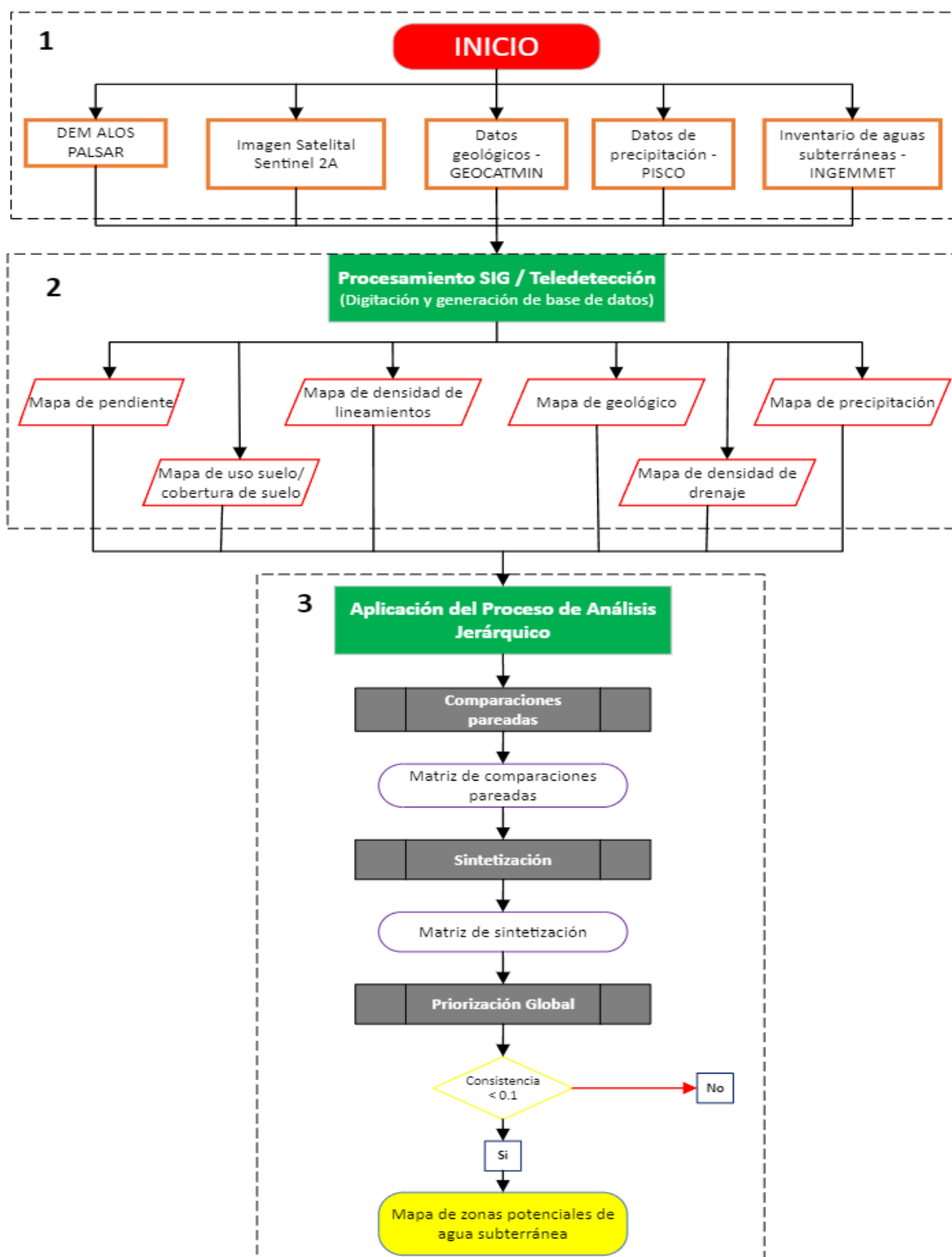
5.5. Método de selección de muestra

Existen 2 métodos de selección de muestra: la muestra probabilística y no probabilística o dirigida; en la elección por la selección de la muestra, esta última “no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación”. (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 176)

Para el presente caso, el método de selección de la muestra es no probabilística debido a que se llevó a cabo por la relevancia del área de estudio, así como por la disponibilidad de datos tanto del inventario como los factores determinantes de zonas de aguas subterránea.

Figura 3.

Diagrama de flujo de la investigación



Nota. Elaboración propia

5.6. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información

5.6.1. Recolección y procesamiento de base de datos

Los parámetros cartográficos que se emplearon para el desarrollo de la investigación son los señalados en la Tabla 25 a continuación:

Tabla 25.

Parámetros cartográficos de los factores para identificar zonas de agua subterránea

Elipsoide geodésico de referencia	
Elipsoide	WGS84
Datum	Geocéntrico
Semi Eje Mayor (Eje Ecuatorial)	6 378 137 metros
Semi Eje Menor (Eje Polar)	6 356 752,31424 metros
Sistema de Coordenadas	
Sistema de Coordenadas:	UTM
Zona:	19 sur (faja K y L)
Meridiano Central	meridiano central 69° Oeste
Escalas	
Resolución	30 metros
Escala de trabajo	1/ 100 000

Nota. Adaptado de Anchelía & Mori, 2020

La geodata descargada fue adecuada a los parámetros o estándares cartográficos señalados en la tabla anterior con la finalidad de generar entradas estandarizadas durante la aplicación de la metodología y generación del modelo.

A continuación, se describirán la descarga y procesamiento de cada uno de los factores tomados en cuenta para la aplicación del método AHP en la identificación de zonas de agua subterránea:

5.6.1.1. Densidad de drenaje

Para obtener el factor densidad de drenaje en el área de estudio se requirió la descarga del shapefile de drenaje procedente de las cartas geológicas con códigos 32-u, 32-v, 33-t, 33-u, 33-v, 34-s, 34-t, 34-u, 34-v, 34-x, 35-s, 35-t, los cuales fueron descargados el año 2022 y, según la metadata, la información proviene de una actualización de las cartas geológicas peruanas en el año 2000. Esta geodata se encuentra bajo cargo del INGEMMET a través de su geoportal GEOCATMIN, y es de libre acceso ingresado al enlace a continuación: <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

Luego de ello, se procedió a procesar la data obtenida a través de los siguientes pasos:

- Organizar la “attribute table” de los shapefile drenaje de cada carta geológica de modo que posean los mismos campos en el encabezado.
- Unir los shapefile drenaje de todas las cartas geológicas con ayuda de la herramienta “Merge”.
- Recortar el shapefile unido con ayuda de la herramienta “Clip” usando como capa de recorte la cuenca del Tambo.
- Calcular la densidad lineal de drenaje con ayuda de la herramienta “Line Density” usando como capa base el shapefile de drenaje dentro del área de estudio.
- Reclassificar el Raster de densidad de drenaje con ayuda de la herramienta “Reclassify” a través del método de clasificación “Natural Breaks”.

Finalmente, ya se tendrá listo el insumo al cual se le asignará un valor de acuerdo a lo ponderado por medio el proceso de análisis jerárquico.

5.6.1.2. Densidad de lineamientos

Para obtener el factor densidad de lineamientos en el área de estudio se requirió la descarga del shapefile de fallas geológicas procedentes de las cartas geológicas con códigos 32-u, 32-v, 33-t, 33-u, 33-v, 34-s, 34-t, 34-u, 34-v, 34-x, 35-s, 35-t, los cuales fueron descargados el año 2022 y, según la metadata, la información proviene de una actualización de las cartas geológicas peruanas en el año 2000. Esta geodata se encuentra bajo cargo del INGEMMET a través de su geoportal GEOCATMIN, y es de libre acceso ingresado al enlace a continuación: <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>.

Luego de ello, se procedió a procesar la data obtenida a través de los siguientes pasos:

- Organizar la “attribute table” de los shapefile fallas geológicas de cada carta geológica de modo que posean los mismos campos en el encabezado.
- Unir los shapefile fallas geológicas de todas las cartas geológicas con ayuda de la herramienta “Merge”.
- Recortar el shapefile unido con ayuda de la herramienta “Clip” usando como capa de recorte la cuenca del Tambo.
- Calcular la densidad lineal con ayuda de la herramienta “Line Density” usando como capa base el shapefile de fallas geológicas recortado dentro del área de estudio.
- Reclassificar el Raster de densidad de drenaje con ayuda de la herramienta “Reclassify” a través del método de clasificación “Natural Breaks”.

Finalmente, ya se tendrá listo el insumo al cual se le asignará un valor de acuerdo a lo ponderado por medio el proceso de análisis jerárquico.

5.6.1.3. Geología

Para obtener el factor litología o geología en la superficie de estudio se descargaron los shapefile de geología procedente de las cartas geológicas con códigos 32-u, 32-v, 33-t, 33-u, 33-v, 34-s, 34-t, 34-u, 34-v, 34-x, 35-s, 35-t, los cuales fueron descargados el año 2022 y según la metadata (información de los datos) la información proviene de una actualización de las cartas geológicas peruanas en el año 2000. Esta geodata se encuentra bajo cargo del INGEMMET a través de su geoportal GEOCATMIN, y es de libre acceso ingresado al enlace a continuación: <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

Luego, se procedió a procesar la data obtenida a través de los siguientes pasos:

- Organizar la “attribute table” de los shapefile geología de cada carta geológica de modo que posean los mismos campos en el encabezado.
- Unir los shapefile geología de todas las cartas geológicas con ayuda de la herramienta “Merge”.
- Recortar el shapefile unido con ayuda de la herramienta “Clip” usando como capa de recorte la cuenca del Tambo.
- Transformar el shapefile de geología a Raster de geología con ayuda de la herramienta

“Polygon to Raster” usando como capa base el shapefile de geología recortado dentro del área de estudio.

- Reclasificar el Raster de densidad de drenaje con ayuda de la herramienta “Reclassify” a través del método de clasificación “Natural Breaks”.

Finalmente, ya se tendrá listo el insumo al cual se le asignará un valor de acuerdo a lo ponderado por medio el proceso de análisis jerárquico.

5.6.1.4. Pendiente

Para obtener el factor pendiente en la superficie de estudio, se descargaron las cuadrículas de los Modelos de Elevación Digital (DEM) con los siguientes códigos:

Tabla 26.

Códigos de las cuadrículas de los DEM correspondientes al área de estudio según el portal Alaska Satellite Facility

Nº	Código del DEM según el portal Alaska Satellite Facility
1	AP_23675_FBD_F6860_RT1
2	AP_23923_FBD_F6840_RT1
3	AP_23923_FBD_F6850_RT1
4	AP_24098_FBD_F6840_RT1
5	AP_24098_FBD_F6850_RT1
6	AP_24098_FBD_F6860_RT1
7	AP_24171_FBD_F6840_RT1
8	AP_24346_FBD_F6840_RT1
9	AP_24346_FBD_F6850_RT1

Nota. Elaboración Propia.

La descarga se realizó en el año 2022; sin embargo, la data corresponde al año 2011, todos ellos provenientes DEM ALOS PALSAR de la página Alaska Satellite Facility a través del enlace: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Luego de ello, se procedió a procesar la data obtenida a través de los siguientes pasos:

- Unir los DEM de todas las cuadrículas con ayuda de la herramienta “Mosaic to New Raster”.
- Recortar el DEM unido con ayuda de la herramienta “Extract by Mask” usando como capa de recorte el área de estudio: La cuenca del Tambo.

- Convertir los niveles de elevación provenientes del DEM en valores de pendiente (°) con ayuda de la herramienta “Slope”
- Reclasificar el Raster de pendiente con ayuda de la herramienta “Reclassify” a través del método de clasificación “Natural Breaks”.

Finalmente, ya se tendrá listo el insumo al cual se le asignará un valor de acuerdo a lo ponderado por medio el proceso de análisis jerárquico.

5.6.1.5. Precipitación media anual

Para la obtener los datos de precipitación del área de estudio se requirió descargar y procesar la data del producto Peruvian Interpolated data of the SENAMHI’s Climatological and hydrological Observations (PISCO), base de datos generada por el SENAMHI a partir de los valores de precipitación estimados de productos satelitales y la redes de estaciones meteorológicas del SENAMHI, los cuales se obtuvieron del siguiente enlace:

<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAHMI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es>

La información solicitada corresponde al registro de valores de precipitación mensual proveniente de treinta y dos estaciones meteorológicas ubicadas dentro y en un buffer de 10 km en los alrededores de la cuenca Tambo desde el año 1981 – 2022 y son los indicados en la Tabla 27.

Tabla 27.

Ubicación de estaciones meteorológicas en la cuenca del Tambo

Nº	Estación meteorológica	Variable meteorológica	Coordenadas X	Coordenadas Y
1	Calacoa	Precipitación	-70,683	-16,735
2	Carumas	Precipitación	-70,692	-16,812
3	Chalzo	Precipitación	-70,967	-16,683
4	Chila	Precipitación	-69,867	-16,900
5	Chucarapi	Precipitación	-71,700	-17,083
6	Coalaque	Precipitación	-71,017	-16,650
7	Coralaque	Precipitación	-70,217	-16,533
8	Crucero	Precipitación	-70,467	-16,000
9	Crucero alto	Precipitación	-70,917	-15,767
10	Esquilache	Precipitación	-70,283	-16,000
11	Ichuma	Precipitación	-70,550	-16,133

12	Ichupampa	Precipitación	-71,425	-16,798
13	Japojunco	Precipitación	-70,267	-16,850
14	La capilla	Precipitación	-71,200	-16,767
15	La Haciendita	Precipitación	-71,588	-16,991
16	La pascana	Precipitación	-71,658	-17,023
17	Lagunillas	Precipitación	-70,700	-15,700
18	Lloque	Precipitación	-70,733	-16,317
19	Omate	Precipitación	-70,979	-16,675
20	Otora	Precipitación	-70,850	-17,000
21	Pachas	Precipitación	-70,733	-16,467
22	Pampa blanca	Precipitación	-71,723	-17,068
23	Pampa umalzo (titijones)	Precipitación	-70,526	-16,618
24	Pasto grande	Precipitación	-70,217	-16,717
25	Puquina	Precipitación	-71,183	-16,626
26	Quinistaquillas	Precipitación	-70,897	-16,769
27	Saracocha	Precipitación	-70,617	-15,750
28	Suche	Precipitación	-70,383	-16,917
29	Tiabaya	Precipitación	-71,572	-16,481
30	Titijones	Precipitación	-71,533	-16,917
31	Ubinas	Precipitación	-70,856	-16,382
32	Vizcachas	Precipitación	-70,428	-16,815

Nota. Elaboración Propia. Adaptado de GeoGPS Perú

Para el procesamiento de la información descargada se utilizó el software RStudio y Excel mediante los siguientes pasos:

Procesamiento en Rstudio y Excel

- Extraer en formato *xlsx*. las coordenadas geográficas provenientes del *shapefile* de estaciones meteorológicas del SENAMHI correspondientes a la cuenca de Tambo y alrededores (Tabla 27).
- Transcribir un código (ANEXO 1) en el entorno del software RStudio, en el cual se incorporaron los datos de producto PISCO y el Excel de coordenadas geográficas antes mencionadas, para luego compilar dicho código y obtener los valores de precipitación mensual en formato *csv*. (HidroGIS, 2022).
- Transformar los datos del formato *csv*. al formato *xlsx*. con ayuda del software Excel y haciendo uso de la herramienta Tablas Dinámicas se obtuvieron los valores de precipitación media anual en las estaciones de la cuenca del Tambo y alrededores.

Procesamiento en ArcGIS

- En el *shapefile* de estaciones meteorológicas crear un campo de “precipitación” y se

digitaron todos los valores de precipitación media anual en cada una de estaciones de la cuenca del Tambo y alrededores

- Interpolan los datos de precipitación con ayuda de la herramienta “Kriging” para así obtener el Raster de precipitación en la cuenca del Tambo.
- Reclassificar el Raster de precipitación con ayuda de la herramienta “Reclassify” a través del método de clasificación “Natural Breaks”.

Finalmente, ya se tendrá listo el insumo al cual se le asignará un valor de acuerdo con lo ponderado por medio el proceso de análisis jerárquico.

5.6.1.6. Uso de Suelo/ Cobertura de Suelo

Los datos del uso de suelo/ cobertura de suelo requirieron la descarga de 07 paquetes de imágenes satelitales, los cuales juntos cubrirán todo el territorio de la cuenca del Tambo y cuyos códigos de identificación son los siguientes:

Tabla 28.

Códigos de Identificación de las Imágenes Sentinel 2 correspondientes al Área de Estudio según el Portal Copernicus Open Access Hub

Ítem	Código según el portal Copernicus Open Access Hub.
1	S2A_MSIL2A_20221013T144731_N0400_R139_T19KCB_20221013T194155.SAFE
2	S2A_MSIL2A_20221013T144731_N0400_R139_T19LCC_20221013T194155.SAFE
3	S2B_MSIL1C_20221011T145729_N0400_R039_T18KZG_20221011T182442.SAFE
4	S2B_MSIL1C_20221011T145729_N0400_R039_T19KCB_20221011T182442.SAFE
5	S2B_MSIL1C_20221011T145729_N0400_R039_T19LBC_20221011T182442.SAFE
6	S2B_MSIL2A_20221011T145729_N0400_R039_T19KBB_20221011T185116.SAFE
7	S2B_MSIL2A_20221011T145729_N0400_R039_T19LCC_20221011T185116.SAFE

La descarga se realizó en el año 2022; y la data generada por el satélite corresponde a octubre del mismo año. Todos ellos provenientes del satélite Sentinel 2A cuya resolución espacial es desde 10 m a 60 m. Esta imagen se encuentra disponible con libre acceso y puede ser fácilmente descargado desde la página Copernicus Open Access Hub, portal de datos espaciales de la Agencia Espacial Europea (ESA), ingresando al enlace: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

Posteriormente, la imagen satelital se procesó con ayuda de los softwares QGIS 3.16 con el fin de poder obtener los valores de Uso de Suelo en el área de estudio. Para ello se siguieron los siguientes pasos de forma ordenada:

Procesamiento de la Imagen Satelital

- Primero, nos aseguramos de tener instalado el complemento o plugin “Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)” (de no tenerlo, instalarlo).
- Aplicar la corrección radiométrica atmosférica a cada una de las bandas que forman parte de los 07 paquetes de imágenes satelitales con ayuda de la herramienta: “Apply DOS1 atmospheric correction” con el fin de convertir los niveles digitales (ND) a niveles de reflectancia.
- Apilar o combinar las 07 primeras bandas de la imagen satelital de cada uno de los paquetes de imágenes satelitales con ayuda de la herramienta: “Create raster of band set (stack band)”, para obtener una sola imagen por paquete que nos permita realizar diferentes combinaciones de bandas.
- Crear un mosaico de imágenes satelitales o teledetección con ayuda de la herramienta “Merge”, de modo que las 07 imágenes corregidas y apiladas que representan a cada uno de los paquetes formen una sola imagen que incluya toda el área de estudio
- Reproyectar el mosaico de teledetección resultante con ayuda de la herramienta “Warp (Reproject)”, para que así se le asigne el sistema de referencia de coordenadas UTM 19S, el cual le corresponde a la cuenca del Tambo.
- Recortar el mosaico de teledetección creada en base a la cuenca del Tambo con ayuda de la herramienta “Clip Raster by mask layer”, de esta manera que se tendrá una imagen satelital corregida, apilada y recortada de acuerdo con el área de estudio.

Clasificación supervisada

- Verificar que en el campo “Multiband Image List” de la pestaña “Band Set” correspondiente a la herramienta SCP tenga cargada la imagen satelital producto del anterior procesamiento
- Agregar el panel “SCP Dock”, de modo que las herramientas para la clasificación supervisada estén fácilmente al alcance de usuario
- Agregar el archivo de entrenamiento con ayuda de la herramienta “Create a New

Training Input”

- Modificar la combinación de bandas, variando la numeración en los canales de proyección con ayuda de la herramienta “Symbology” para poder identificar diferentes elementos superficiales
- Dibujar los polígonos correspondientes a cada una de las macroclases: “Área Urbana”, “Área Agrícola”, “Cuerpo de Agua”, “Vegetación Húmeda”, “Suelo desnudo” con ayuda de la herramienta “Create a ROI Polygon”
- Ejecutar la clasificación supervisada con ayuda de la herramienta “Run” de la pestaña “Classification” para obtener el Raster de Uso de Suelo
- Reclassificar el Raster de uso de suelo con ayuda de la herramienta “Reclassify” a través del método de clasificación “Natural Breaks”.

Finalmente, ya se tendrá listo el insumo al cual se le asignará un valor de acuerdo a lo ponderado por medio el proceso de análisis jerárquico.

5.6.1.7. Inventario de fuentes de agua subterránea

La data del inventario de fuentes de agua subterránea en el área de estudio de la cuenca del Tambo se obtuvo del estudio: «Hidrogeología de la cuenca del río Tambo (1318) regiones Arequipa, Moquegua y Puno - [Boletín H 7]» a partir de una solicitud de acceso a la información pública desde el portal del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) a través del siguiente enlace: <https://app.ingemmet.gob.pe/serviciosonline/vvirtual/solaip>.

Dicha información se recopiló en formato xls. (Excel) (ANEXO 1) para luego con ayuda de la herramienta “Add XY Data” del ArcGIS sea transformada en formato shp. (shapefile) y así pueda ser comparada con la información obtenida del mapa potencial de aguas subterráneas en la cuenca del Tambo resultante de la aplicación del método de análisis jerárquico.

5.6.2. Aplicación del método AHP

Una vez recopilados los datos antes mencionados de las fuentes institucionales de acceso gratuito antes citadas, y luego de ser procesadas, se procedió al desarrollo del método AHP haciendo uso de los softwares Excel y ArcGIS.

5.6.2.1. Estructuración jerárquica y determinación de factores

Se analizaron cuáles eran los factores determinantes para la determinación de zonas de aguas subterráneas, que para el presente estudio son: La densidad de drenaje, la densidad de lineamientos, la geología, la pendiente, la precipitación y el uso de suelo. Asimismo, se jerarquizó la importancia de cada uno de los factores para el logro del objetivo con ayuda de la Escala de asignación de pesos o fundamental de comparación por pares de Satty (1990).

5.6.2.2. Comparaciones pareadas

Se realizaron las comparaciones entre cada uno de los seis (06) factores considerados en el presente estudio. Por medio de las múltiples referencias bibliográficas revisadas y la experiencia académica adquirida, se realizó el análisis de importancia por pares, el cual se jerarquizó según la escala de comparación por pares como se muestra a continuación:

Tabla 29.

Comparaciones por pares de los factores

Comparación	Explicación	Valor
Densidad de Drenaje vs Densidad de Lineamientos	El factor densidad de drenaje es moderada – fuertemente preferible en comparación al factor densidad de lineamiento.	4
Densidad de Drenaje vs Geología	El factor geología es débil o moderadamente importante en comparación al factor densidad de drenaje	3
Densidad de Drenaje vs Pendiente	El factor pendiente es igual - moderadamente preferible en comparación al factor densidad de drenaje.	2
Densidad de Drenaje vs Precipitación	El factor densidad de drenaje es igual - moderadamente preferible en comparación al factor precipitación	2
Densidad de Drenaje vs Uso de Suelo	El factor densidad de drenaje es débil o moderadamente importante en comparación al factor uso de suelo	3
Densidad de Lineamientos vs Geología	El factor geología es muy fuerte y extremadamente preferible en comparación al factor densidad de lineamientos	8
Densidad de Lineamientos vs Pendiente	El factor pendiente es de importancia demostrada en comparación al factor densidad de lineamientos.	7
Densidad de Lineamientos vs Precipitación	El factor precipitación es débil o moderadamente importante en comparación al factor densidad de lineamientos.	3
Densidad de Lineamientos vs Uso de Suelo	El factor uso de suelo es igual - moderadamente preferible en comparación al factor densidad de lineamientos.	2
Geología vs Pendiente	El factor geología es igual - moderadamente preferible en comparación al factor pendiente.	2

Comparación	Explicación	Valor
Geología vs Precipitación	El factor geología es esencial - fuertemente importante en comparación al factor precipitación.	5
Geología Vs Uso de Suelo	El factor geología es de importancia demostrada en comparación al factor uso de suelo.	7
Pendiente vs Precipitación	El factor pendiente es moderada - fuertemente preferible en comparación al factor precipitación.	4
Pendiente vs Uso de Suelo	El factor pendiente es fuerte – extremadamente preferible en comparación al factor uso de suelo.	6
Precipitación vs Uso de Suelo	El factor precipitación es igual - moderadamente importante en comparación al factor uso de suelo.	2

Nota: Elaboración Propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

El análisis realizado se plasmó en una matriz comparativa por pares, donde de forma matricial se consignan los valores por cada par, lo cual sirvió de insumo para los próximos cálculos a realizar.

Tabla 30.

Matriz de comparación por pares de los factores

Parámetros	Geología	Pendiente	Densidad de drenaje	Precipitación	Uso de Suelo	Densidad de lineamientos
Geología	1,00	2,00	3,00	5,00	7,00	8,00
Pendiente	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00	7,00
Densidad de drenaje	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
Precipitación	0,20	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00
Uso de Suelo	0,14	0,17	0,33	0,50	1,00	2,00
Densidad de lineamientos	0,13	0,14	0,25	0,33	0,50	1,00
SUMA	2,30	4,06	7,08	12,83	19,50	25,00

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

5.6.2.3. Sintetización

Matriz de comparaciones normalizada

Esta matriz se obtuvo a partir de dividir cada valor correspondiente a la matriz anterior con la suma total de valores en su columna; luego, se determinó el promedio de cada fila, del cual dichos valores van a generar un vector promedio; y este nos indicará a su vez el nivel de importancia que posee cada factor o variable respecto a su posibilidad de identificar la presencia de aguas subterráneas.

Tabla 31.

Matriz de comparación por pares normalizada

	Pesos relativos							Puestos
Geología	0,435	0,493	0,424	0,390	0,359	0,320	0,403	1
Pendiente	0,217	0,246	0,282	0,312	0,308	0,280	0,274	2
Densidad de drenaje	0,145	0,123	0,141	0,156	0,154	0,160	0,146	3
Precipitación	0,087	0,062	0,071	0,078	0,103	0,120	0,087	4
Uso de Suelo	0,062	0,041	0,047	0,039	0,051	0,080	0,053	5
Densidad de lineamientos	0,054	0,035	0,035	0,026	0,026	0,040	0,036	6

Cómo se podrá visualizar en la Tabla 31; la importancia se determinó en orden descendente, la cual nos permitió evidenciar que el factor geología con un peso relativo de 0.403 posee una mayor importancia frente al resto de parámetros respecto a su posibilidad para identificar una zona con presencia de agua subterránea, mientras que el factor densidad de lineamientos resultó ser el menos relevante.

Análisis de consistencia

Después de determinar el orden de preponderancia de las variables o factores, se necesitó hallar la consistencia de estos, para así determinar la representatividad de los valores resultantes respecto al análisis a realizado, es decir, que tengan coherencia los juicios de valor realizados.

El primer paso para determinar la relación de consistencia es multiplicar la matriz de comparaciones por la matriz de pesos relativos como se muestra en la Tabla 32:

Tabla 32.

Producto matricial de matrices de comparaciones por pares y la matriz de pesos relativos

Parámetro	Cálculo	Resultado
Geología	$1*0,403 + 2*0,274 + 3*0,146 + 5*0,087 + 7*0,053 + 8*0,036$	2,486
Pendiente	$0,5*0,403 + 1*0,274 + 2*0,146 + 4*0,087 + 6*0,053 + 7*0,036$	1,688
Densidad de drenaje	$0,33*0,403 + 0,5*0,274 + 1*0,146 + 2*0,087 + 3*0,053 + 4*0,036$	0,896
Precipitación	$0,2*0,403 + 0,25*0,274 + 0,50*0,146 + 1*0,087 + 2*0,053 + 3*0,036$	0,524
Uso de Suelo	$0,14*0,403 + 0,17*0,274 + 0,33*0,146 + 0,5*0,087 + 1*0,053 + 2*0,036$	0,321
Densidad de lineamientos	$0,13*0,403 + 0,14*0,274 + 0,25*0,146 + 0,33*0,087 + 0,5*0,053 + 1*0,036$	0,218

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Posteriormente, se dividen los valores de consistencia o pesos relativos que se obtendrán en la Tabla 33 con el fin de obtener el vector consistencia.

Tabla 33.

Cálculo del vector consistencia

Parámetro	Cálculo	Vector de consistencia
Geología	$2,468/0,403$	6,167
Pendiente	$1,688/0,274$	6,156
Densidad de drenaje	$0,896/0,146$	6,115
Precipitación	$0,524/0,087$	6,052
Uso de Suelo	$0,321/0,053$	6,010
Densidad de lineamientos	$0,218/0,036$	6,039
	λ	6,090

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Después, calculamos el promedio de los valores en el vector consistencia, y en simultáneo determinaremos el índice de consistencia según la fórmula de Aguarón & Moreno-Jiménez (2003):

$$IC = \frac{6,09-6}{6-1} = 0,018 \quad (9)$$

Una vez calculado el Índice de Consistencia, se prosigue a hallar la relación o radio de consistencia, que será determinada a partir de la división del Índice de Consistencia con el Índice Aleatorio, siendo este último previamente definido a partir de los valores consignados en la Tabla 12; que para el presente estudio por tener 06 factores resulta en: 1,252.

$$RC = \frac{0,018}{1,252} = 0,014 \quad (10)$$

Finalmente, y de acuerdo con lo señalado por Aguarón & Moreno-Jiménez (2003), en caso el valor de la RC resultante sea menor a 0,1, los juicios de valor previamente determinados resultan coherentes y se denotará un adecuado juicio de valor durante la comparación por pares.

5.6.3 Aplicación del método AHP por factor

A continuación, luego de terminar la primera parte del método AHP y haber obtenido los pesos de las variables o factores, se procedió a jerarquizar las unidades que posee cada factor, siendo todos los procedimientos de forma similar al método AHP mostrado anteriormente para determinar la importancia de las variables o factores.

5.6.3.1. Aplicación del método AHP para el factor densidad de drenaje

La densidad de drenaje estará conformada por 05 subcriterios mostrados a continuación en la Tabla 34:

Tabla 34.

Matriz de comparaciones pareadas del factor densidad de drenaje

DRENAJE (km/km ²)	0 - 1,55	1,55 - 2,40	2,40 - 3,67	3,67 - 5,54	5,54 - 9
0 - 1,55	1,00	3,00	5,00	8,00	9,00
1,55 - 2,40	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
2,40 - 3,67	0,20	0,33	1,00	3,00	6,00
3,67 - 5,54	0,13	0,20	0,33	1,00	3,00
5,54 - 9	0,11	0,14	0,17	0,33	1,00
SUMA	1,77	4,68	9,50	17,33	26,00

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Luego de determinar los subcriterios, se procedió con la elaboración de la matriz de comparaciones normalizada dividiendo a cada valor en la matriz anterior sobre la suma total de

cada columna respectiva, siendo esta la resultante de los pesos de cada subcriterio o unidad, y seguidamente la importancia o relevancia de cada uno de ellos de forma descendente (mayor al menor valor). El resultado se muestra en la Tabla 35:

Tabla 35.

Matriz de comparación normalizada para el factor densidad de drenaje

Unidades de densidad de drenaje	Pesos relativos	Puestos
0 - 1,55	0,508	1
1,55 - 2,40	0,255	2
2,40 - 3,67	0,139	3
3,67 - 5,54	0,064	4
5,54 - 9	0,034	5

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Finalmente, se determinó la relación de consistencia de los grados de importancia calculados, multiplicando la matriz de pesos relativos por la matriz de comparaciones pareadas de acuerdo a los cálculos indicados en la Tabla 36:

Tabla 36.

Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios densidad de drenaje

Unidad de densidad de drenaje	Cálculo	Valor
0 - 1,55	$1*0,508 + 3*0,255 + 5*0,139 + 8*0,064 + 9*0,034$	2,785
1,55 - 2,40	$0,33*0,508 + 1*0,255 + 3*0,139 + 5*0,064 + 7*0,034$	1,398
2,40 - 3,67	$0,2*0,508 + 0,33*0,255 + 1*0,139 + 3*0,064 + 6*0,034$	0,721
3,67 - 5,54	$0,13*0,508 + 0,20*0,255 + 0,33*0,139 + 1*0,064 + 3*0,034$	0,326
5,54 - 9	$0,11*0,508 + 0,14*0,255 + 0,17*0,139 + 0,33*0,064 + 1*0,034$	0,171

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Después de ello se dividieron los valores resultantes de la Tabla 36, sobre los pesos relativos de la Tabla 35 con el fin de obtener el vector consistencia. La Tabla 37 muestra la obtención del vector consistencia:

Tabla 37.*Cálculo del vector consistencia*

Unidad de densidad de drenaje	Cálculo	Vector Consistencia
0 - 1,55	2,785/0,508	5,481
1,55 - 2,40	1,398/0,255	5,480
2,40 - 3,67	0,721/0,139	5,196
3,67 - 5,54	0,326/0,064	5,072
5,54 - 9	0,171/0,034	5,077
Λ		5,261

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Consecuentemente se realizaron los cálculos del índice de consistencia:

$$IC = \frac{5,261-5}{5-1} = 0,065 \quad (11)$$

Y finalmente se determinó el ratio o relación de consistencia:

$$RC = \frac{0,065}{1,115} = 0,059 \quad (12)$$

Según lo encontrado, el valor de la relación de consistencia resultó menor o igual a 0,1, demostrando la coherencia de los juicios de valor asignados a los subcriterios del factor densidad de drenaje, así como los niveles de importancia obtenidos.

5.6.3.2. Aplicación del método AHP para el factor densidad de lineamiento

La densidad de lineamientos está conformada por 05 subcriterios mostrados a continuación en la Tabla 38:

Tabla 38.

Matriz de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor densidad de lineamientos

LINEAMIENTO S (km/km ²)	1,34 - 2,53	0,86 - 1,34	0,49 - 0,86	0,17 - 0,49	0 - 0,17
1,34 - 2,53	1,00	3,00	5,00	7,00	8,00
0,86 - 1,34	0,33	1,00	4,00	6,00	7,00
0,49 - 0,86	0,20	0,25	1,00	3,00	4,00
0,17 - 0,49	0,14	0,17	0,33	1,00	3,00
0 - 0,17	0,13	0,14	0,25	0,33	1,00
SUMA	1,80	4,56	10,58	17,33	23,00

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Luego de determinar los subcriterios, se procedió con la elaboración de la matriz de comparaciones normalizada dividiendo de cada valor en la matriz anterior sobre la suma total de cada columna respectiva, siendo esta la resultante de los pesos de cada subcriterio o unidad, y seguidamente la importancia o relevancia de cada uno de ellos de forma descendente (mayor al menor valor). El resultado se muestra en la Tabla 39:

Tabla 39.

Matriz de comparación normalizada para los subcriterios del factor densidad de lineamiento

Unidades de densidad de lineamientos	Pesos relativos	Puestos
1,34 - 2,53	0,487	1
0,86 - 1,34	0,287	2
0,49 - 0,86	0,121	3
0,17 - 0,49	0,067	4
0 - 0,17	0,037	5

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Finalmente, se determinó la relación de consistencia de los grados de importancia calculados, multiplicando la matriz de pesos relativos por la matriz de comparaciones pareadas de acuerdo a los cálculos indicados en la Tabla 40:

Tabla 40.

Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor densidad de lineamiento

Unidad de densidad de lineamientos	Cálculo	Valor
1,34 - 2,53	$1*0,487 + 3*0,287 + 5*0,121 + 7*0,067 + 8*0,037$	2,723
0,86 - 1,34	$0,33*0,487 + 1*0,287 + 4*0,121 + 6*0,067 + 7*0,037$	1,599
0,49 - 0,86	$0,2*0,487 + 0,25*0,287 + 1*0,121 + 3*0,067 + 4*0,037$	0,642
0,17 - 0,49	$0,14*0,487 + 0,17*0,287 + 0,33*0,121 + 1*0,067 + 3*0,037$	0,337
0 - 0,17	$0,13*0,487 + 0,14*0,287 + 0,25*0,121 + 0,33*0,067 + 1*0,037$	0,192

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Después de ello se dividieron los valores obtenidos en la precedente tabla, con los pesos relativos resultantes con el fin de obtener el vector consistencia. La Tabla 41 muestra la obtención del vector consistencia:

Tabla 41.

Cálculo del vector consistencia

Unidad de densidad de lineamientos	Cálculo	Vector Consistencia
1,34 - 2,53	2,723/0,487	5,587
0,86 - 1,34	1,599/0,287	5,581
0,49 - 0,86	0,642/0,121	5,282
0,17 - 0,49	0,337/0,067	5,026
0 - 0,17	0,192/0,037	5,132
	Λ	5,322

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Consecuentemente se realizaron los cálculos del índice de consistencia

$$IC = \frac{5,322-5}{5-1} = 0,08 \quad (13)$$

Y finalmente se determinó el ratio o relación de consistencia:

$$RC = \frac{0,08}{1,115} = 0,072 \quad (14)$$

Según lo encontrado, el valor del ratio de consistencia resultó menor o igual a 0,1, demostrando la coherencia de los juicios de valor asignados a los subcriterios del factor densidad de drenaje, así como los niveles de importancia obtenidos.

5.6.3.3. Aplicación del método AHP para el factor geología

La geología está conformada por 07 subcriterios mostrados a continuación en la Tabla 42:

Tabla 42.

Matriz de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor geología

GEOLOGÍA	Rocas sedimentarias	Andesita	Brecha y Toba	Caliza	Dacita, Diorita y Monzonita	Esquistos, gneis, granito	Riolita
Rocas sedimentarias	1,00	2,00	3,00	4,00	7,00	8,00	9,00
Andesita	0,50	1,00	2,00	3,00	6,00	7,00	8,00
Brecha y Toba	0,33	0,50	1,00	3,00	6,00	7,00	8,00
Caliza	0,25	0,33	0,33	1,00	2,00	5,00	6,00
Dacita, Diorita y Monzonita	0,14	0,17	0,17	0,50	1,00	2,00	4,00
Esquistos, gneis, granito	0,13	0,14	0,14	0,20	0,50	1,00	2,00
Riolita	0,11	0,13	0,13	0,17	0,25	0,50	1,00
SUMA	2,46	4,27	6,77	11,87	22,75	30,50	38,00

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anhelía y Mori, 2020

Luego de determinar los subcriterios, se procedió con la elaboración de la matriz de comparaciones normalizada dividiendo de cada valor en la matriz anterior sobre la suma total de cada columna respectiva, siendo esta la resultante de los pesos de cada subcriterio o unidad, y seguidamente la importancia o relevancia de cada uno de ellos de forma descendente (mayor al menor valor). El resultado se muestra en la Tabla 43:

Tabla 43.

Matriz de comparación normalizada para los subcriterios del factor geología

Unidades de geología	Pesos relativos	Puestos
Rocas sedimentarias	0,352	1
Andesita	0,241	2
Brecha y Toba	0,194	3
Caliza	0,103	4
Dacita, Diorita y Monzonita	0,054	5
Esquistos, gneis, granito	0,033	6
Riolita	0,023	7

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anhelía y Mori, 2020

Finalmente, se determinó la relación de consistencia de los grados de importancia calculados, multiplicando la matriz de pesos relativos por la matriz de comparaciones pareadas de acuerdo a los cálculos indicados en la Tabla 44:

Tabla 44.

Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor geología

Unidad de geología	Cálculo	Valor
Rocas sedimentarias	$1*0,340 + 2*0,232 + 3*0,156 + 4*0,107 + 7*0,074 + 8*0,052 + 9*0,039$	0,352
Andesita	$0,5*0,340 + 1*0,232 + 2*0,156 + 3*0,107 + 6*0,074 + 7*0,052 + 8*0,039$	0,241
Brecha y Toba	$0,33*0,340 + 0,50*0,232 + 1*0,156 + 3*0,107 + 6*0,074 + 7*0,052 + 8*0,039$	0,194
Caliza	$0,25*0,340 + 0,33*0,232 + 0,33*0,156 + 1*0,107 + 2*0,074 + 5*0,052 + 6*0,039$	0,103
Dacita, Diorita y Monzonita	$0,14*0,340 + 0,17*0,232 + 0,17*0,156 + 0,50*0,107 + 1*0,074 + 2*0,052 + 4*0,039$	0,054
Esquistos, gneis, granito	$0,13*0,340 + 0,14*0,232 + 0,14*0,156 + 0,20*0,107 + 0,50*0,074 + 1*0,052 + 2*0,039$	0,033
Riolita	$0,1*0,340 + 0,13*0,232 + 0,13*0,156 + 0,17*0,107 + 0,25*0,074 + 0,50*0,052 + 1*0,039$	0,023

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Después de ello se dividieron los valores obtenidos en la precedente tabla, con los pesos relativos resultantes con el fin de obtener el vector consistencia. La Tabla 45 muestra la obtención del vector consistencia:

Tabla 45.

Cálculo del vector consistencia

Unidad de geología	Cálculo	Vector Consistencia
Rocas sedimentarias	2,677/0,352	7,610
Andesita	1,852/0,241	7,675
Brecha y Toba	1,479/0,194	7,631
Caliza	0,746/0,103	7,225
Dacita, Diorita y Monzonita	0,386/0,054	7,134
Esquistos, gneis, granito	0,233/0,033	7,089
Riolita	0,164/0,023	7,128
	Λ	7,356

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Consecuentemente se realizarán los cálculos del índice de consistencia

$$IC = \frac{7,356-7}{7-1} = 0,059 \quad (15)$$

Y finalmente se determinará el ratio o relación de consistencia:

$$RC = \frac{0,033}{1,115} = 0,044 \quad (16)$$

Según lo encontrado, el valor del ratio de consistencia resultó menor o igual a 0,1, demostrando la coherencia de los juicios de valor asignados a los subcriterios del factor densidad de drenaje, así como los niveles de importancia obtenidos.

5.6.3.4. Aplicación del método AHP para el factor pendiente

La pendiente está conformada por 05 subcriterios mostrados a continuación en la Tabla 46:

Tabla 46.

Cálculo del vector consistencia

Pendiente (°)	0 - 8,34	8,35 - 16,38	16,38 - 25,69	25,69 - 36,60	36,60 - 81,88
0 - 8,34	1,00	3,00	4,00	7,00	8,00
8,35 - 16,38	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
16,38 - 25,69	0,25	0,33	1,00	3,00	5,00
25,69 - 36,60	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
36,60 - 81,88	0,13	0,14	0,20	0,33	1,00
SUMA	1,85	4,68	8,53	16,33	24,00

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anhelía y Mori, 2020

Luego de determinar los subcriterios, se procedió con la elaboración de la matriz de comparaciones normalizada dividiendo de cada valor en la matriz anterior sobre la suma total de cada columna respectiva, siendo esta la resultante de los pesos de cada subcriterio o unidad, y seguidamente la importancia o relevancia de cada uno de ellos de forma descendente (mayor al menor valor). El resultado se muestra en la Tabla 47:

Tabla 47.

Matriz de comparación normalizada para los subcriterios del factor pendiente

Unidades de pendiente	Pesos relativos	Puestos
0 - 8,34	0,482	1
8,35 - 16,38	0,269	2
16,38 - 25,69	0,143	3
25,69 - 36,60	0,069	4
36,60 - 81,88	0,037	5

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anhelía y Mori, 2020

Finalmente, se determinó la relación de consistencia de los grados de importancia calculados, multiplicando la matriz de pesos relativos por la matriz de comparaciones pareadas de acuerdo a los cálculos indicados en la Tabla 48:

Tabla 48.

Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor pendiente

Unidad de pendiente	Cálculo	Valor
0 - 8,34	$1*0,482 + 3*0,269 + 4*0,143 + 7*0,069 + 8*0,037$	2,638
8,35 - 16,38	$0,33*0,482 + 1*0,269 + 3*0,143 + 5*0,069 + 7*0,037$	1,461
16,38 - 25,69	$0,25*0,482 + 0,33*0,269 + 1*0,143 + 3*0,069 + 5*0,037$	0,744
25,69 - 36,60	$0,14*0,482 + 0,20*0,269 + 0,33*0,143 + 1*0,069 + 3*0,037$	0,350
36,60 - 81,88	$0,13*0,482 + 0,14*0,269 + 0,20*0,143 + 0,33*0,069 + 1*0,037$	0,187

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anhelía y Mori, 2020

Después de ello se dividieron los valores obtenidos en la precedente tabla, con los pesos relativos resultantes con el fin de obtener el vector consistencia. La Tabla 49 muestra la obtención del vector consistencia:

Tabla 49.

Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor pendiente

Unidad de densidad de drenaje	Cálculo	Vector Consistencia
0 - 8,34	$2,638/0,482$	5,467
8,35 - 16,38	$1,461/0,269$	5,438
16,38 - 25,69	$0,744/0,143$	5,199
25,69 - 36,60	$0,350/0,069$	5,063
36,60 - 81,88	$0,187/0,037$	5,094
	Λ	5,252

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anhelía y Mori, 2020

Consecuentemente se realizaron los cálculos del índice de consistencia

$$IC = \frac{5,252-5}{5-1} = 0,063 \quad (17)$$

Y finalmente se determinó el ratio o relación de consistencia:

$$RC = \frac{0,080}{1,115} = 0,057 \quad (18)$$

Según lo encontrado, el valor del ratio de consistencia resultó menor o igual a 0,1, demostrando la coherencia de coherentes los juicios de valor asignados a los subcriterios del factor densidad de drenaje, así como los niveles de importancia obtenidos.

5.6.3.5. Aplicación del método AHP para el factor precipitación

La precipitación está conformada por 05 subcriterios mostrados a continuación en la Tabla 50:

Tabla 50.

Matriz de comparaciones pareadas de los subcriterios del factor precipitación

Precipitación (mm/año)	471,48 - 625,04	370,28 - 471,48	241,67 - 370,28	98,21 - 241,67	0 - 98,21
471,48 - 625,04	1,00	2,00	3,00	7,00	8,00
370,28 - 471,48	0,50	1,00	4,00	6,00	7,00
241,67 - 370,28	0,33	0,25	1,00	5,00	6,00
98,21 - 241,67	0,14	0,17	0,20	1,00	3,00
0 - 98,21	0,13	0,14	0,17	0,33	1,00
SUMA	2,10	3,56	8,37	19,33	25,00

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anhelía y Mori, 2020

Luego de determinar los subcriterios, se procedió con la elaboración de la matriz de comparaciones normalizada dividiendo de cada valor en la matriz anterior sobre la suma total de cada columna respectiva, siendo esta la resultante de los pesos de cada subcriterio o unidad, y seguidamente la importancia o relevancia de cada uno de ellos de forma descendente (mayor al menor valor). El resultado se muestra en la Tabla 51:

Tabla 51.

Matriz de comparación normalizada para los subcriterios del factor precipitación

Unidades de precipitación	Pesos relativos	Puestos
471,48 - 625,04	0.416	1
370,28 - 471,48	0.317	2
241,67 - 370,28	0.169	3
98,21 - 241,67	0.062	4
0 - 98,21	0.035	5

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anhelía y Mori, 2020

Finalmente, se determinó la relación de consistencia de los grados de importancia calculados, multiplicando la matriz de pesos relativos por la matriz de comparaciones pareadas de acuerdo a los cálculos indicados en la Tabla 52:

Tabla 52.*Matriz de comparación normalizada para los subcriterios del factor precipitación*

Unidad de precipitación	Cálculo	Valor
471,48 - 625,04	$1*0,487 + 2*0,287 + 3*0,121 + 7*0,067 + 8*0,037$	2.276
370,28 - 471,48	$0,5*0,487 + 1*0,287 + 4*0,121 + 6*0,067 + 7*0,037$	1.823
241,67 - 370,28	$0,33*0,487 + 0,25*0,287 + 1*0,121 + 5*0,067 + 6*0,037$	0.910
98,21 - 241,67	$0,14*0,487 + 0,17*0,287 + 0,20*0,121 + 1*0,067 + 3*0,037$	0.314
0 - 98,21	$0,13*0,487 + 0,14*0,287 + 0,17*0,121 + 0,33*0,067 + 1*0,037$	0.182

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Después de ello se dividieron los valores obtenidos en la precedente tabla, con los pesos relativos resultantes con el fin de obtener el vector consistencia. La Tabla 53 muestra la obtención del vector consistencia:

Tabla 53.*Cálculo del vector consistencia*

Unidad de densidad de drenaje	Cálculo	Vector Consistencia
471,48 - 625,04	2,276/0,416	5,476
370,28 - 471,48	1,823/0,317	5,742
241,67 - 370,28	0,910/0,169	5,371
98,21 - 241,67	0,314/0,062	5,063
0 - 98,21	0,182/0,035	5,136
Λ		5,358

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Consecuentemente se realizaron los cálculos del índice de consistencia

$$IC = \frac{5,358-5}{5-1} = 0,089 \quad (19)$$

Y finalmente se determinó el ratio o relación de consistencia:

$$RC = \frac{0,080}{1,115} = 0,080 \quad (20)$$

Según lo encontrado, el valor del ratio de consistencia resultó menor o igual a 0,1, demostrando la coherencia de coherentes los juicios de valor asignados a los subcriterios del factor densidad de drenaje, así como los niveles de importancia obtenidos.

5.6.3.6. Aplicación del método AHP para el factor Uso de Suelo

El uso de suelo estará conformado por 05 subcriterios en el área de estudio, la cual se muestra en la Tabla 54:

Tabla 54.

Matriz de comparaciones pareadas del factor Uso de Suelo

Uso de suelo	Cuerpo de Agua	Vegetación Húmeda	Área Agrícola	Suelo Desnudo
Cuerpo de Agua	1,00	3,00	5,00	7,00
Vegetación Húmeda	0,33	1,00	4,00	6,00
Área Agrícola	0,20	0,25	1,00	3,00
Suelo Desnudo	0,14	0,17	0,33	1,00
Área Urbana	0,13	0,14	0,25	0,33
SUMA	1,80	4,56	10,58	17,33

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Luego de determinar los subcriterios, se procedió con la elaboración de la matriz de comparaciones normalizada dividiendo de cada valor en la matriz anterior sobre la suma total de cada columna respectiva, siendo esta la resultante de los pesos de cada subcriterio o unidad, y seguidamente la importancia o relevancia de cada uno de ellos de forma descendente (mayor al menor valor). El resultado se muestra en la Tabla 55:

Tabla 55.

Matriz de comparación normalizada para el factor Uso de Suelo

Unidades de Uso de Suelo	Pesos relativos	Puestos
Cuerpo de Agua	0,487	1
Vegetación Húmeda	0,287	2
Área Agrícola	0,121	3
Suelo Desnudo	0,067	4
Área Urbana	0,037	5

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anchelía y Mori, 2020

Finalmente, se determinó la relación de consistencia de los grados de importancia calculados, multiplicando la matriz de pesos relativos por la matriz de comparaciones pareadas de acuerdo a los cálculos indicados en la Tabla 56:

Tabla 56.

Cálculo del producto de la matriz de pesos relativos y de comparaciones pareadas de los subcriterios densidad de drenaje

Unidad de Uso de Suelo	Cálculo	Valor
Cuerpo de Agua	$1*0,487 + 3*0,287 + 5*0,121 + 7*0,067 + 8*0,037$	2,723
Vegetación Húmeda	$0,33*0,487 + 1*0,287 + 4*0,121 + 6*0,067 + 7*0,037$	1,599
Área Agrícola	$0,2*0,487 + 0,25*0,287 + 1*0,121 + 3*0,067 + 4*0,037$	0,642
Suelo Desnudo	$0,14*0,487 + 0,17*0,287 + 0,33*0,121 + 1*0,067 + 3*0,037$	0,337
Área Urbana	$0,13*0,487 + 0,14*0,287 + 0,25*0,121 + 0,33*0,067 + 1*0,037$	0,192

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anhelía y Mori, 2020

Después de ello se dividieron los valores obtenidos en la precedente tabla, con los pesos relativos resultantes con el fin de obtener el vector consistencia. La Tabla 57 muestra la obtención del vector consistencia:

Tabla 57.

Cálculo del vector consistencia

Unidad de Uso de Suelo	Cálculo	Vector Consistencia
Cuerpo de Agua	$2,723/0,487$	5,587
Vegetación Húmeda	$1,599/0,287$	5,581
Área Agrícola	$0,642/0,121$	5,282
Suelo Desnudo	$0,337/0,067$	5,026
Área Urbana	$0,192/0,037$	5,132
	Λ	5,322

Nota. Elaboración propia, adaptado de Anhelía y Mori, 2020

Consecuentemente se realizaron los cálculos del índice de consistencia

$$IC = \frac{5,322-5}{5-1} = 0,08 \quad (21)$$

Y finalmente se determinó el ratio o relación de consistencia:

$$RC = \frac{0,080}{1,115} = 0,072 \quad (22)$$

Según lo encontrado, el valor del ratio de consistencia resultó menor o igual a 0,1, demostrando la coherencia de coherentes los juicios de valor asignados a los subcriterios del factor densidad de drenaje, así como los niveles de importancia obtenidos.

5.6.4. Generación del mapa potencial de aguas subterráneas

Para ello se hará uso del Índice de potencialidad de aguas subterráneas, el cual denota a la “magnitud adimensional formada por la suma de los pesos relativos de los parámetros que afectan el potencial de las aguas subterráneas”. (Çelik, 2019, p.5) En el presente estudio se tomarán en cuenta los pesos relativos de cada uno de los factores o criterios: densidad de drenaje, densidad de lineamientos, geología, pendiente, precipitación y uso de suelo, cuyas ponderaciones de importancia tanto de los factores como de los subcriterios por cada factor han sido previamente determinados por el método AHP, con ayuda del GIS y Teledetección, La siguiente ecuación indica el Índice Potencial de Aguas Subterráneas:

$$GWPI = \sum_{i=1}^a W_i * \sum_{w=1}^b X_j (w_i x_j) \quad (23)$$

Donde:

W_i : Peso normalizado respecto a la capa temática j

X_j : Rango de cada clase respecto a la capa j

a : Número de factores

b : Número de subfactores

En términos simples la ecuación quedaría de siguiente forma:

$$GWPI = Pdd_w * Pdd_{wf} + Pdl_w * Pdl_{wf} + Pg_w * Pg_{wf} + Ppe_w * Ppe_{wf} + Ppr_w * Ppr_{wf} + Pus_w * Pus_{wf} \quad (24)$$

Donde:

w : peso normalizado por cada factor

w_f : peso normalizado por cada subfactor

dd : Densidad de drenaje

dl : Densidad de lineamientos

g : geología

pe : pendiente

pr : precipitación

us : uso de suelo

5.6.5. Cálculo de la precisión del mapa potencial de aguas subterráneas

Para determinar la precisión del modelo de zonas de agua subterránea creado a través del método AHP con ayuda de SIG y teledetección se tomaron los siguientes pasos señalados a continuación:

- Reclasificar el Raster del Índice Potencial de aguas subterráneas con ayuda de la herramienta “Reclassify” a través del método de clasificación “Natural Breaks” en 05 categorías: (1) Muy alto, (2) alto, (3) medio, (4) bajo, (5) muy bajo; respecto a su presencia de aguas subterráneas.
- Convertir el archivo raster (formato .tif) en un archivo shapefile (.shp) con ayuda de la herramienta “Raster to Polygon”
- Seleccionar los datos del shapefiles cuyo atributo indique zonas de alta y muy alta presencia de aguas subterráneas y convertir dichas entidades en un nuevo shapefile con ayuda de la herramienta “Export Data...”
- Seleccionar los puntos de agua subterránea que se intersecan con las zonas de alta y muy alta presencia de aguas subterráneas del modelo con ayuda de la herramienta “Select feature by location”
- Abrir la tabla de atributos y verificar la cantidad de puntos que se encuentran intersecadas con las zonas de alta y muy alta presencia de aguas subterráneas.
- Determinar el nivel de precisión del método a través de la siguiente fórmula:

$$\%Presición = \frac{\# \text{ puntos de agua subt. con alto y muy alto potencial según método AHP}}{\# \text{ total de puntos de agua subterránea}} * 100 \%$$

(25)

CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Resultados por cada factor

6.1.1. Factor densidad de drenaje

Los resultados de la densidad de drenaje en el área de estudio indicaron valores que van desde 0,001 km/km² hasta 9,105 km/km², los cuales fueron reclasificados de acuerdo a lo señalado en la Tabla 58:

Tabla 58.

Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Densidad de Drenaje

Presencia de agua subterránea	Rango de valores de densidad de drenaje (km/km ²)	Valor asignado por el método AHP
Muy alto	0 - 1,55	0,508
Alto	1,55 - 2,40	0,255
Medio	2,40 - 3,67	0,139
Bajo	3,67 - 5,54	0,064
Muy bajo	5,54 – 9,105	0,034

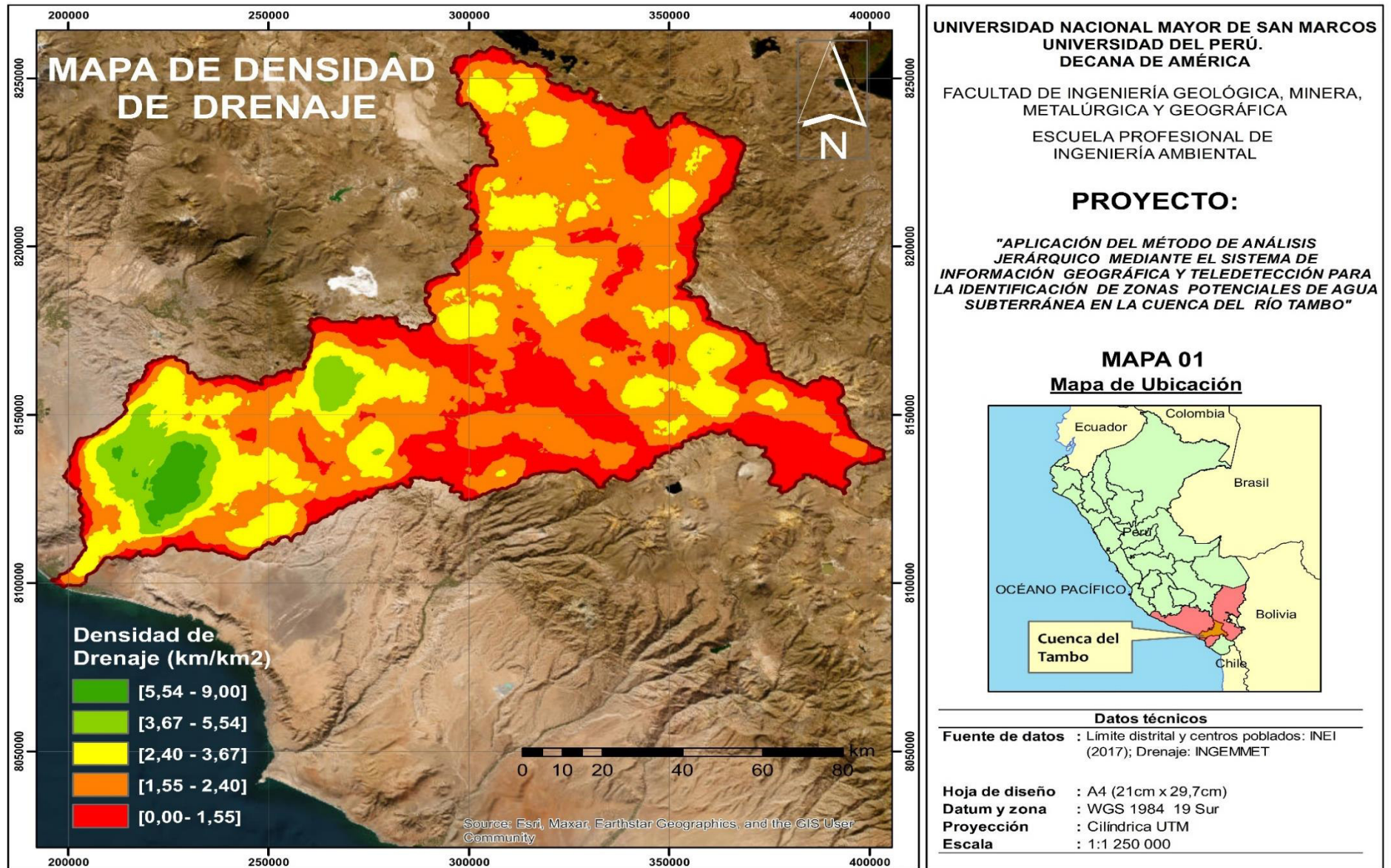
Nota. Elaboración propia

De los cuales las áreas con valores de densidad de drenaje más altas hacen referencia a áreas con menor capacidad de infiltración, en consecuencia, tendrán menor posibilidad de contener aguas subterráneas; mientras que, áreas con menor valor de densidad de drenaje indican mejor capacidad de infiltración y consecuentemente mayor posibilidad de acumular agua subterránea (Mohammadi-Behzad et al., 2019).

Según lo indica la Figura 4, las áreas con menor densidad de drenaje se encuentran la cuencas media y alta del Tambo, mientras que las áreas con mayor densidad de drenaje, y por ende menor capacidad de infiltración, se encuentran en la cuenca baja.

Figura 4:

Mapa de Densidad de Drenaje



6.1.2. Factor densidad de lineamiento

Los resultados de la densidad de lineamientos en el área de estudio indicaron valores que van desde 0,001 km/km² hasta 2,53 km/km², los cuales fueron reclasificados de acuerdo a lo señalado en la Tabla 59:

Tabla 59.

Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Densidad de Lineamientos

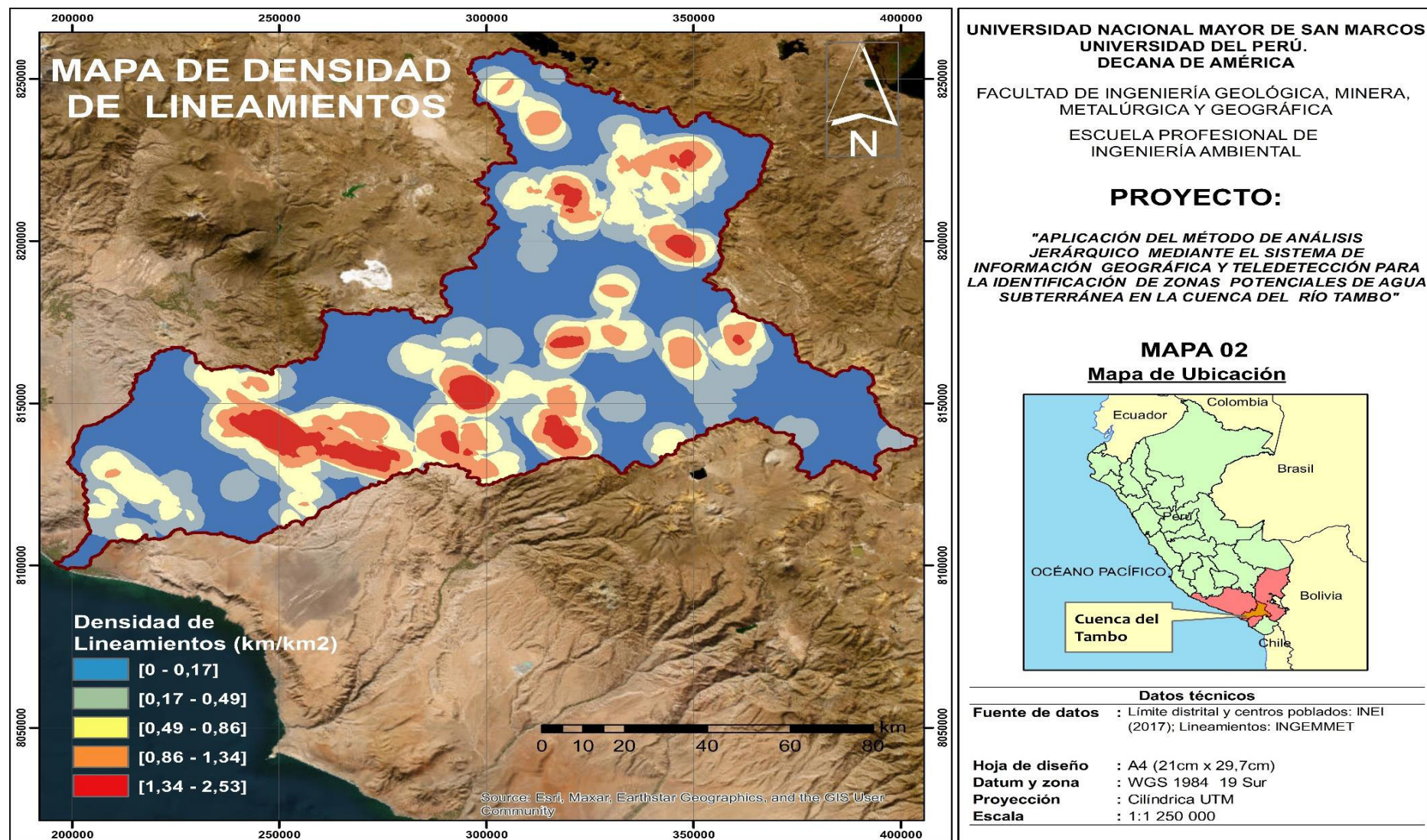
Presencia de agua subterránea	Rango de valores de densidad de lineamientos (km/km ²)	Valor asignado por el método AHP
Muy alto	1,34 - 2,53	0,487
Alto	0,86 - 1,34	0,287
Medio	0,49 - 0,86	0,121
Bajo	0,17 - 0,49	0,067
Muy bajo	0 - 0,17	0,037

Dentro de la cuenca, encontramos áreas con valores de densidad de lineamiento altos, los cuales son indicadores de presencia de fallas, por ende de permeabilidad secundaria, y estas a su vez de mayor capacidad de almacenamiento de agua subterránea, en tanto que valores bajos de densidad de lineamientos, no representa zonas adecuadas para el almacenamiento de agua subterránea (Mohammadi-Behzad et al., 2019).

Como se muestra en la Figura 5, las áreas con mayor densidad de lineamientos se encuentran en la cuenca media del Tambo, área donde se encuentra concentrada la mayor cantidad de fallas geológicas en dicha cuenca y, por ende, estas zonas tienden a tener mayor capacidad de almacenamiento de aguas subterráneas.

Figura 5.

Mapa de Densidad de Lineamientos



6.1.3. Factor geología

Los resultados de la geología dentro del área de estudio nos permitieron identificar múltiples unidades geológicas/ litológicas, las cuales fueron agrupadas en macrounidades geológicas, basadas principalmente en la permeabilidad del grupo litológico según lo señalado por Carpio Fernández et al. (2022) y Peña L. & Sulca O. (2016), de acuerdo a la Tabla 60.

Tabla 60.

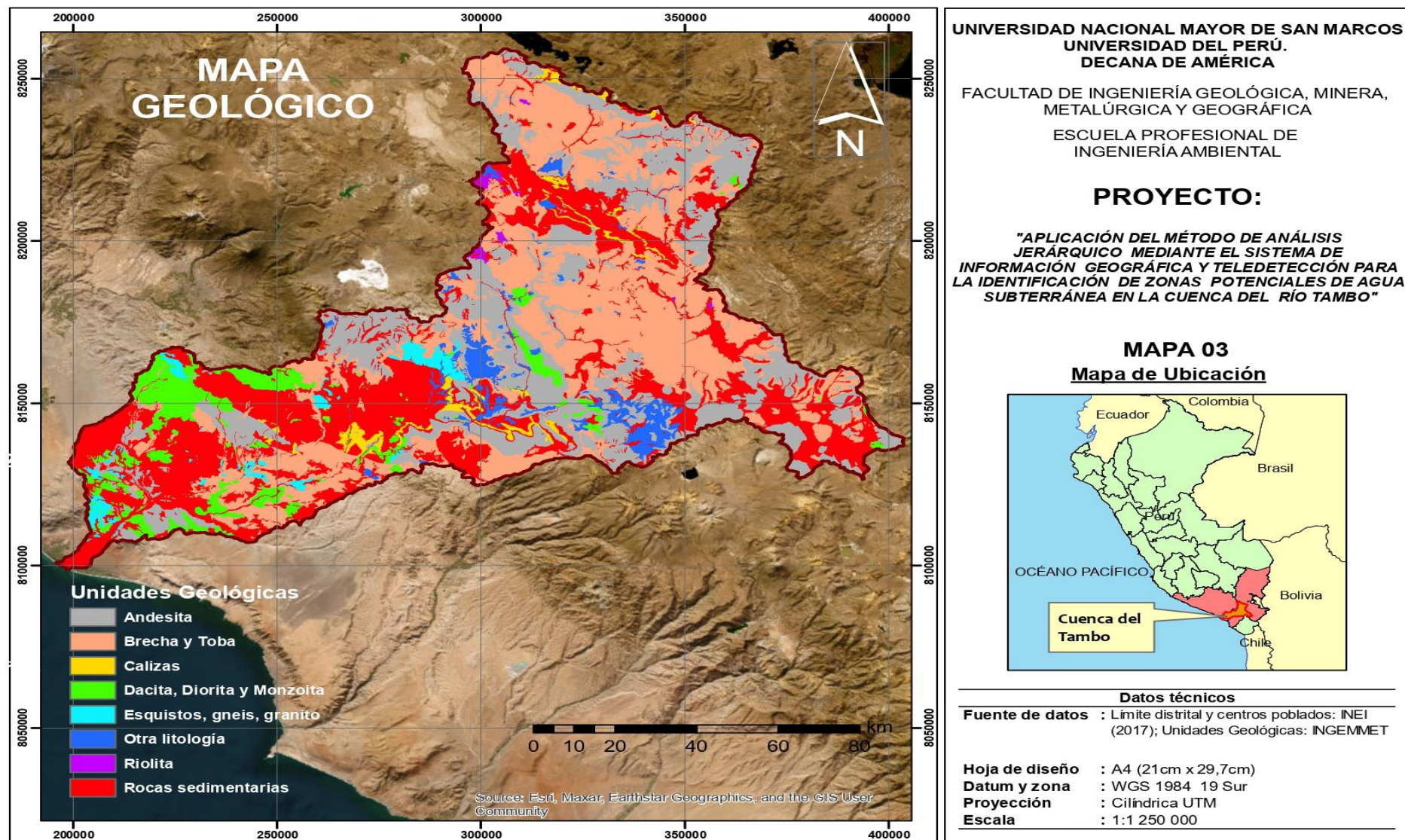
Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Geología

Presencia de agua subterránea	Unidades litológicas	Valor asignado por el método AHP
Muy alto	Rocas sedimentarias	0,352
	Andesita	0,241
Alto	Brecha y Toba	0,194
Medio	Caliza	0,103
Bajo	Esquisto, Gneiss y granito	0,054
	Riolita	0,033
Muy bajo	Dacita, diorita y monzonita	0,023

Dentro del área de la cuenca encontramos los siguientes macrogrupos de unidades geológicas Andesitas (1,5 a 19,87 m/día); Brechas y Tobas (0,2 a 8,64 m/día); Calizas (0,01 a 10 m/día); Esquisto, Gneiss y Granito (10^{-5} a 1 m/día); Riolita (10^{-5} a 1 m/día); Dacita, diorita y monzonita (10^{-9} a 10^{-5} m/día); las cuales han sido clasificados de acuerdo a su permeabilidad según lo señalado por Carpio Fernández et al, (2022) y Peña L, & Sulca O, (2016), es decir la capacidad de permitir el paso de agua bajo su superficie y por ende ser un posible almacenamiento de agua subterránea, Ante ello, unidades geológicas con mayor permeabilidad resultan en áreas con mayor capacidad de almacenar aguas subterráneas, mientras que unidades geológicas con menor permeabilidad representa áreas con baja capacidad de contener aguas subterráneas.

Como se puede visualizar en la figura 6, las distintas unidades geológicas identificadas en la cuenca del Tambo se encuentran distribuidas de forma aleatoria en la cuenca de estudio; asimismo, la predominancia en la litología está conformada por rocas sedimentarias, en la parte baja de la cuenca, y por Andesitas, Brechas y Tobas en la parte alta de la cuenca.

Figura 6.
Mapa Geológico



6.1.4. Factor pendiente

Los resultados de pendiente en la superficie de estudio indicaron valores que oscilan desde 0° hasta 81,88°, los cuales fueron reclasificados de acuerdo a lo señalado en la Tabla 61:

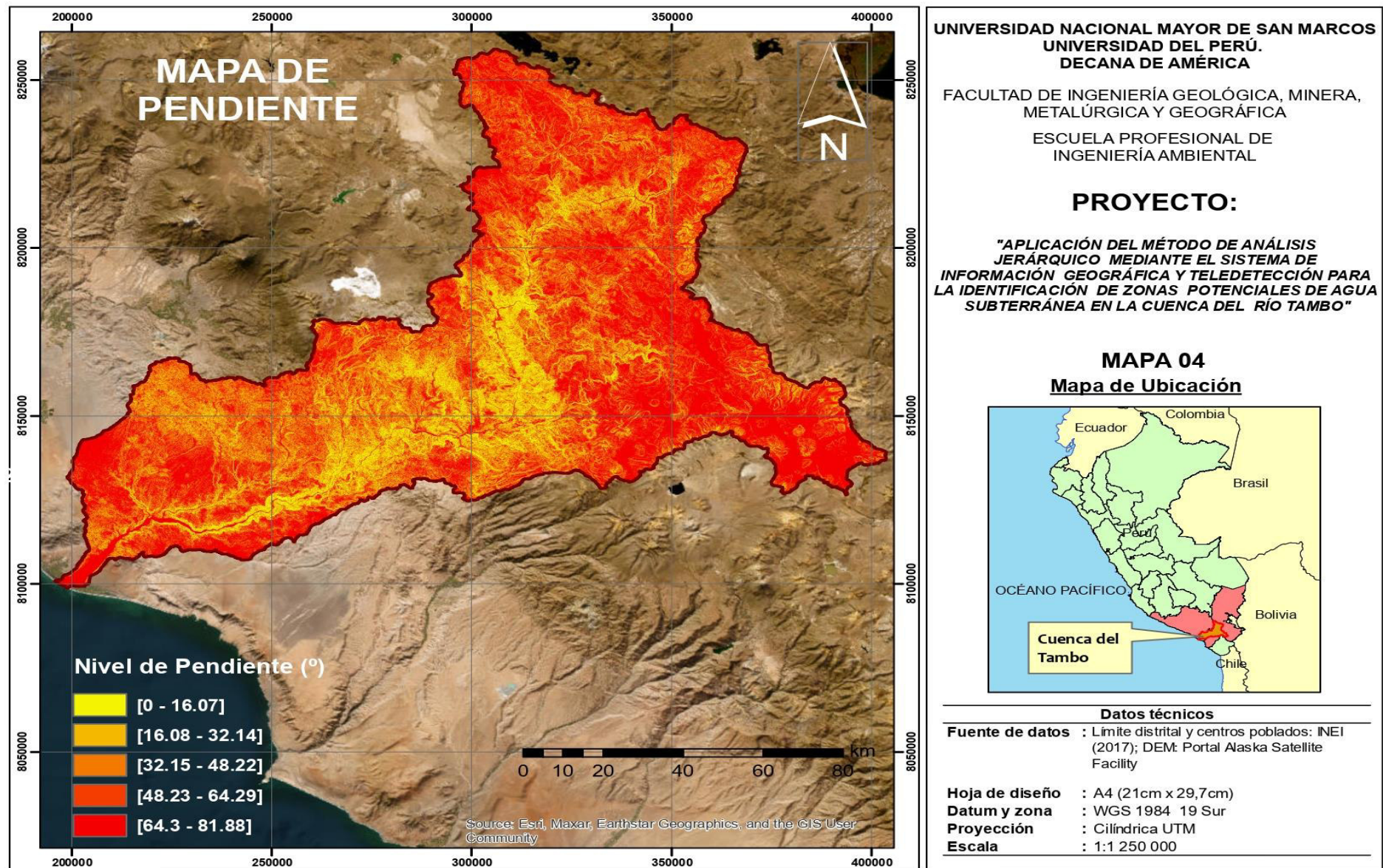
Tabla 61.

Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Pendiente

Presencia de agua subterránea	Rango de valores de pendiente (°)	Valor asignado por el método AHP
Muy alto	0 - 16,07	0,482
Alto	16,08 - 32,14	0,269
Medio	32,15 - 48,22	0,143
Bajo	48,23 - 64,29	0,069
Muy bajo	64,3 - 81,88	0,037

De los cuales aquellas áreas que tengan menores valores de pendiente o inclinación por su aumento de contacto con la superficie indican buena capacidad de infiltración y por ende mejor capacidad de acumulación de aguas subterráneas; mientras que mayores valores de pendiente indican mayor escorrentía, es decir menor acumulación de aguas subterráneas (Faustino et al., 2009). Como se puede visualizar en la Figura 7, las áreas con mayor nivel de pendiente se encuentran principalmente en la parte alta de la cuenca, mientras que, en la parte media, predominan niveles medios de pendiente.

Figura 7.
Mapa de Pendientes



6.1.5. Factor precipitación

Los resultados de precipitación media anual en la superficie de estudio indicaron valores que van desde 0 mm/año hasta 625,04 mm/año, los cuales fueron reclasificados de acuerdo a lo señalado en la Tabla 62:

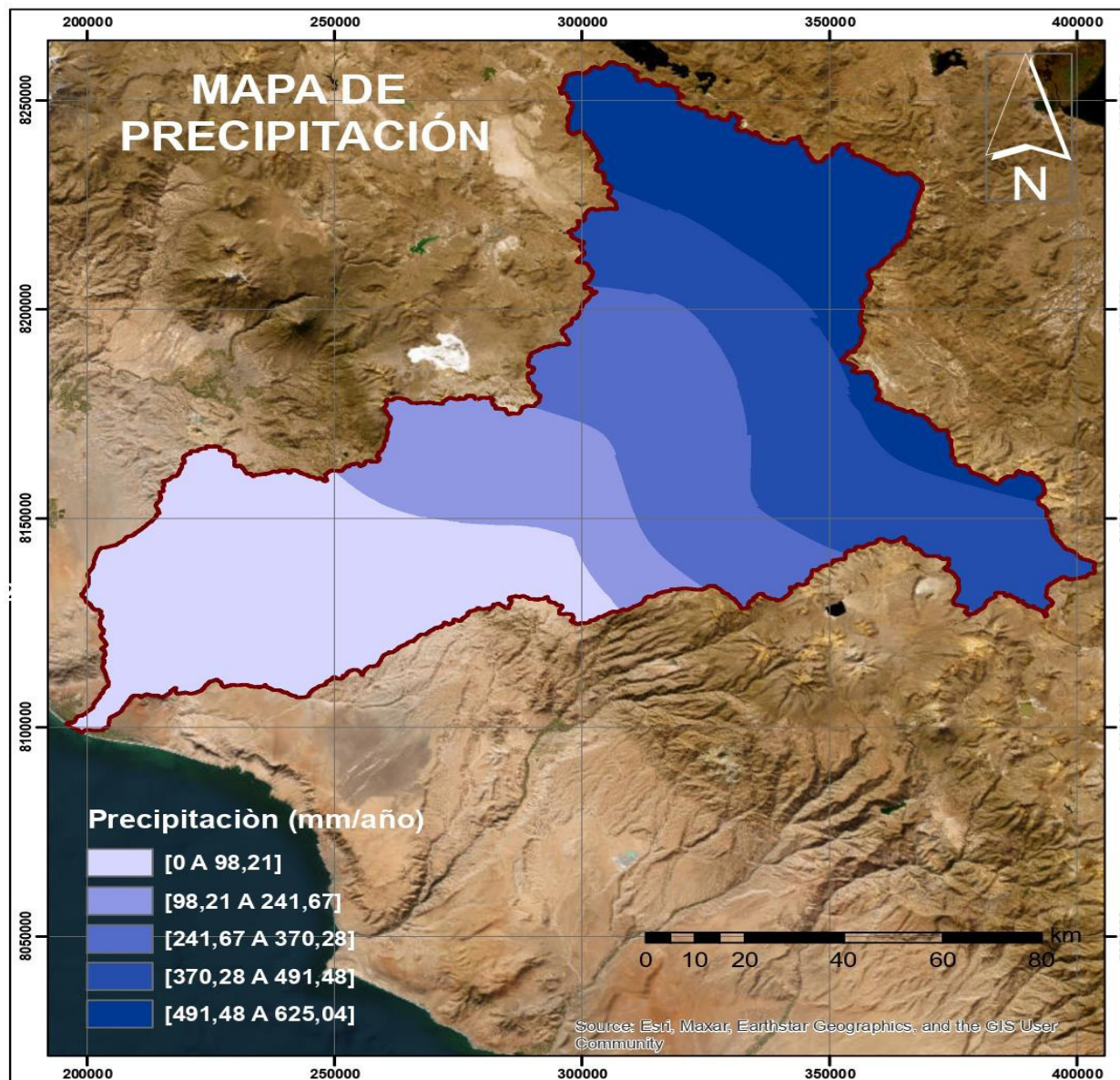
Tabla 62.

Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Precipitación

Presencia de agua subterránea	Rango de valores de precipitación (mm/año)	Valor asignado por el método AHP
Muy alto	491,48 a 625,04	0,416
Alto	370,28 a 491,48	0,317
Medio	241,67 a 370,28	0,169
Bajo	98,21 a 241,67	0,062
Muy bajo	0 a 98,21	0,035

Los valores de precipitación promedian un conjunto de datos en un periodo de 40 años (1981-2021), de las cuales aquellas zonas en donde la precipitación sea mayor indicarán mayor posibilidad de acumular agua subterránea, mientras que en aquellas en donde la precipitación sea escasa, la posibilidad de almacenar agua subterránea será baja. La figura 8 evidencia claramente que en las partes altas de la cuenca se encuentran mayores niveles de precipitación, valores que van disminuyendo mientras más nos acercamos a la cuenca baja del Tambo.

Figura 8.
Mapa de Precipitación



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
UNIVERSIDAD DEL PERÚ.
DECANA DE AMÉRICA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA,
METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO:

**"APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS
JERÁRQUICO MEDIANTE EL SISTEMA DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN PARA
LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA DEL RÍO TAMBO"**

MAPA 05

Mapa de Ubicación



Datos técnicos

Fuente de datos : Límite distrital y centros poblados: INEI
(2017); Precipitación: PISCO - SENAMHI

Hoja de diseño : A4 (21cm x 29,7cm)

Datum y zona : WGS 1984 19 Sur

Proyección : Cilíndrica UTM

Escala : 1:1 250 000

6.1.6. Factor uso de suelo

Los resultados del uso de suelo dentro del área de estudio nos permitieron identificar 05 macroclases las cuales fueron jerarquizadas de acuerdo con la Tabla 63:

Tabla 63.

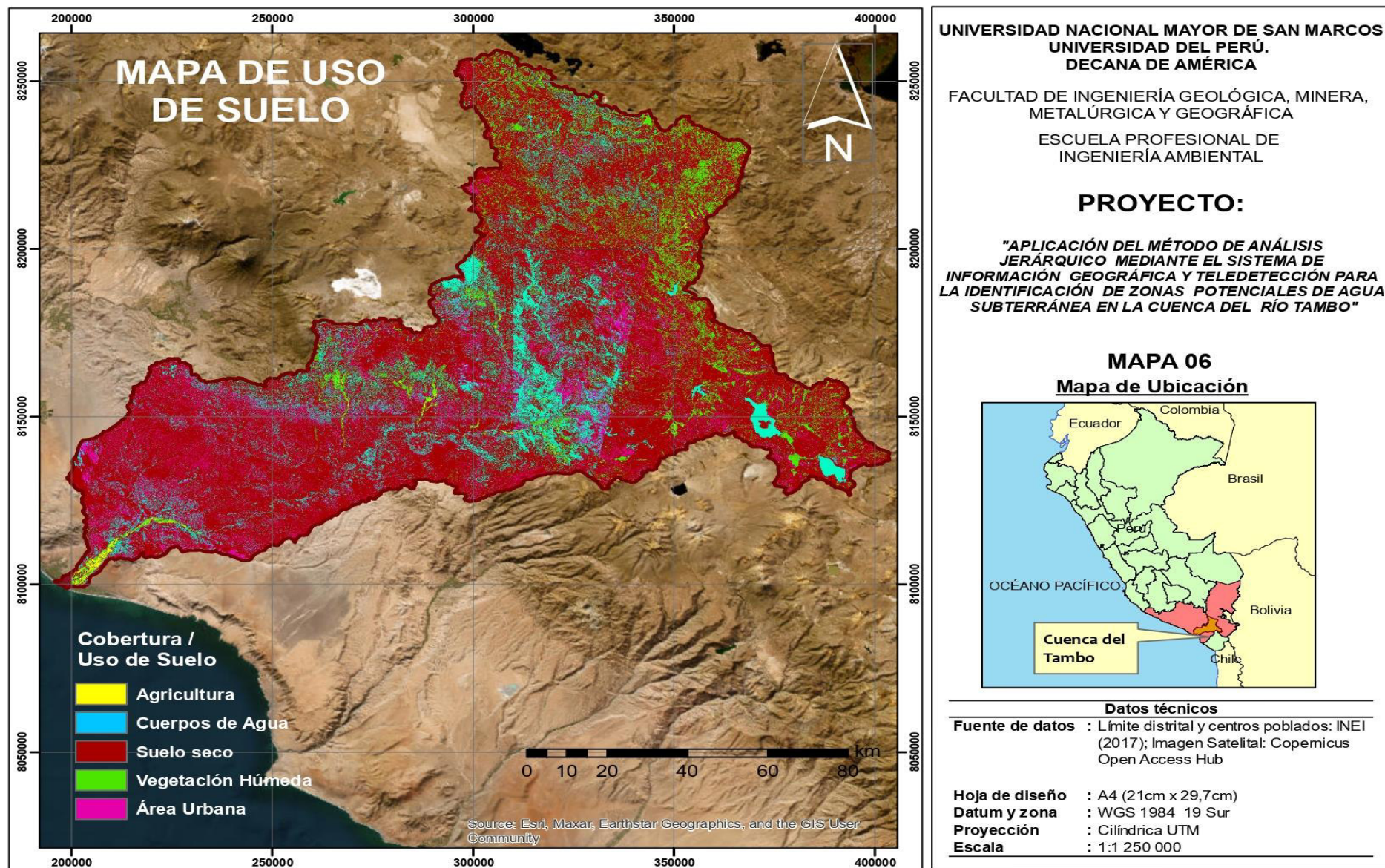
Valor asignado a través del método AHP por subcategoría del factor Uso de Suelo

Presencia de agua subterránea	Macroclases de uso de suelo	Valor asignado por el método AHP
Muy alto	Cuerpos de Agua	0,487
Alto	Vegetación Húmeda	0,287
Medio	Agricultura	0,121
Bajo	Suelo seco	0,067
Muy bajo	Área Urbana	0,037

De las cuales aquellas macroclases de suelo seco y áreas urbanas tienen menor capacidad de infiltración con una alta tasa de flujo superficial, correspondiendo a zonas con baja y muy baja posibilidad de contener aguas subterráneas; por otra parte zonas agrícolas posee mediana capacidad de infiltración; por último, en aquellas zonas de vegetación húmeda y cuerpos de agua por retención del flujo superficial poseen mejor capacidad de almacenar aguas subterráneas (Çelik, 2019) La Figura 9 muestra que en la superficie de estudio predominan zonas de suelo seco, seguidos de vegetación húmeda y cuerpos de agua principalmente en las partes altas de la cuenta y en menor cantidad las áreas agrícolas y urbanas en la cuenca baja.

Figura 9.

Mapa de Cobertura/ Uso de Suelo



6.2. Índice Potencial de Agua Subterránea (GWPI) y validación

Los resultados luego de haber efectuado la fórmula para determinar el Índice Potencial de Agua Subterránea en la cuenca del Tambo se muestran a continuación en la Ecuación 26, Tabla 64 y en la Figura 10:

$$GWPI = 0.146 * [0.034 - 0.508] + 0.036 * [0.037 - 0.487] + 0.403 * [0.023 - 0.352] + 0.274 * [0.037 - 0.482] + 0.087 * [0.035 - 0.416] + 0.053 * [0.037 - 0.487] \quad [26]$$

Obteniendo así que los valores Índice Potencial de Agua Subterránea para la cuenca de estudio fluctúan en el siguiente rango:

$$GWPI = [0.035 - 0.429]$$

Tabla 64.

Áreas potenciales de agua subterránea

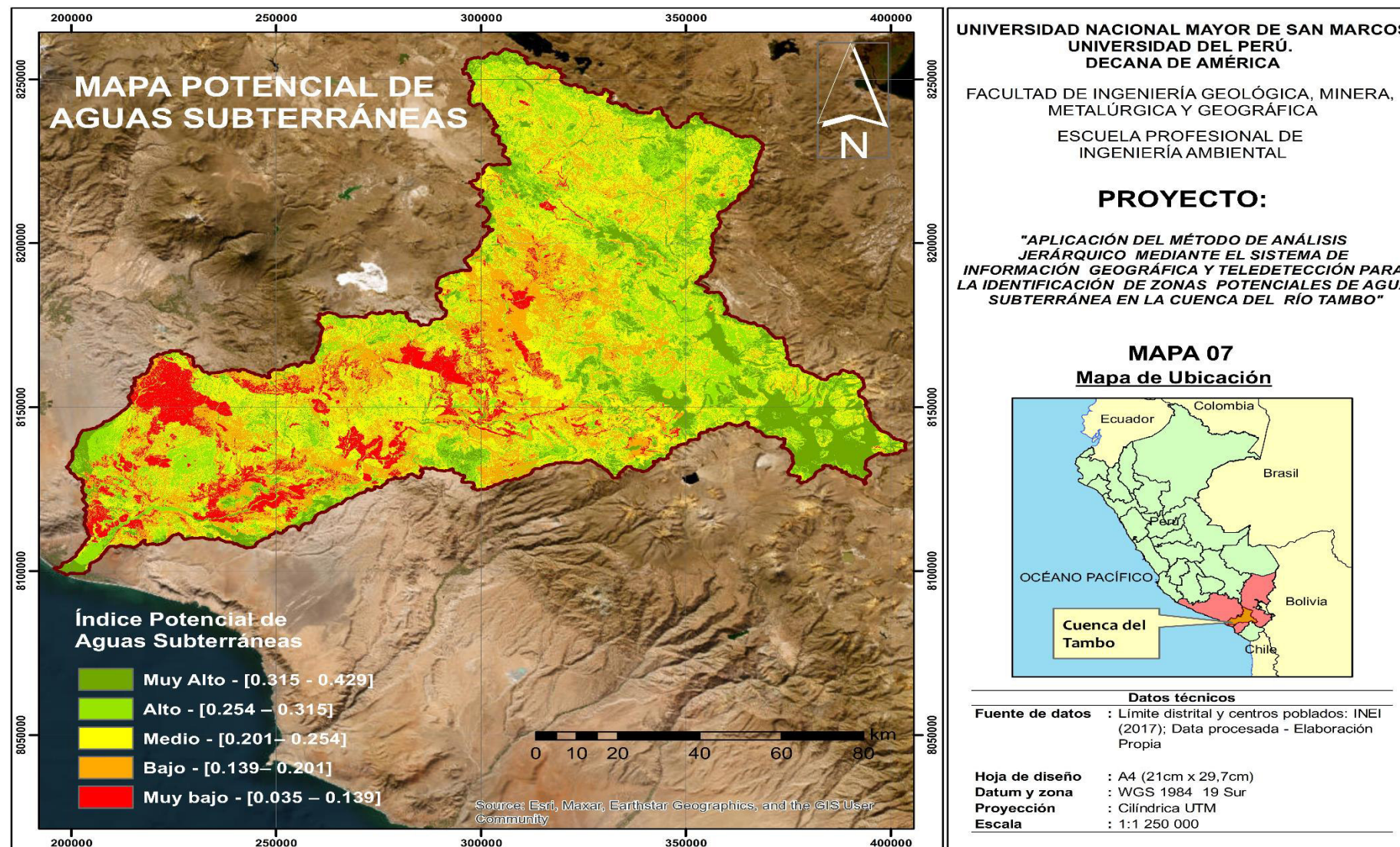
Presencia de agua subterránea	GWPI	% Área	Área
Muy alto	[0,315 - 0,429]	13,36%	1737,81
Alto	[0,254 – 0,315]	24,58%	3197,23
Medio	[0,201– 0,254]	30,61%	3981,50
Bajo	[0,139– 0,201]	22,70%	2953,35
Muy bajo	[0,035 – 0,139]	8,75%	1138,71

Asimismo, y según lo señalado en la Tabla 64, el estudio mostró que el 37,84% del área de estudio tendría alta y muy alta presencia de aguas subterráneas; el 30,61% tendrían mediana posibilidad y el 31,45% tendría un baja y muy baja posibilidad para almacenar dichas aguas.

En lo correspondiente a la validación del modelo de zonas de agua subterránea en la cuenca del Tambo; al comparar el registro de aguas subterráneas identificadas por el INGEMMET con las áreas determinadas por el modelo de la ecuación del Índice Potencial de Aguas Subterráneas a través del método AHP; se encontró que, de 872 puntos, 585 (67.1%) se encontraban en zonas de alta y muy alta presencia de aguas subterráneas.

Figura 10.

Mapa Potencial de Agua Subterránea



6.3. Discusión de Resultados

En lo relativo a los parámetros utilizados y el nivel de jerarquización seleccionado para cada parámetro, en base a una amplia revisión bibliográfica se tiene lo señalado en la Tabla 65 a continuación:

Tabla 65.

Parámetros priorizados respecto a las investigaciones relacionadas a la identificación de zonas a aguas subterráneas

Investigación / Autor	Parámetros utilizados	Parámetros priorizados
“Groundwater assessment in Salboni Block, West Bengal (India) using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis techniques”. (Chowdhury et al., 2010, p.1)	Geomorfología, pendiente, suelo, densidad de drenaje, recarga hídrica, proximidad a cuerpos de agua	Geomorfología, pendiente y densidad de drenaje
“Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain of India using remote sensing, geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques” (Shekhar & Pandey, 2015, p.1)	Geomorfología, zona erosionada, pendiente, litología, suelo, densidad de lineamiento, densidad de drenaje, precipitación	Geomorfología, zona erosionada, y pendiente
“Potencial para la exploración de aguas subterráneas en la Demarcación Hidrográfica Puyango Catamayo, Ecuador, utilizando un proceso de análisis jerárquico basado en SIG y teledetección”. (Macas-Espinosa & López-Escobar, 2018, p.1)	Permeabilidad, precipitación, densidad de drenaje, pendiente. NDVI	Permeabilidad, precipitación y densidad de drenaje
“Delineation of groundwater potential zones using remote sensing (RS), geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques: a case study in the Leylia–Keynow watershed, southwest of Iran”. (Mohammadi-Behzad et al., 2019, p.1)	Densidad de lineamiento, precipitación, litología, pendiente, densidad de drenaje	Densidad de lineamientos, precipitación, litología
“Evaluation of Groundwater Potential by GIS-Based Multicriteria Decision Making as a Spatial Prediction Tool: Case Study in the Tigris River Batman-Hasankeyf Sub-Basin, Turkey”. (Çelik, 2019, p.1)	Geomorfología, geología, densidad de lineamiento, pendiente, precipitación, suelo, densidad de drenaje	Pendiente, geomorfología y geología

“Identificación de posibles zonas de recarga y descarga de agua subterránea en la cuenca del río Ayuquila-Armería mediante el uso de SIG y el análisis multicriterio”. (Hernández et al., 2020, p.1)	Litología, topoformas, suelo, vegetación, pendiente	Litología y topoformas
“GIS – based groundwater potentiality mapping using AHP and FR models in central Antalya, Turkey”. (Ahmadi et al., 2020, p.1)	Litología, pendiente, densidad de drenaje, cobertura/ uso de suelo, densidad de drenaje precipitación, profundidad de suelo	Litología, pendiente y densidad de drenaje
“A groundwater potential zone mapping approach for semi-arid environments using remote sensing (RS), geographic information system (GIS), and analytical hierarchical process (AHP) techniques: a case study of Buffalo catchment, Eastern Cape, South Africa”. (Owolabi et al., 2020, p.1)	Superficie litológica, precipitación, densidad de lineamientos, densidad de drenaje, índice topográfico de humedad, cobertura/uso de suelo, temperatura superficial	Superficie litológica, precipitación, densidad de lineamientos
“Delineating of groundwater potential zones based on remote sensing, GIS and analytical hierarchical process: a case of Waddai, eastern Chad” (Al-Djazouli et al., 2021, p.1)	Litología, precipitación, pendiente, densidad de drenaje, densidad de lineamientos, uso de suelo	Densidad de drenaje, pendiente y litología
“Estimación de zonas potenciales de aguas subterráneas en la cuenca del río Portoviejo mediante análisis jerárquico basado en SIG y teledetección”. (Chonlong y Pacheco, 2021, p.1)	Permeabilidad de roca, precipitación, densidad de drenaje, pendiente de terreno y NDVI,	Permeabilidad de roca, precipitación y densidad de drenaje

Nota. Elaboración propia

La Tabla 65 muestra que existen múltiples factores potencialmente determinantes para poder identificar zonas de agua subterránea, entre ellos se encuentran: la densidad de drenaje, densidad de lineamientos, geología, geomorfología, Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Índice topográfico de humedad (ITH), pendiente, permeabilidad de roca, precipitación, temperatura y cobertura/uso de suelo; sin embargo, en el presente estudio se determinaron (06) factores tomados como base para la elaboración del modelo, con su respectivo orden de prioridad/ importancia (1) geología,

(2) pendiente, (3) densidad de drenaje, (4) precipitación, (5) uso de suelo y (6) densidad de lineamientos.

En relación con los parámetros de mayor importancia, la selección del parámetro geología como el más significativo para la identificación de zonas de agua subterránea, concuerda con lo mencionado por Ahmadi et al. (2020), Hernández et al. (2020) y Owolabi et al. (2020); en cuyas investigaciones se le otorgó al factor geología, litología o superficie litológica un peso de 0.3936, 12.53 y 22 respectivamente el cual represento en los tres casos el parámetro más significativo para la identificación de agua subterránea principalmente debido a que la permeabilidad de roca y su capacidad de infiltración vertical de agua se relaciona directamente con el almacenamiento de aguas subterráneas; asimismo, respecto al segundo mejor parámetro seleccionado para la zonificación potencial de aguas subterráneas, el nivel de pendiente, se condice con lo señalado por las investigaciones de Çelik (2019), Ahmadi et al. (2020) y Shekhar & Pandey (2015), los cuales ubican en primer, segundo y tercer lugar con valores de 9, 0.2066 y 0.16 respectivamente, al factor pendiente bajo el sustento que por más que exista un alto nivel de precipitación, no podría existir una óptima acumulación de agua subterránea de no ser por la topografía del terreno permite un tiempo de contacto suficiente entre la superficie terrestre y el recurso hídrico superficial para permitir su infiltración vertical. Por último, el tercer parámetro para la selección adecuada de zonas con presencia agua subterránea, la densidad de drenaje, se condice con la concluido por Al-Djazouli et al. (2021), Ahmadi et al. (2020) y Chowdhury et al. (2010), quienes en sus estudios colocan a este factor en primer, tercer y tercer lugar con valores de 30, 0.1507 y 4 respectivamente, amparados en la teoría que al ser la permeabilidad el factor más relevante para identificar zonas de agua subterránea, y al tener el valor disponible de densidad de drenaje como función inversa a la permeabilidad superficial, resulta de gran importancia tomarlo en cuenta dentro del top 3 de los principales factores para la obtención del mapa potencia de aguas subterráneas. Cabe destacar que los precedentes estudios mencionados, son en su mayoría de zonas asiáticas las cuales debido a sus necesidades de abastecimiento de agua la identificación de recursos hídricos ha sido una prioridad y la ardua experiencia que se tiene de sus investigaciones hidrológicas refleja la efectividad de sus resultados.

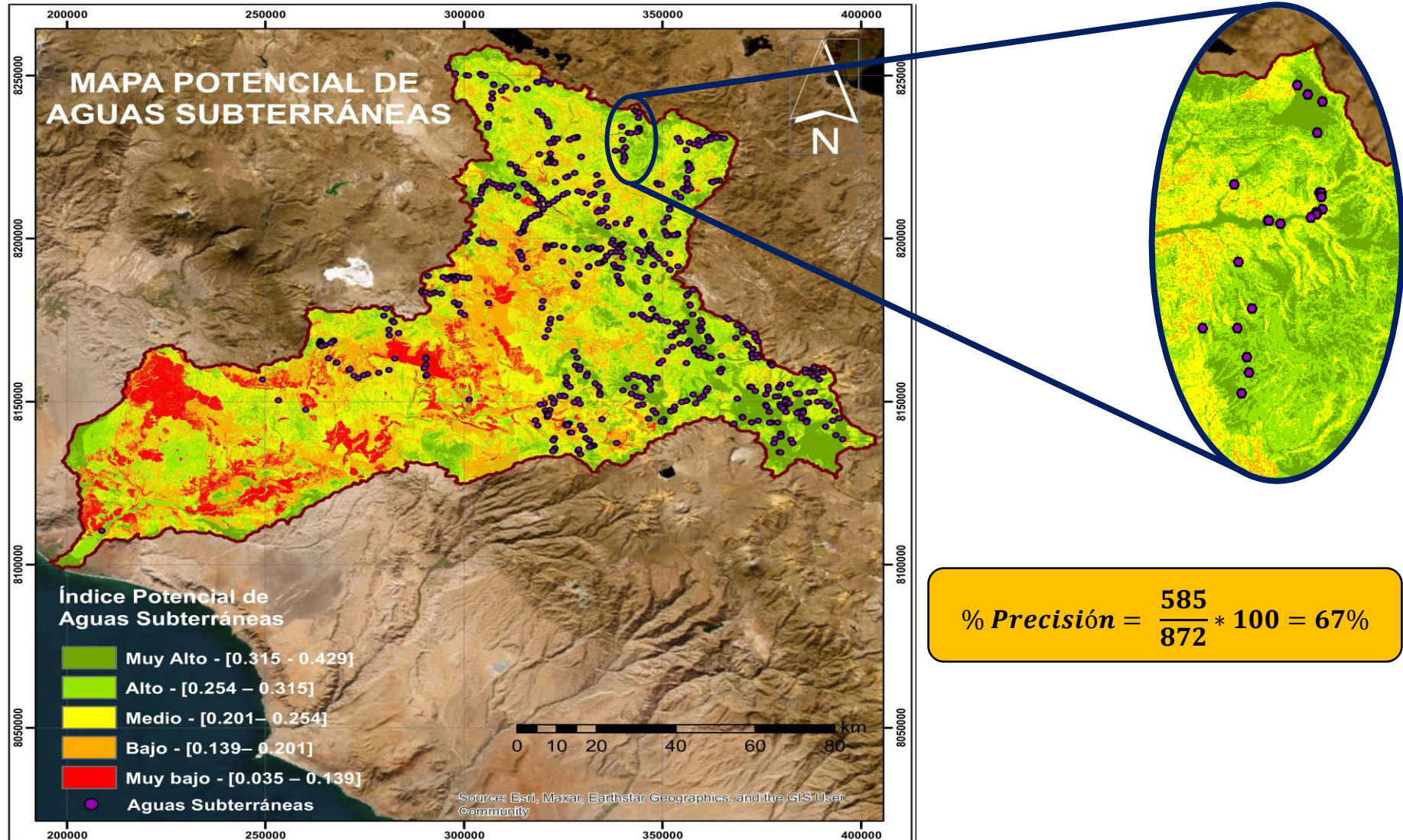
Asimismo, como se ha podido visualizar en la Tabla 65, existen múltiples estudios internacionales relacionados a técnicas satelitales para identificar zonas de aguas subterráneas,

y todas ellas han permitido definir zonas con presencia de agua subterránea, así como su representación gráfica a través de la construcción de un mapa potencial de aguas subterráneas, tal como lo elaborado en la presente investigación (Figura 11).

Finalmente, los resultados obtenidos guardan relación con los estudios de Chowdary et al, (2010), Macas y Lopez (2018) y Chonlong y Pacheco (2021); los cuales aplicando el análisis multicriterio con ayuda de herramientas SIG y teledetección obtuvieron una eficiencia del 59%, 70% y 87% respectivamente en comparación a las ya existentes fuentes de agua subterránea, ante ello, y a sabiendas de que el presente estudio encontró una eficiencia del 67.1% (Figura 11), queda demostrada la posibilidad de utilizar el modelo de análisis multicriterio para futuros estudios de gestión de recursos hídricos subterráneos a nivel de cuenca.

Figura 11.

Comparativo de las aguas subterráneas identificadas por el INGEMMET respecto a las zonas de alto y muy alto potencial hídrico determinado por el método AHP



CONCLUSIONES

Los resultados y su respectiva discusión de resultados nos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- Los factores o parámetros superficiales considerados y priorizados en el presente estudio, según la geodata disponible y las referencias bibliográficas asequibles, para la identificación de zonas de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo; y su respectivo nivel de importancia jerarquizado resultó en el siguiente: (1) Geología, (2) Pendiente, (3) Densidad de drenaje, (4) Precipitación, (5) Uso de Suelo, (6) Densidad de Lineamientos.
- El método aplicado del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) con ayuda de herramientas GIS y Teledetección permitió la elaboración de un mapa de presencia de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Tambo, en el cual 13,36 % de las áreas poseen muy alta posibilidad de presencia de almacenamiento de agua subterránea, 24,58 % alta posibilidad, 30,61 % mediana posibilidad, 22,70 % baja posibilidad y 8,75 % muy baja posibilidad. Además, las zonas con mayor posibilidad recaen en las zonas de mayor altitud de la cuenca de estudio, mientras que, en zonas de menor altitud y mayores conglomerados urbanos, poseen menor posibilidad de acumulación de aguas subterráneas tendrá.
- El nivel de precisión arrojado por el método del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) resultó en 67,1%, debido a que, de 872 fuentes de aguas subterráneas identificadas previamente en campo por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 585 recayeron bajo zonas de alta y muy alta posibilidad de agua subterránea.

En síntesis, el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) con apoyo del SIG y Teledetección a partir de la recopilación y procesamiento de variables o factores superficiales adecuados puede contribuir a la adecuada gestión de recursos hídricos en un escenario de estrés hídrico a causa del cambio climático, determinando y permitiendo la elaboración de mapas de presencia de aguas subterráneas con un nivel de precisión del 67.1%, utilizado para los tomadores de decisiones públicos y privados en el establecimiento de políticas y lineamientos que salvaguarden las necesidades hídricas en cuencas hidrográficas.

LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

- Respecto a los juicios de valor, determinados subjetivamente a partir de la experiencia y la bibliografía revisada, en la matriz de comparaciones pareadas se recomienda que estos sean determinados por un equipo multidisciplinario especialista en una rama de estudio ligada a cada factor que pueda disminuir el sesgo subjetivo y otorgue objetividad y mayor consistencia en los resultados.
- Los parámetros o factores obtenidos de fuentes institucionales de acceso virtual gratuito son el principal insumo para la ejecución del modelo, sin embargo, estos dependen de la escala, la antigüedad y la fiabilidad para obtener óptimos resultados, por ende, se recomienda continuar con la búsqueda de fuentes institucionales más actualizadas, precisas y confiables.
- En base a que los recursos hídricos subterráneos no son estáticos y la presente investigación se ha basado principalmente en aquellos con movilidad horizontal (flujo de agua) limitada, es decir acuíferos confinados o semiconfinados, se recomienda ahondar en las investigaciones de identificación de fuentes de aguas subterráneas en acuíferos libres, aquellos más cercanos a la superficie y con mayor potencial de contaminación.
- De ser necesario en próximos trabajos de investigación incorporar los factores geomorfología, permeabilidad e índice topográfico de humedad y temperatura superficial relacionadas exclusivamente con la capacidad de almacenar aguas subterráneas en la superficie y podrían presuntamente brindar un modelo con una mejor aproximación de la posibilidad de aguas subterráneas.
- Respecto al parámetro precipitación, hacer uso de la mayor cantidad de data meteorológica disponible de fuentes primarias como: estaciones meteorológicas de empresas mineras en el área de estudio, estaciones temporales implementadas por entidades del Estado para el monitoreo meteorológico de la zona, o aquellas implementadas por investigadores universitarios, de modo que aproximemos aún más la información del nivel de precipitación evitando extrapolar la data.
- Respecto al parámetro densidad de lineamiento, hacer una investigación exhaustiva respecto al reconocimiento de fallas, fracturas, articulaciones principales u otras

formaciones geológicas largas y lineales que puedan representar un lineamiento geológico, de modo que se complemente con la información cartográfica de fallas geológicas disponible del INGEMMET para la adecuada representación del factor.

- Respecto al parámetro uso de suelo, en lo posible realizar una visita de campo muestreando una cierta cantidad de puntos de modo que se pueda corroborar o validar las que las macroclases seleccionadas (cuerpo de agua, vegetación, área urbana, área agrícola, suelo desnudo etc.) a través de las bandas espectrales de las imágenes satelitales se condicen con lo visualizado en la superficie real.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguarón, J., & Moreno-Jiménez, J. M. (2003). The geometric consistency index: Approximated thresholds. *European Journal of Operational Research*, 147(1), 137-145. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00255-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00255-2)
- Ahmadi, H., Kaya, O., Babadagi, E., Savas, T., & Pekkan, E. (2020). *GIS – based groundwater potentiality mapping using AHP and FR models in central Antalya, Turkey*. <https://doi.org/10.3390/IECG2020-08741>
- Alarcón, K. (2018). *Aplicación de las técnicas de teledetección pasiva para la determinación de aguas subterráneas en la Región Ica durante el periodo 2017 al 2018* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27965>
- Alaska Satellite Facility. (s. f.). *ASF PALSAR Products*. Recuperado 18 de noviembre de 2022, de <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS>
- Al-Djazouli, M. O., Elmorabiti, K., Rahimi, A., Amellah, O., & Fadil, O. A. M. (2021). Delineating of groundwater potential zones based on remote sensing, GIS and analytical hierarchical process: A case of Waddai, eastern Chad. *GeoJournal*, 86(4), 1881-1894. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10160-0>
- Anchelia, D., & Mori, X. (2020). *Determinación de zonas susceptibles a inundaciones y análisis comparativo del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y Random Forest (RF). Caso estudio: Cuenca baja del río Chancay Lambayeque* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geógrafo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/15868>
- Arce Garcia, P. A. (2016). *Influencia de los compuestos químicos aplicados en la variación de los parametros analíticos para la mitigación de gases ofensivos en la laguna de la localidad de Samuel Pastor* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Química, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Procesos]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10049>
- Autoridad Nacional del Agua. (2008). *Infraestructura de Datos Espaciales—SNIRH*. <https://snirh.ana.gob.pe/ConsultaIDE/Index.aspx?ID=8>

- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Estudio hidrológico de la unidad hidrográfica de Tambo—Informe Principal*. Autoridad Nacional del Agua. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4703>
- Autoridad Nacional del Agua. (2020). Guía para realizar inventarios de fuentes de aguas subterráneas. *Repositorio Institucional - ANA*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4495>
- Aybar, C. L., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega-Jácome, F., Sabino, E., & Felipe-Obando, O. (2017). Uso del producto grillado PISCO de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. Nota Técnica N° 001 SENAMHI-DHI-2017. *Repositorio Institucional - SENAMHI*. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/260>
- Baroja, D., Mejía, D., Cevallos, A., & Puetate, G. (2020). *Sistemas-de-Información-Geográfica-ARCGIS-2020-final.pdf*. Centro de publicaciones PUCE. <https://www.pucesi.edu.ec/webs2/wp-content/uploads/2021/02/Sistemas-de-Informaci%C3%B3n-Geogr%C3%A1fica-ARCGIS-2020-final.pdf>
- Barrera, R., & García, D. (2015). *TESIS.pdf* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Zacatenco]. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/14571/1/TESIS.pdf>
- Berumen, S., & Llamazares, F. (2007). La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad creciente. *Cuadernos de Administración*, 20(34), 65-87.
- Blanco de la Torre, F. (2017). Los recursos hídricos en el mundo: Cuantificación y distribución. *Cuadernos de estrategia*, 186, 21-70.
- Bravo, N. (2017). *Teledetección Espacial—LANDSAT, SENTINEL2, ASTER LIT y MODIS*. 2017 GEOMÁTICA AMBIENTAL S.R.L. https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf
- Carpio Fernández, J., & Peña Laureano, F. (2020). Hidrogeología de la cuenca del río Tambo (1318) regiones Arequipa, Moquegua y Puno—[Boletín H 7]. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET*. <https://cutt.ly/4TIXCIJ>
- Carpio Fernández, J., Quispe Yanapa, B., Peña Laureano, F., & Sulca Ortiz, P. (2022). Hidrogeología de la cuenca del río Quilca—Vitor—Chili (132)—[Boletín H 15]. *Repositorio Institucional INGEMMET*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3885>

- Castro, C., Ledesma, Á., & Cubas, B. (2015). *Evaluación de Diseño y Ejecución de Presupuesto de: Aprovechamiento de los Recursos Hídricos para Uso Agrario* [Informe Final]. https://www.Mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/ppr/eval_indep/2016_aprov_rec_hidricos.pdf
- Çelik, R. (2019). Evaluation of Groundwater Potential by GIS-Based Multicriteria Decision Making as a Spatial Prediction Tool: Case Study in the Tigris River Batman-Hasankeyf Sub-Basin, Turkey. *Water*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/w11122630>
- Chonlong, J., & Pacheco, H. (2021). Estimación de zonas potenciales de aguas subterráneas en la cuenca del río Portoviejo mediante análisis jerárquico basado en SIG y teledetección. *Revista Bases de la Ciencia. e-ISSN 2588-0764*, 6(1), Article 1. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v6i1.2648
- Chowdhury, A., Chowdary, V. M., & Jha, M. K. (2010). Groundwater assessment in Salboni Block, West Bengal (India) using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis techniques. *Hydrogeology Journal*, 18(7), 1713-1728. <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0631-z>
- Collazo, M., & Montaña, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea*. <https://www.geologiaviva.info/medio-ambiente/manual-de-agua-subterranea/>
- Congedo, L. (2013). From GIS to Remote Sensing: Major Update: Semi-Automatic Classification Plugin v. 7.10.0. *From GIS to Remote Sensing*. <https://fromgistors.blogspot.com/2021/10/scp-7.10.0.html>
- Congedo, L. (2017). *Complemento de clasificación semiautomática*. https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/en/latest/remote_sensing.html#dos1-correction
- Cusquisiban, G. (2020). *Ubicación de zonas de recarga hídrica usando imágenes Landsat 8 mediante el método de árbol de decisiones en la cuenca del río Chamán, Cajamarca y La Libertad-Perú* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Ambiental, Universidad Privada del Norte. Facultad de Ingeniería]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23581>
- Dassau, O., Nsibande, L., Sutton, M., & Sutton, T. (2022). *QGIS Documentation*. https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/user_manual/processing_algs/gdal/rasterextraction.html
- Díaz, S. (2018). *Análisis multiespectral mediante imágenes satelitales para identificar zonas de recarga hídrica subterránea en la cuenca Jequetepeque*. [Tesis para optar el título profesional

- de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2243>
- Echevarría, W. (2016). Gestión de la disponibilidad de los recursos hídricos en el Perú. *Autoridad Nacional del Agua*. <https://cutt.ly/0TIZYVs>
- Environmental Systems Research Institute. (2022). *ESRI Home Page*. <https://www.esri.com/en-us/home>
- Faustino, J., Jiménez, F., & Matus, O. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica—Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua*. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENP10M433.pdf>
- Felícísimo, A. (s. f.). *Modelos Digitales del Terreno*. <https://www6.uniovi.es/usr/feli/pdf/libromdt.pdf>
- Fernandez Cirelli, A., Carsteanu, A. A., Fernández Juan, A., Lanna, A. E., Bulhoes Mendes, C. A., Diaz Delgado, C., Di Risio, C. D., Indij, D., Anton Giudice, D., Otalvaro Hoyos, D. L., Trujillo Flores, E., Quentin Joret, E., Lopez Vera, F., Ramos Gonzalez, G., Zarazua Ortega, G., Barceló Quintal, I. D., Morell, I., de Bustamante, I., Perez, I. R., ... Campos, V. (2005). *Recursos Hídricos: Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Piriguazú Ediciones/CIRA-UAEM. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/58927>
- Fornés, J., López, J., Ramos, G., & Villarroja, F. (2009). *Las Aguas Subterráneas: Un Recurso Natural del Subsuelo*. <http://revistas.igme.es/Publicaciones/Consulta/Libro/28834>
- Fuquen, E., & Vargas, L. (2021). *Introducción al análisis de datos con RStudio*. CENIPALMA. <https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/141281/Manual%20REstudio%20IMw.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2019, abril 5). *El IPCC publica el Informe especial sobre el calentamiento global de 1,5 °C*. <https://public.wmo.int/es/resources/bulletin/el-ipcc-publica-el-informe-especial-sobre-el-calentamiento-global-de-15-%C2%B0c>
- Guevara Gil, A., Verona Badajoz, A., Carbonell Rodríguez, C., & Fegale Polo, J. (2014). *El Derecho frente a la crisis del agua. Primeras Jornadas de Derecho de Aguas*. <https://cutt.ly/ATIZAbf>
- Hernández, R., Martínez Rivera, L. M., Peñuela-Arévalo, L. A., Rivera-Reyes, S., Hernández-Juárez, R. A., Martínez Rivera, L. M., Peñuela-Arévalo, L. A., & Rivera-Reyes, S. (2020). Identificación de zonas potenciales de recarga y descarga de agua subterránea en la cuenca del

- río Ayuquila-Armería mediante el uso de SIG y el análisis multicriterio. *Investigaciones geográficas*, 101. <https://doi.org/10.14350/rig.59892>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6° edición). Mc Graw Hill Education. <https://www.uncuyo.edu.ar/ices/libro-metodologia-de-la-investigacion-6ta-edicion>
- HIDRO SM. (2022). *Carta Nacional del Perú*. Hidro SM. <https://www.hidrosm.com/2021/09/descargar-carta-nacional-peru-ign-shape.html>
- HidroGIS (2022). Obtención de Data Hidrológica PISCO - SENAMHI por medio de cuencas hidrográfica – Rstudio [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=h172XbCl2PU>
- Instituto Geográfico Nacional. (s. f.). *Teledeteccion*. Recuperado 4 de diciembre de 2021, de <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>
- Instituto Geológico y Minero de España. (2017). *La importancia de las aguas subterráneas en la gestión integrada de los recursos hídricos: Aplicaciones prácticas en proyectos de cooperación internacional para el desarrollo (2ª edición)*. <https://cutt.ly/VTIKLTP>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Resultados Definitivos de la Población Económicamente Activa 2017 – Censos Nacionales 2017*. <https://censo2017.inei.gob.pe/resultados-definitivos-de-la-poblacion-economicamente-activa-2017/>
- Junta de Castilla y León. (2009). *Sistemas de Localización e Información Geográfica*. Consejería de Fomento. <http://www.jcyl.es/web/jcyl/Portada/es/Plantilla100Detalle/1246890364336/1246890364336/1253613557672/Redaccion>
- Landa, R., Magaña, V., & Neri, C. (2008). *Agua y clima: Elementos para la adaptación al cambio climático*. <https://www.yumpu.com/es/document/view/47277876/agua-y-clima-elementos-para-la-adaptacion-al-cambio-climatico>
- López, C., Zambrano, L., Ortega, R., Guzman, M., Pérez, R., Sandoval, R., Hatch, G., Pineda, N., Pacheco, R., & Caladera, A. (2017). *El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica*. <https://agua.org.mx/biblioteca/el-agua-en-mexico-actores-sectores-y-paradigmas-para-una-transformacion-social-ecologica/>
- Macas-Espinosa, V. X., & López-Escobar, K. F. (2018). Potencial para la exploración de aguas subterráneas en la Demarcación Hidrográfica Puyango Catamayo, Ecuador, utilizando un

- proceso de análisis jerárquico basado en SIG y teledetección. *Revista de Teledetección*, 51, 135-145. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.7592>
- Macebo, S., Ortega, E., Valentín, A., & Fernández, L. (2008). *LibroSIG - Aprendiendo a manejar SIG en la gestión ambiental*. <https://oa.upm.es/1244/>
- Matus, O. (2007). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua* [Tesis para optar con el grado de Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de educación para el Desarrollo y la Conservación]. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:80/handle/11554/3299>
- Microsoft 365. (2022). *Soporte técnico de Microsoft*. <https://support.microsoft.com/es-es/office/crear-una-tabla-din%C3%A1mica-para-analizar-datos-de-una-hoja-de-c%C3%A1lculo-a9a84538-bfe9-40a9-a8e9-f99134456576>
- Ministerio del Ambiente. (2022). *Listado de las Propuestas de Zonificación Ecológica y Económica*. <https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/zee-aprobadas/>
- Mohammadi-Behzad, H. R., Charchi, A., Kalantari, N., Nejad, A. M., & Vardanjani, H. K. (2019). Delineation of groundwater potential zones using remote sensing (RS), geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques: A case study in the Leylia–Keynow watershed, southwest of Iran. *Carbonates and Evaporites*, 34(4), 1307-1319.
- Murillo Díaz, J. M. (2004). *Recarga de acuíferos. Evaluación y análisis de condicionantes técnicos y económicos. Acuífero aluvial del bajo Guadalquivir* (east=-5.814288499999975; north=37.0693489; name=Bajo Guadalquivir, Sevilla, Andalucía, España) [Phd, E.T.S.I. Minas (UPM)]. <https://oa.upm.es/344/>
- Ñaupas, H., Jesús Palacios, Romero, H., & Valdivia, M. (2018). *Metodología de la investigación. Cuantitativa—Cualitativa y redacción de la tesis*. (5ª Edición). Ediciones de la U. <https://edicionesdelau.com/producto/metodologia-de-la-investigacion-cuantitativa-cualitativa-y-redaccion-de-la-tesis-5a-edicion/>
- Organización Meteorológica Mundial. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas*. Organización Meteorológica Mundial.
- Osorio, J., & Orejuela, J. (2008). El Proceso De Análisis Jerárquico (ahp) Y La Toma De Decisiones Multicriterio. Ejemplo De Aplicación. *Scientia Et Technica*, XIV(39), 247-252.

- Owolabi, S. T., Madi, K., Kalumba, A. M., & Orimoloye, I. R. (2020). A groundwater potential zone mapping approach for semi-arid environments using remote sensing (RS), geographic information system (GIS), and analytical hierarchical process (AHP) techniques: A case study of Buffalo catchment, Eastern Cape, South Africa. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(22), 1184. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06166-0>
- Peña L., F., & Sulca O., P. (2016). *Comportamiento hidrogeológico de las rocas volcánicas en la parte alta de la cuenca del río Quilca-Vitor-Chili*. <http://repositoriodigital.minam.gob.pe/xmlui/handle/123456789/532>
- Portocarrero, C. (2020). *Clasificación del territorio peruano de acuerdo con su potencial de agua subterránea utilizando algoritmos de aprendizaje automatizado* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ingeniería]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17705>
- Reddy, A. (2008). *Remote Sensing and Geographical Information Systems*.
- Resolución Jefatural No 249-2016-ANA. (2016). *Declaran el estado de emergencia de recursos hídricos en el Valle del Tambo-RESOLUCION JEFATURAL-Nº 249-2016-ANA*. <https://cutt.ly/wTIXE6j>
- Saaty, T. (2014). *Toma De Decisiones Para Lideres*. <file:///C:/Users/Davis/Downloads/Toma%20De%20Decisiones%20Para%20Lideres%20-%20Thomas%20L.%20Saaty.pdf>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos. (2017). *Sentinel | U.S. Geological Survey* [Tiff,jpg]. <https://doi.org/10.5066/F76W992G>
- Shekhar, S., & Pandey, A. C. (2015). Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain of India using remote sensing, geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques. *Geocarto International*, 30(4), 402-421. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.894584>
- Toskano, G. (2005). *El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores* [Monografía para optar por el título de Licenciado en Investigación Operativa, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas]. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/toskano_hg/toskano_hg.htm

- Velazquez, Y. (2022). *Elementos del Subsistema Económico de la Cuenca del río Tambo*. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/419279792/Componente-economico-de-la-cuenca-del-rio-Tambo>
- Walsh Peru & Gaseoducto Sur Peruano S.A. (2015). *Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “Mejoras a la Seguridad Energética del País y Desarrollo del Gasoducto Sur Peruano—Componentes Auxiliares”*.
<http://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=22&idTitular=8897>

ANEXOS

ANEXOS 1. Código de RStudio para la extracción de la data de precipitación del producto PISCO del SENAMHI

```
# Instalar paquetes
install.packages('sp')
install.packages('dplyr')
install.packages('ncdf4')
install.packages('readxl')
install.packages('raster')
install.packages('rgdal')

# Cargar paquetes
library(sp)
library(dplyr)
library(ncdf4)
library(readxl) #Excel
library(raster)
library(rgdal)
setwd("G:/Mi unidad/5.Tesis/GIS - Investigación/PISCO")

# Cargar la carpeta o archivos
coor <- read_excel('EM.xlsx') %>% arrange_all()
view(coor)

# cargar la data PISCO en formato ".nc"
pisco<-"pp_m.nc" %>% raster::brick()
plot(pisco)
plot(pisco[[1]])
```

```
# Asignación de coordenadas
sp::coordinates(coor)<- ~X+Y
plot(coor)

# Unir la proyección del raster con los puntos a de donde se extraerán datos
raster::projection(coor)<- raster::projection(pisco)

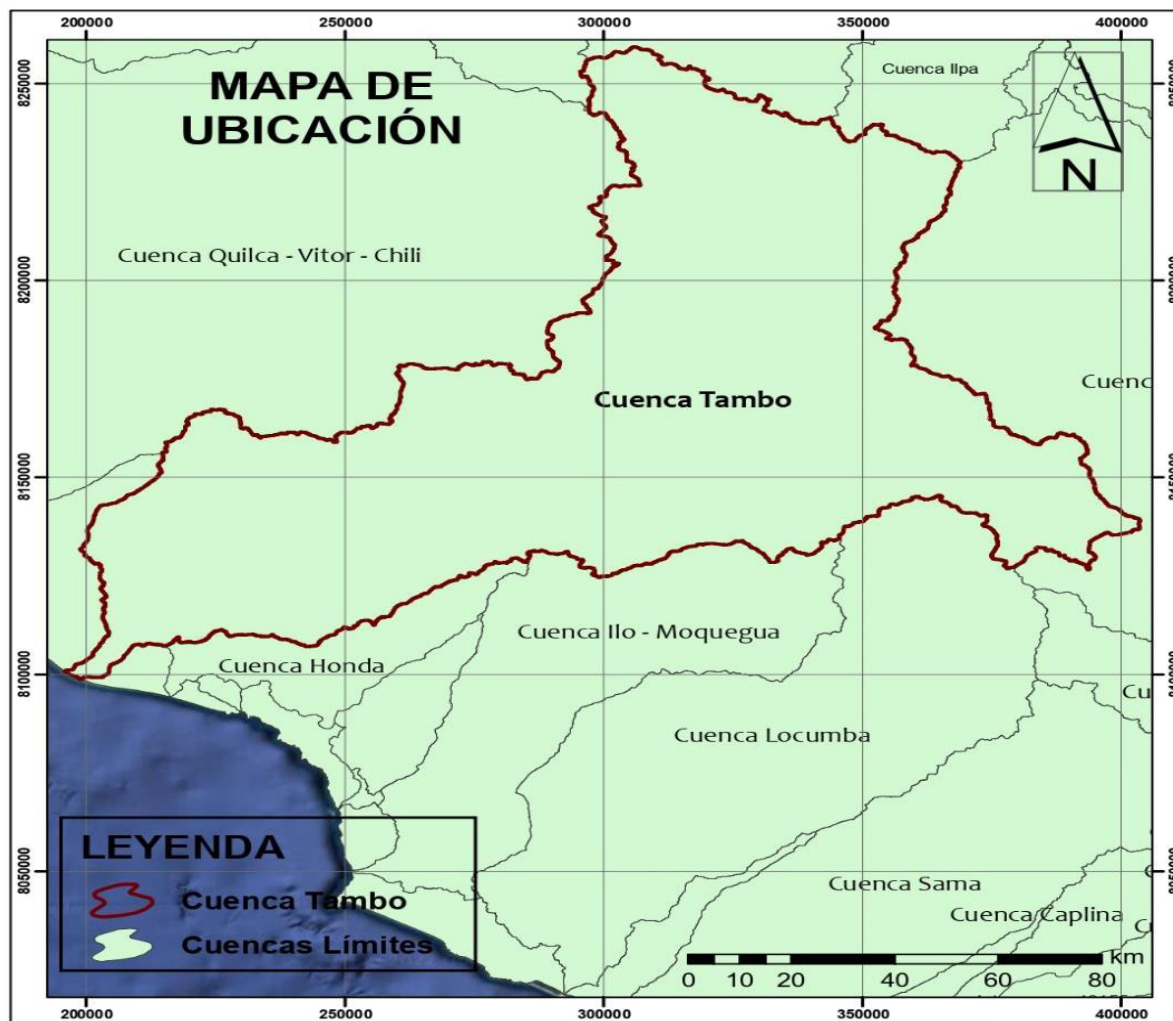
# Extraer valores
point_values<- raster::extract(pisco[[1]], coor, cellnumbers=T)[,1]
data_values<-t(pisco[point_values])

# Asignación de nombres a columnas
colnames(data_values)<-as.character(coor$Nombre)
view(data_values)

# Exportar la data en formato ".csv"
write.csv (data_values, "Prep-Ta.csv")
```

```
# visualizar todos los datos de precipitación
plot(as.numeric(data_values),
     type="p",
     col="#1B9E77",
     lwd = 3,
     xlab="Número de datos",
     main='Precipitaciones de las cuenca del Rio Santa',
     ylab="Precipitaciones Mensuales (mm)")
```

ANEXO 2. Mapa de Ubicación de la Cuenca de Estudio: Tambo



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
UNIVERSIDAD DEL PERÚ.
DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA,
METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO:

*"APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS
JERÁRQUICO MEDIANTE EL SISTEMA DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN PARA
LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA DEL RÍO TAMBO"*

MAPA 08

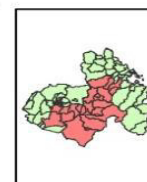
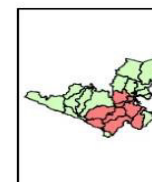
Mapa de Ubicación

Datos marginales

Arequipa - Puno -
Departamento : Huancabelica
Provincia : Varios
Distrito : Varios

Datos técnicos

Fuente de datos : Límite distrital y centros poblados: INEI
(2017); Data procesada - Elaboración
Propia; Aguas subterráneas:
INGEMMET
Hoja de diseño : A4 (21cm x 29,7cm)
Datum y zona : WGS 1984 19 Sur
Proyección : Cilíndrica UTM
Escala : 1:1 250 000



ANEXOS 3. Inventario de fuentes de agua subterránea

Nº	Código de identificación de la fuente	Nombre de la fuente	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura en msnm	Sistema de proyección de coordenadas	Zona a la que corresponde	Ubicación departamental	Ubicación provincial	Ubicación distrital
1	131801-001	Tillane	249280	8156582	3100	WGS-84	19S	Arequipa	Arequipa	Polobaya
2	131801-002	Santuario De Chapi	253271	8150222	2423	WGS-84	19S	Arequipa	Arequipa	Polobaya
3	131801-002	Santuario de Chapi	253271	8150222	2423	WGS-84	19S	Arequipa	Arequipa	Polobaya
4	131801-003	Pecon	260233	8147411	2565	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	La Capilla
5	131801-003	Pecon	260233	8147411	2565	WGS-84	19S	Moquegua	General Sanchez Cerro	La Capilla
6	131801-004	Rio tambo	208846	8110286	10	WGS-84	19S	Arequipa	Islay	Cocachacra
7	131801-004	Rio Tambo	208846	8110286	10	WGS-84	19S	Arequipa	Islay	Cocachacra
8	131802-001	Huescani	267328	8168585	3885	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
9	131802-001	Huescani	267328	8168585	3885	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
10	131802-002	Chirupuquio	263908	8168505	3743	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
11	131802-003	Huescani 2	267011	8168377	3873	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
12	131802-004	Tala 6	264121	8167981	3767	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
13	131802-005	Tala	263668	8167971	3733	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
14	131802-006	Tala 5	264047	8167969	3737	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
15	131802-007	Puquin	264089	8167920	3739	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
16	131802-008	Tala 3	263860	8167886	3724	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
17	131802-009	Tala 4	263909	8167885	3768	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
18	131802-010	Tala 2	263728	8167836	3740	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
19	131802-011	Puquin 2	264129	8167834	3773	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
20	131802-012	Huescani 3	266491	8167786	3750	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
21	131802-013	Puquio	263643	8167649	3723	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
22	131802-014	Puquin 3	263669	8167628	3726	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
23	131802-014	Puquina 3	263669	8167628	3726	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Omate
24	131802-015	Puquio 2	263633	8167574	3717	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
25	131802-016	Puquio 3	263819	8167198	3702	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina

26	131802-017	Quimsapuquio	265086	8167189	3726	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
27	131802-018	Puquio 4	264014	8167074	3705	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
28	131802-019	Puquio 5	264228	8166886	3693	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
29	131802-020	Iquipagua	265866	8163140	3229	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
30	131802-021	Huiscana	267910	8161833	3140	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
31	131802-022	Chilcapampa	268069	8161810	3153	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
32	131802-023	Sillón	271086	8159572	3280	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
33	131802-023	Sillón	271290	8159937	3280	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
34	131802-024	Yanarico	275784	8158267	3315	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
35	131802-024	Yanarico	275784	8158267	3315	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
36	131802-025	Rompe	274810	8158019	3236	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
37	131802-026	Cigarra	272411	8157823	3073	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
38	131802-027	Tambillo	273436	8157035	3160	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Puquina
39	131803-001	Marcane	280378	8178391	4745	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
40	131803-002	Marcane 2	279829	8176247	4637	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
41	131803-002	Marcane 2	279829	8176247	4637	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
42	131803-003	Marcane 3	282031	8174729	4538	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
43	131803-004	Pacoorco	282417	8174191	4530	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
44	131803-005	Rouma	281119	8171955	4434	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
45	131803-006	Quebrada Cayeranto	283589	8170900	4187	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
46	131803-007	Cunujanto	281262	8170210	4560	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
47	131803-008	Callamoco	290416	8163489	2993	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Omate
48	131803-009	Quebrada Pastillo	290462	8163092	2980	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Omate
49	131803-010	Cojoma	290464	8161050	2850	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Omate
50	131803-011	Cohuacho	289994	8160108	2713	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Omate
51	131803-012	Amarillo	281152	8159630	2469	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
52	131803-013	Agua verde	278650	8158705	3175	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
53	131803-013	Agua Verde	278650	8158705	3175	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
54	131803-014	Pailogen	290439	8157780	2450	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Omate
55	131803-014	Pailogen	290643	8158145	2450	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Omate

56	131803-015	Quinistaquillas	301337	8150493	2159	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Quinistaquillas
57	131803-016	Ulucan	282602	8163088	2782	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque
58	131803-016	Ulucan	282602	8163088	2782	WGS-84	19S	Moquegua	General Sanchez Cerro	Coalaque
59	131804-001	Japusura 1	301419	8201454	4524	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
60	131804-002	Japusura 2	301419	8201452	4525	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
61	131804-003	Japusura	300670	8201236	4526	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
62	131804-004	Tocomayo 3	300579	8199427	4489	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
63	131804-005	Piurano 5	303944	8199380	4702	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
64	131804-006	Tocomayo 4	300705	8199330	4447	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
65	131804-007	Tocomayo 2	300487	8199150	4399	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
66	131804-007	Tacomayo 2	300487	8199150	4399	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
67	131804-008	Tocomayo	300442	8198925	4413	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
68	131804-009	Piurano 4	304561	8198830	4763	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
69	131804-010	Hatunocco	298124	8188377	3996	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
70	131804-011	Phara	290975	8188360	4505	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
71	131804-012	Hatunocco	298197	8188350	3973	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
72	131804-013	Capajon	296756	8188260	4185	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
73	131804-013	Capajon	296756	8188260	4185	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
74	131804-014	Capajon	296767	8188199	4138	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
75	131804-015	Maya 2	298709	8188187	3865	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
76	131804-016	Maya	298635	8188040	3857	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
77	131804-017	Phara 2	294815	8188009	4369	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
78	131804-017	Phara 2	294815	8188009	4369	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
79	131804-018	Hispuquio	296643	8187974	4219	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
80	131804-019	Hispuquio	296447	8187972	4234	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
81	131804-020	Hispuquio	296306	8187948	4236	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
82	131804-021	Volcanmayo 2	299721	8187944	3550	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
83	131804-022	Volcanmayo 1	299740	8187930	3562	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
84	131804-023	Bajada De Phara 2	296295	8187892	4259	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
85	131804-024	Seguina	301295	8187848	3477	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas

86	131804-024	Seguiño	301295	8187848	3477	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
87	131804-025	Chiflon	300902	8187755	3495	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
88	131804-026	Chiflon 2	300973	8187754	3479	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
89	131804-027	Yuracmocco	301249	8187750	3434	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
90	131804-027	Yuracmocco-Picina	301249	8187750	3434	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
91	131804-028	Entrada De Phara 1	296016	8187569	4284	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
92	131804-029	Tambillo	295857	8187314	4288	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
93	131804-030	Wayrapata	297884	8186952	4005	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
94	131804-031	Cullpane	289383	8183575	4688	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
95	131804-032	Cullpane 2	290145	8183456	4655	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
96	131804-033	Pucapampa	292826	8183371	4610	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
97	131804-034	Cullpane 3	290495	8183353	4626	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
98	131804-034	Cullpane 3	290495	8183353	4626	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
99	131804-035	Calu 2	292200	8183067	4614	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
100	131804-036	Pucapampa 2	294323	8182993	4591	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
101	131804-037	Calu Calu	291453	8182862	4619	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
102	131804-038	Collahuague	297672	8180274	4423	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
103	131804-039	Homera	306214	8180116	2535	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
104	131804-039	Homera	306214	8180116	2535	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
105	131804-040	Collahuague 2	298548	8179641	4275	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
106	131804-041	Collahuague 3	298598	8179403	4266	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
107	131804-041	Collahuague 3	298802	8179768	4266	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
108	131804-042	Cayosune	299194	8177255	4144	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
109	131804-043	Quebrada Huaylla Pujio	300216	8176359	3987	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque
110	131805-001	Pillune 3	306359	8217422	4453	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
111	131805-002	Pillune 2	307444	8216661	4412	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
112	131805-003	Pillune 1	308240	8216328	4412	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
113	131805-004	Paco Sane	312312	8216181	4583	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
114	131805-005	Querala	309870	8216105	4500	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
115	131805-006	Pillones 2	305337	8216099	4566	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas

116	131805-007	Querala 2	309354	8216073	4489	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
117	131805-008	Pillones	304724	8215735	4578	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
118	131805-009	Paco Sane 2	310585	8215706	4436	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
119	131805-010	Pillone	308843	8215433	4360	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
120	131805-010	Pillone	308843	8215433	4360	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
121	131805-011	Querala	311614	8215167	4406	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
122	131805-012	Llallahui 3	304482	8214989	4611	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
123	131805-013	Llallahui 2	304518	8214680	4611	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
124	131805-014	Apacheta	318098	8213856	4626	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
125	131805-015	Llallahui	304313	8213637	4645	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
126	131805-016	Chalhuani 2	313474	8212930	4470	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
127	131805-016	Chalhuani 2	313474	8212930	4470	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
128	131805-017	Chalhuani 1	313541	8212850	4346	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
129	131805-018	Hatun Puquio	319203	8212467	4166	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
130	131805-019	Machucancha	319285	8212272	4112	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
131	131805-020	Zeraocco	319285	8212272	4112	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
132	131805-021	Llatacorayocc	319203	8212467	4166	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
133	131805-021	Ccatacorayocc	319815	8211858	3947	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
134	131805-022	Matazo 5	304071	8211645	4580	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
135	131805-023	Matazo 2	302848	8211570	4458	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
136	131805-023	Matazo 2	302848	8211570	4458	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
137	131805-024	Matazo 3	302894	8211568	4461	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
138	131805-025	Matazo 4	303304	8211567	4507	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
139	131805-026	Aquina	321273	8210591	3547	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
140	131805-026	Aquina	321273	8210591	3547	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
141	131805-027	Aquina 2	321413	8210274	3568	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
142	131805-028	Tassa 3	318590	8210634	3787	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
143	131805-029	Tassa	318734	8210246	3748	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
144	131805-029	Tassa	318734	8210246	3748	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
145	131805-030	Tassa 2	318462	8210570	3784	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas

146	131805-031	Matazo 1	302821	8210400	4511	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
147	131805-032	Tassa 4	318974	8210214	3715	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
148	131805-032	Tassa 4	318974	8210214	3715	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
149	131805-033	Yunga	319846	8208655	3550	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
150	131805-033	Yunga	320050	8209020	3550	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
151	131805-034	Pampilla 2	318991	8207225	3600	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
152	131805-035	Pampilla	318841	8207163	3570	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
153	131805-036	Pampilla 3	318796	8207135	3540	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
154	131805-037	Huito 2	317802	8206702	3503	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
155	131805-037	Huito 2	318006	8207067	3503	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
156	131805-038	Huito	316704	8205935	3527	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
157	131805-038	Huito	316908	8206300	3527	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
158	131805-039	Exchage	315571	8204958	3473	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
159	131805-040	Chucapaca Pampa	334367	8204586	4823	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
160	131805-040	Chucapaca Pampa	334367	8204586	4823	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
161	131805-041	Huachurocon	315236	8203814	3472	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
162	131805-041	Huachurocon	315440	8204179	3472	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
163	131805-042	Quimano	315025	8203159	3478	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
164	131805-042	Quimano	315025	8203159	3478	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
165	131805-043	Tarucane 5	315029	8202118	3450	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
166	131805-044	Tarucane 4	314908	8202015	3472	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
167	131805-044	Tarucane 4	314908	8202015	3472	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
168	131805-045	Tarucane 3	314583	8201937	3418	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
169	131805-045	Tarucane 3	314583	8201937	3418	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
170	131805-046	Tarucane 2	314301	8201733	3444	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
171	131805-047	Tarucane	314101	8201465	3490	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
172	131805-048	Piurano 2	306982	8198695	4623	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
173	131805-049	Piurano	307505	8198507	4606	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
174	131805-050	Piurano 3	306078	8198474	4680	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
175	131805-050	Piruane 3	306078	8198474	4680	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas

176	131805-051	Pacco	322443	8197871	4536	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
177	131805-051	Pacco	322443	8197871	4536	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
178	131805-052	Castillone 2	322851	8197946	4572	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
179	131805-053	Pujture	320791	8197694	4512	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
180	131805-054	Castillone	325211	8197315	4650	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
181	131805-055	Curo 2	332484	8197296	4587	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
182	131805-056	Pujture 2	320757	8197024	4461	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
183	131805-057	Curo	333552	8196808	4477	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
184	131805-058	Yuramayo	328136	8196785	4488	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
185	131805-059	Pujture 3	320923	8196771	4477	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
186	131805-060	Sumina 2	334011	8196693	4488	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
187	131805-061	Camata	331263	8196584	4569	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
188	131805-061	Camata	331467	8196949	4569	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
189	131805-062	Sumina	334291	8196573	4492	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
190	131805-062	Sumina	334495	8196938	4492	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
191	131805-063	Yurac Casa	328606	8196538	4450	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
192	131805-064	Lloque 3	314030	8195846	3356	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
193	131805-065	Lloque 2	313987	8195485	3300	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
194	131805-066	Quebrada Lloque	314405	8194367	3326	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
195	131805-066	Quebrada Lloque	314609	8194732	3326	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
196	131805-067	Portillo Punco	314728	8193472	3468	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
197	131805-068	Japuitita 3	335389	8193170	4620	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
198	131805-069	Japuitita 2	324884	8192819	4590	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
199	131805-069	Japuitita 2	334680	8192454	4590	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
200	131805-070	Japuitita	334343	8192376	4574	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
201	131805-071	Pallca 3	333870	8192256	4566	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
202	131805-072	Pallca 2	331512	8191315	4476	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
203	131805-073	Pallca	331403	8191157	4468	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
204	131805-074	Taliye	315856	8190925	3774	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Lloque
205	131805-075	Huarata	328963	8188939	4322	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata

206	131805-076	Chancolle 2	327782	8186399	4244	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
207	131805-077	Chancolle	328281	8185201	4312	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
208	131805-077	Chancolle	328485	8185566	4312	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
209	131806-001	Turpujane 2	295980	8252570	4537	WGS-84	19S	Puno	Lampa	Santa Lucia
210	131806-002	Turpujani 2	295997	8252555	4523	WGS-84	19S	Puno	Lampa	Santa Lucia
211	131806-003	Huancane	297874	8250464	4558	WGS-84	19S	Puno	Lampa	Santa Lucia
212	131806-003	Huancane	297874	8250464	4558	WGS-84	19S	Puno	Lampa	Santa Lucia
213	131806-004	Quebrada Huatalla	304212	8250426	4273	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
214	131806-004	Quebrada Huatalla	304212	8250426	4273	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
215	131806-005	Patahuancone	300662	8250019	4388	WGS-84	19S	Puno	Lampa	Santa Lucia
216	131806-006	Chichillape	304693	8249967	4259	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
217	131806-007	Quebrada Mamaua Huachane	301154	8249895	4349	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
218	131806-007	Quebrada Mamaua Huachane	301154	8249895	4349	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
219	131806-008	Acceuta	305372	8249714	4250	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
220	131806-009	Mapo 2	319723	8248464	4172	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
221	131806-010	Mapo 1	320161	8248425	4151	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
222	131806-011	Chuquillusca	318426	8247800	4372	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
223	131806-012	Chuquillusca 2	318614	8247718	4462	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
224	131806-013	Antojahua	321799	8247359	4352	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
225	131806-014	Quebrada Cuchiuita	307459	8247223	4219	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
226	131806-015	Quebrada Cuchiuita 2	307561	8247044	4272	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
227	131806-016	Tincopalaca	310550	8246456	4182	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
228	131806-017	Occetorillo	315944	8245852	4361	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
229	131806-018	Tincopalca 2	313326	8245606	4235	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
230	131806-019	Quebrada Sihuarcancha	309486	8245245	4231	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
231	131806-020	Santa Lucia	307139	8244479	4264	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
232	131806-021	Santa Lucia 2	307223	8242737	4269	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
233	131806-021	Santa Lucia 2	307223	8242737	4269	WGS-84	19S	Puno	Lampa	Santa Lucia
234	131806-022	Ichocollo	306490	8240584	4295	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
235	131806-023	Pausapata	306530	8239944	4386	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas

236	131806-024	Pausapata 2	306666	8239843	4458	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
237	131806-024	Pausapata 2	306666	8239843	4458	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
238	131806-025	Ccaccahuasa	342964	8239228	4398	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
239	131806-026	Pacсарilla	343480	8238779	4372	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
240	131806-027	Isuyo	318736	8238723	4298	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
241	131806-028	Quebrada Jollpa	318763	8238977	4303	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
242	131806-028	Quebrada Jollpa	318763	8238977	4303	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
243	131806-029	Lavaraña Puquio	344208	8238385	4386	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
244	131806-029	Lavaraña-puquio	344208	8238385	4386	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
245	131806-030	Quebrada Jatunpuquio	319828	8237694	4263	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
246	131806-031	Queachata	343986	8236815	4408	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
247	131806-032	Quebrada Limani	320899	8236405	4210	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
248	131806-033	Viachaloma	321104	8235493	4166	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
249	131806-034	Pausapata 3	306223	8235189	4625	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
250	131806-035	Huascra 1	306031	8234824	4666	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
251	131806-035	Huascra 1	306031	8234824	4666	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
252	131806-036	Quebrada Pilloni	321421	8234220	4123	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
253	131806-037	Quemillani	339760	8234174	4181	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
254	131806-037	Quemillani	339760	8234174	4181	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
255	131806-038	Huascra	306031	8234024	4664	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
256	131806-039	Puquio Ccucho- Shillutina	344043	8233770	4436	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
257	131806-040	Serenayoc-Puquio	344174	8233724	4453	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
258	131806-041	Sallacancha-Wiscachoccacca	344187	8233525	4472	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
259	131806-042	Callapatta Puquio	344225	8232913	4380	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
260	131806-043	Mayacancha Puquio 3	343881	8232728	4333	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
261	131806-044	Mayacancha Puquio 2	343940	8232668	4330	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
262	131806-045	Mayacancha Puquio 1	343900	8232635	4325	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
263	131806-045	Mayacancha Puquio 1	343900	8232635	4325	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
264	131806-046	Chayplayllu-Quebrada	343628	8232465	4311	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
265	131806-047	Cirinaocc	341496	8232319	3985	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo

266	131806-047	Cirinaocc	341496	8232319	3985	WGS-84	19S	Puno	Puno,	Mañazo
267	131806-048	Amaycerca 2	341526	8232301	4242	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
268	131806-049	Amaycerca	342083	8232160	4271	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
269	131806-050	Mamapuquio 2	328547	8231021	3974	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
270	131806-051	Mamapuquio 1	328505	8230971	3963	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
271	131806-052	Pampa Totorani-Totorayoc Puquio	328027	8230836	3930	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
272	131806-053	Lechemayo	328447	8230801	3930	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
273	131806-054	Totoranipuquio 2	328192	8230800	3989	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
274	131806-055	Mamapuquio-Pampacucho	327659	8230741	3923	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
275	131806-056	Iglesia Ojo	322770	8230573	3925	WGS-84	19S	Puno	San Román	Cabanillas
276	131806-057	Collamayo	323537	8230520	3896	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
277	131806-058	Altarane	340015	8230229	4311	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
278	131806-058	Altarane	340015	8230229	4311	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
279	131806-059	Chosecane-Riachuelo	326648	8230152	3935	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
280	131806-060	Termal Tolapalca 2	321699	8229362	3859	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
281	131806-060	Termal Tolapalca 2	321699	8229362	3859	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
282	131806-061	Puquio Pujiane	322575	8229311	3925	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
283	131806-062	Puquio Pujiane	322590	8229281	3937	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
284	131806-063	Tolapalca	321738	8229261	3882	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
285	131806-063	Tolapalca	321738	8229261	3857	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
286	131806-064	Tolapalca (Agua Potable)	321786	8229258	3892	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
287	131806-065	Puquio Tolapalca 2	321724	8229161	3854	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
288	131806-065	Puquio Tolapalca 2	321724	8229161	3854	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
289	131806-066	Puquio Tolapalca 1	321713	8229151	3819	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
290	131806-067	Timpure 2	340654	8227845	4619	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
291	131806-067	Timpure 2	340654	8227845	4619	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
292	131806-068	Timpure 1	340684	8227826	4582	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
293	131806-069	Pinquillo 1	339955	8226839	4636	WGS-84	19S	Puno	Puno	Mañazo
294	131806-070	Challachaclla	321783	8225957	3972	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
295	131806-071	Tucuyraña	319004	8225705	4229	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas

296	131806-072	Huancarane	329634	8225014	4374	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
297	131806-073	Huancarane	329474	8224922	4364	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
298	131806-074	Arashuasi	321819	8224329	3962	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
299	131806-075	Arashuasi 2	321853	8224225	3948	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
300	131806-076	Paltiture 4	321856	8223660	3910	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
301	131806-077	Paltiture 3	321860	8223603	3918	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
302	131806-078	Paltiture 2	321816	8223591	3709	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
303	131806-079	Tocrewayre	322967	8223330	3799	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
304	131806-080	Paltiture 7-Collpani	321125	8223251	4042	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
305	131806-080	Paltiture 7 - Collpani	321125	8223251	4042	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
306	131806-081	Paltiture	322107	8223222	3806	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
307	131806-082	Paltiture 6	321093	8223152	4018	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
308	131806-083	Paltiture 5	321080	8223149	4022	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
309	131806-084	Pinitia	322903	8222981	3807	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
310	131806-085	Yotoc	311687	8222794	4515	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
311	131806-086	Ccollahuaqui	313261	8221796	4600	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
312	131806-086	Ccollahuaqui	313261	8221796	4600	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
313	131806-087	Ccollahuaqui 1	313559	8220222	4321	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
314	131806-088	Llallahuani	314057	8220092	4273	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
315	131806-089	Ccollahuaqui 2	313856	8220069	4276	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
316	131806-090	Huaritia	327914	8220045	4431	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
317	131806-091	Ccollahuaqui	314875	8219743	4260	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
318	131806-092	Sifincani	323095	8217125	4311	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
319	131806-093	Sorallooc	315252	8216756	4566	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
320	131806-094	Yuracmocco 2	315381	8216652	4566	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
321	131806-095	Sorallooc	315534	8216604	4600	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
322	131806-096	Pata Ojo 3	316385	8215779	4640	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
323	131806-097	Pata Ojo 1	316135	8215354	4653	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
324	131806-097	Pata Ojo 1	316135	8215354	4653	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
325	131806-098	Pata Ojo 2	316136	8215358	4463	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas

326	131806-099	Saytto Ojo 3	317591	8214682	4628	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
327	131806-100	Saytto Ojo 2	317464	8214655	4634	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
328	131806-101	Saytto Ojo 4	317659	8214535	4620	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
329	131806-102	Saytto Ojo 5	317680	8214316	4562	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
330	131806-103	Saytto Ojo 1	317453	8214187	4628	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas
331	131807-001	Jachata	363120	8231702	4442	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
332	131807-002	Jachata 7	362093	8230987	4436	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
333	131807-003	Jachata 4	363346	8230928	4432	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
334	131807-004	Jachata 3	364674	8230810	4491	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
335	131807-004	Jachata 3	364674	8230810	4491	WGS-84	19S	Puno	Puno	Puno
336	131807-005	Jachata 2	363651	8230783	4449	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
337	131807-006	Saltiani 3	353993	8230708	4401	WGS-84	19S	Puno	Puno	Tiquillaca
338	131807-007	Saltiani 2	353886	8230683	4381	WGS-84	19S	Puno	Puno	Tiquillaca
339	131807-007	Saltiani 2	353886	8230683	4381	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
340	131807-008	Jachata 5	365650	8230591	4443	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
341	131807-009	Jachata 08	361779	8230490	4413	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
342	131807-010	Jachata 6	362319	8230321	4465	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
343	131807-011	Quebrada Zurichat	359089	8230208	4366	WGS-84	19S	Puno	Puno	Tiquillaca
344	131807-012	Quebrada Surichaca	361014	8229904	4392	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
345	131807-013	Saltiani	354452	8229592	4360	WGS-84	19S	Puno	Puno	Tiquillaca
346	131807-014	Surichaca	360059	8229427	4377	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
347	131807-015	Quesacane	356831	8229304	4314	WGS-84	19S	Puno	Puno	Tiquillaca
348	131807-016	Hatun Surichata	358032	8228838	4371	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
349	131807-017	Juchuy Surichata	359204	8228273	4384	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
350	131807-018	Quebrada Velacaya	356067	8227042	4358	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
351	131807-019	Quebrada Murocoque	356045	8226952	4353	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
352	131807-020	Huayllane	338186	8226800	4527	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
353	131807-021	Tolacollo 1	340430	8225342	4664	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
354	131807-022	Tolacollo 2	340534	8224522	4614	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
355	131807-023	Tolacollo 3	340168	8223498	4500	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña

356	131807-023	Tolacollo 3	340168	8223498	4500	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
357	131807-024	Ccomerucho	356425	8223133	4515	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
358	131807-025	Ccomerucho 2	356548	8222933	4501	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
359	131807-026	Ccomerucho 3	356721	8222565	4496	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
360	131807-026	Ccomerucho 3	356834	8222617	4496	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
361	131807-027	Ccomerucho 4	356747	8222270	4493	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
362	131807-028	Ccomerucho 5	357190	8221253	4481	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
363	131807-029	Ccomerucho 6	356651	8220647	4469	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
364	131807-030	Yanahuara 3	333518	8219342	3964	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
365	131807-031	Secrooc	326270	8219000	4423	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
366	131807-032	Quilcata	325723	8218634	4351	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
367	131807-033	Joyane	356236	8218479	4454	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
368	131807-034	San Antonio De Esquilache 2	364460	8217740	4688	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
369	131807-035	San Antonio De Esquilache3	363601	8217546	4616	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
370	131807-035	San Antonio de Esquilache 3	363601	8217546	4616	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
371	131807-036	San Antonio De Esquilache 4	362455	8217265	4563	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
372	131807-036	San Antonio de Esquilache 4	362455	8217265	4563	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
373	131807-037	San Antonio De Esquilache 1	362713	8217193	4528	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
374	131807-038	Totorani 1	334341	8217023	4082	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
375	131807-039	Totorani 4	334678	8217019	4000	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
376	131807-040	Totorani 2	334682	8217015	4011	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
377	131807-041	Totorani 3	334699	8217008	4029	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
378	131807-041	Totorani 3	334699	8217008	4029	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
379	131807-042	Santa Rosa 1	356238	8216983	4465	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
380	131807-043	Jesus Maria	348692	8216958	3957	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
381	131807-043	Jesus Maria	348692	8216958	3957	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
382	131807-044	Santa Rosa 2	356441	8216600	4474	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
383	131807-045	Fundicion	349039	8216452	4017	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
384	131807-046	Churanawira	349778	8216414	4032	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
385	131807-046	Churanawira	349778	8216414	4032	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña

386	131807-047	Yanahuara 2	333512	8216338	3393	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
387	131807-048	Yanahuara 1	333528	8216315	3913	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
388	131807-048	Yanahuara 1	333528	8216315	3913	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
389	131807-049	Huncal 1	355322	8215203	4323	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
390	131807-050	Telaruta	357104	8215103	4350	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
391	131807-051	Juncal 2	356034	8214721	4405	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
392	131807-052	Juncal	356341	8214562	4398	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
393	131807-052	Juncal	356341	8214562	4398	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
394	131807-053	Mayconaca	328726	8214415	3749	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
395	131807-053	Mayconaca	328726	8214415	3749	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
396	131807-054	Samacaya	329789	8214013	3704	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
397	131807-055	Quebrada Ansamani	326010	8213892	3705	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
398	131807-056	Castillune	353353	8213756	4181	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
399	131807-056	Castillune	353353	8213756	4181	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
400	131807-057	Pucpucuni Huayco	332794	8213707	3765	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
401	131807-058	Puhaya	325080	8213300	3670	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
402	131807-059	Cruzpata	331937	8213113	3780	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
403	131807-059	Cruzpata	331937	8213113	3780	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
404	131807-060	Hatunpuquio	336057	8212989	4283	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
405	131807-060	Hatunpuquio	336057	8212989	4283	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
406	131807-061	Huallacuyco	354627	8212519	4644	WGS-84	19S	Puno	Puno	San Antonio
407	131807-062	Antojahua 1	323564	8212202	3672	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
408	131807-062	Antojahua 1	323564	8212202	3672	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
409	131807-063	Llapapunco	335903	8211780	4389	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
410	131807-064	Antojahua 2	322612	8211270	3632	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Yunga
411	131807-065	Quivani	330874	8210740	4449	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
412	131807-066	Hupisca	335889	8209339	4448	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
413	131807-067	Pailaca 2	351798	8209277	4749	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
414	131807-068	Pailaca	351889	8208783	4730	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
415	131807-068	Pailaca	351889	8208783	4730	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña

416	131807-069	Corire 3	334090	8208676	4621	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
417	131807-070	Corire 1	334833	8208278	4552	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
418	131807-070	Corire 1	334833	8208278	4552	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
419	131807-071	Corire 2	333595	8208010	4652	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
420	131807-071	Corire 2	333595	8208010	4652	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
421	131807-072	Rio Lluchune	351450	8206354	4420	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
422	131807-073	Lluchuni	351299	8206358	4497	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
423	131807-073	Lluchuni	351299	8206358	4497	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
424	131807-074	Huattani	341774	8205794	4527	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
425	131807-075	Soraccucho	335160	8205207	4783	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
426	131807-076	Pacocahua	350350	8204832	4645	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
427	131807-077	Misaorcco	338258	8204540	4629	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
428	131807-078	Quiviri	341068	8204393	4437	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
429	131807-079	Chincani	341040	8204284	4418	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
430	131807-080	Suracucho	336243	8203506	4548	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
431	131807-081	Mujonami	350624	8202207	4677	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
432	131807-082	Chapi	345004	8201985	4134	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
433	131807-082	Chapi	345004	8201985	4134	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
434	131807-083	Pujuccucho	350868	8201724	4667	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
435	131807-084	Chimuni	345019	8201513	4137	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
436	131807-085	Calarucos	353853	8201388	4676	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
437	131807-085	Calarucos	353853	8201388	4676	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
438	131807-086	Tojotojone	353836	8201048	4645	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
439	131807-087	Llanquire 3	353830	8201043	4654	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
440	131807-088	Laurejane	345370	8200996	4171	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
441	131807-089	Llanquiri 4	353621	8200967	4637	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
442	131807-090	Wirawirane	352950	8200944	4646	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
443	131807-091	Llanquire Bofedal / Wirawirani	351699	8200929	4549	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
444	131807-092	Ccayco	351253	8200752	4571	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
445	131807-093	Wilalacca	337525	8199523	4706	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña

446	131807-094	Wilalacca 2	337275	8198403	4680	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
447	131807-095	Chaje Pueblo	340136	8198370	4395	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
448	131807-096	Humalaya	347021	8198153	4243	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
449	131807-096	Humalaya	347021	8198153	4243	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
450	131807-097	Chaje 4	339560	8197961	4371	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
451	131807-098	Chaje 3	339556	8197937	4350	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
452	131807-099	Chaje 2	339673	8197779	4413	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
453	131807-100	Wilalaca 3	338053	8197751	4520	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
454	131807-101	Pilcone 1	339125	8197116	4410	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
455	131807-102	Pucalacaya 2	346499	8196960	4221	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
456	131807-103	Pucalacaya 1	346503	8196936	4222	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
457	131807-104	Pilcone 2	339003	8196903	4475	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
458	131807-104	Pilcone 2	339003	8196903	4475	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
459	131807-105	Añutane - Huilacallo	346985	8196689	4235	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
460	131807-106	Pilcone 3	338928	8196666	4442	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
461	131807-107	Añutane	347046	8196655	4220	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
462	131807-108	Uturuncune	343721	8196469	4493	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
463	131807-109	Puncu Huasi	346669	8196021	4290	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
464	131807-110	Quebrada Challapatilla	344569	8195971	4495	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
465	131807-111	Llusta 5	346954	8195890	4249	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
466	131807-112	Pataqueña Punco	338314	8195817	4472	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
467	131807-113	Surapunco	339572	8195771	4572	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
468	131807-114	Llusta 4	347247	8195764	4271	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
469	131807-115	Llusta 3	347337	8195731	4253	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
470	131807-116	Ñañocasa Punco	337140	8195655	4528	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
471	131807-116	Ñañocasa Punco	337140	8195655	4528	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
472	131807-117	Llusta2	347807	8195235	4206	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
473	131807-118	Ccamaaca	351897	8195213	4538	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
474	131807-119	Llusta	347838	8195182	4260	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
475	131807-120	Nañucasa 1	335932	8194628	4583	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña

476	131807-121	Soraccota	345252	8194578	4462	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
477	131807-121	Soraccota	345252	8194578	4462	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
478	131807-122	Callistia Ccasa	336112	8194547	4593	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
479	131807-123	Hucuni Puncu	348637	8194372	4372	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
480	131807-124	Pataqueña	340069	8194074	4697	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
481	131807-125	Ejeejioc	349337	8193509	4326	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
482	131807-126	Camaña	344402	8192613	4675	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
483	131807-127	Cconccomani	350585	8192048	4349	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
484	131807-127	Cconccomani	350585	8192048	4349	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
485	131807-128	Cuypaalca	337805	8191994	4755	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
486	131807-129	Putina Ichuña	347770	8191843	4387	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
487	131807-129	Putina Ichuña	347770	8191843	4387	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
488	131807-130	Hatunocco	347731	8191707	4400	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
489	131807-130	Hatunocco	347731	8191707	4400	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
490	131807-131	Huchusuma	353999	8191382	4451	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
491	131807-132	Collantane	351894	8190338	4403	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
492	131807-133	Collantane 2	351984	8190300	4416	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
493	131807-134	Vilamayo	346191	8188018	4509	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
494	131807-135	Sallaje	345817	8187684	4535	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
495	131807-136	Pati	346001	8186627	4548	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
496	131807-136	Pati	346001	8186627	4548	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
497	131808-001	Chihuacune	338250	8191018	4770	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
498	131808-002	Chihuacune 2	339076	8190897	4724	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
499	131808-003	Chichillape	339674	8190659	4722	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
500	131808-004	Irhuara 1	338756	8188107	4771	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
501	131808-004	IRHUARA 1	338756	8188107	4771	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
502	131808-005	Irhuara 2	339100	8186656	4739	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
503	131808-006	Irhuara 3	339557	8186079	4707	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
504	131808-007	Manantial Sallocco 1	357815	8184091	4541	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Chojata
505	131808-008	Manantial Sallocco 2	356650	8183079	4527	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Chojata

506	131808-009	Manantial Sallocco 3	356177	8182433	4455	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ichuña
507	131808-009	Manantial Sallocco 3	356177	8182433	4455	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Chojata
508	131808-010	Manantial Picarine	346616	8182310	4476	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
509	131808-011	Rio Pacchani	346565	8182281	4473	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
510	131808-012	Manantial Pucara	346114	8181527	4487	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
511	131808-013	Rio Tumilaque	319835	8180735	3677	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
512	131808-014	Quebrada Condorini	356932	8179672	4426	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Chojata
513	131808-015	Manantial Chucñapujo	357052	8179347	4432	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Chojata
514	131808-016	Quebrada Cocali	319703	8178585	3832	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
515	131808-017	Manantial Pacchani 1	347428	8178351	4461	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
516	131808-018	Manantial Pacchani 2	347508	8178174	4461	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
517	131808-019	Puntera	342573	8176557	4608	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
518	131808-020	Manantial Jatunpujo	344722	8176651	4520	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
519	131808-020	Manantial Jatunpujo	344722	8176651	4520	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
520	131808-021	Manantial Chula	357672	8176641	4418	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
521	131808-022	Quebrada Huerta	344687	8176602	4517	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
522	131808-023	Manantial Gallutani 2	348323	8176166	4438	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
523	131808-024	Pucapacheta	321658	8173891	3943	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
524	131808-024	Pucapacheta	324246	8175555	4214	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
525	131808-025	Manantial Lilipunko	345383	8175864	4508	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
526	131808-026	Manantial Gallutani 1	348706	8175797	4444	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
527	131808-027	Manantial Chachamaconi	366063	8175641	4847	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
528	131808-028	Manantial Picariani 2	346910	8175189	4511	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
529	131808-029	Manantial Pujoccucho	366695	8175179	4899	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
530	131808-029	Manantial Pujoccucho	366695	8175179	4899	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
531	131808-030	Manantial Picariani 1	346497	8175054	4506	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
532	131808-031	Manantial Chaullani	359666	8174891	4423	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
533	131808-031	Manantial Chaullani	359666	8174891	4423	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
534	131808-032	Manantial Rio Blanco	349677	8174826	4446	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
535	131808-033	Manantial Chullay	351310	8174368	4379	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas

536	131808-034	Pozo Tupocamaña	355954	8174194	4382	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
537	131808-034	Pozo Tupocamaña	355954	8174194	4382	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
538	131808-035	Manantial Pujini	359955	8173971	4437	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
539	131808-036	Sulchaje	321868	8175265	4011	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
540	131808-037	Manantial Chapipuncu	359944	8173882	4442	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
541	131808-038	Manantial Captado Agua Potable Titire	353553	8173850	4497	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
542	131808-039	Laguna C°Usilluni	368925	8173313	4814	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
543	131808-040	Manantial Moroqueri	354445	8173139	4398	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
544	131808-041	Juchuyhuasi	321266	8171900	4020	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
545	131808-042	Manantial Utalaya	359367	8172757	4426	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
546	131808-043	Manantial Chapilaca	354670	8172721	4391	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
547	131808-043	Manantial Chapilaca	354670	8172721	4391	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
548	131808-044	Manantial Orccopujo	359465	8172635	4431	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
549	131808-045	Manantial Surapatilla	370239	8172372	4901	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
550	131808-045	Manantial Surapatilla	370239	8172372	4901	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
551	131808-046	Manantial Chilayoc 2	359933	8171970	4420	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
552	131808-047	Manantial Termal Titire 1	354808	8171650	4400	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
553	131808-048	Manantial Chilayoc 1	359649	8171491	4410	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
554	131808-049	Manantial Termal Titire 2	355141	8171417	4379	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
555	131808-049	Manantial Termal Titire 2	355141	8171417	4379	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
556	131808-050	Manantial Damian	370269	8171001	4849	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
557	131808-051	Manantial Quello	353471	8170989	4377	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
558	131808-051	Manantial Quello	353471	8170989	4377	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
559	131808-052	Manantial Quihuire 2	373127	8170758	5011	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
560	131808-053	Fuente termal titire Puente Bello	352656	8169986	4363	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
561	131808-053	Fuente Termal Titire Puente Bello	352656	8169986	4363	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
562	131808-054	Rio Titire	352169	8169974	4443	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
563	131808-054	Rio Titire	352169	8169974	4443	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
564	131808-055	Manantial Barranco 2	361486	8169894	4473	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
565	131808-056	Quebrada Opani	320522	8169682	3585	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal

566	131808-057	Manantial Quihuire 1	373344	8169507	5008	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
567	131808-057	Manantial Quihuire 1	373344	8169507	5008	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
568	131808-058	Laguna Chamapatia	368527	8169430	4742	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
569	131808-059	Manantial Barranco 1	361679	8169361	4472	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
570	131808-060	Manantial C'Hapi	362266	8168723	4455	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
571	131808-061	Manantial Hamuchuhumaña	356801	8168629	4394	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
572	131808-062	Manantial Tucari Alto	374094	8168392	5080	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
573	131808-063	Manantial Salinas	361762	8168385	4440	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
574	131808-064	Manantial Baños	356774	8168294	4401	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
575	131808-064	Manantial Baños	356774	8168294	4401	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
576	131808-065	Quebrada Margaritani	371230	8167753	4820	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
577	131808-065	Quebrada Margaritani	371230	8167753	4820	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
578	131808-066	Manantial Pistapata	354525	8167651	4595	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
579	131808-067	Manantial Quelocahua	356292	8167580	4434	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
580	131808-068	Quebrada Apostoloni	371620	8167129	4838	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
581	131808-069	Manantial Ojelaca	352582	8166640	4547	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
582	131808-070	Rio Aruntaya	360160	8166415	4406	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
583	131808-070	Rio Aruntaya	360160	8166415	4406	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
584	131808-071	Manantial Turunase	358091	8166178	4454	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
585	131808-072	Manantial Tucari	372811	8166088	5031	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
586	131808-073	Manantial Huertapatilla 2	358531	8165714	4450	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
587	131808-073	Manantial Huertapatilla 2	358531	8165714	4450	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
588	131808-074	Manantial Huertapatilla 1	358349	8165416	4460	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
589	131808-074	Manantial Huertapatilla 1	358349	8165416	4460	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
590	131808-075	Totorani	327848	8165264	4284	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
591	131808-075	Totorani	327848	8165264	4284	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
592	131808-076	Manantial Antamatani	351232	8165251	4505	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
593	131808-077	Manantial Untupujo	359192	8164938	4466	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
594	131808-077	Manantial Untupujo	359192	8164938	4466	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
595	131808-078	Manantial Pajcha 1	372484	8164510	5023	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas

596	131808-079	Manantial Pajcha 2	372696	8164296	4988	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
597	131808-080	Manantial Pujoccucho 1	359143	8164164	4471	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
598	131808-081	Manantial Pujoccucho 2	359182	8164043	4472	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
599	131808-082	Manantial Q'uellopujo	360763	8164023	4451	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
600	131808-082	Manantial Q'uellopujo	360763	8164023	4451	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
601	131808-083	Manantial Chulla	364869	8163899	4518	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
602	131808-084	Manantial Pajcha 4	373735	8164358	5043	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
603	131808-084	Manantial Pajcha 4	373735	8164358	5043	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
604	131808-085	Manantial agua potable Aruntaya	360747	8163726	4464	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
605	131808-085	Manantial Agua Potable Aruntaya	360747	8163726	4464	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
606	131808-086	Tantani	328531	8163248	4376	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
607	131808-087	Manantial Hualcani 5	374253	8163425	5031	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
608	131808-088	Manantial Aruntaya	361669	8163373	4457	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
609	131808-089	Manantial Pajcha 3	372704	8163204	4903	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
610	131808-090	Manantial Quisumisani	362198	8163155	4459	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
611	131808-090	Manantial Quisumisani	362198	8163155	4459	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
612	131808-091	Manantial Vizcachas	350063	8162400	4375	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
613	131808-092	Manantial Cancacosani	356068	8161656	4523	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
614	131808-093	Manantial Apitilla	349172	8161642	4331	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
615	131808-094	Rio Vizcachas	349296	8161639	4318	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
616	131808-095	Manantial Hualcani 2	377141	8161624	4892	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
617	131808-096	Tiquillane 5	328115	8160964	4484	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
618	131808-096	Tiquillane 5	328115	8160964	4484	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
619	131808-097	Manantial Pisca Puquio	377463	8161257	4845	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
620	131808-098	Manantial Hualcani 1	377686	8161011	4851	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
621	131808-099	Tiquillane 4	329300	8160529	4513	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
622	131808-100	Manantial cotajani 2	388247	8160292	4812	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
623	131808-100	Manantial Cotajani 2	388247	8160292	4812	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
624	131808-101	Tiquillane 3	328952	8159734	4625	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
625	131808-102	Tiquillane 2	329217	8159671	4614	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal

626	131808-103	Manantial Tiipujo	364969	8159946	4506	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
627	131808-103	Manantial Tiipujo	364969	8159946	4506	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
628	131808-104	Manantial Huallata Mancaña 2	364386	8159446	4518	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
629	131808-105	Manantial Campamento Santa Rosa	385980	8159800	4835	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
630	131808-105	Manantial Campamento Santa Rosa	385980	8159800	4835	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
631	131808-106	Manantial Silluparque 2	387672	8159215	4781	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
632	131808-107	Manantial Huilasaya	390496	8159022	4813	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
633	131808-108	Quebrada Accosiri 2	389875	8159019	4818	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
634	131808-108	Quebrada Accosiri 2	389875	8159019	4818	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
635	131808-109	Manantial Chilihua Parque 1	387186	8159000	4819	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
636	131808-110	Quebrada Accosiri 1	390235	8158978	4802	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
637	131808-111	Manantial Huallata mancaña 1	364701	8158881	4526	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa
638	131808-111	Manantial Hualta Mancaña 1	364701	8158881	4526	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
639	131808-112	Quebrada Lantilantina	390529	8158822	4808	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
640	131808-113	Oquevilque	331057	8158424	4750	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
641	131808-113	Oquevilque	331057	8158424	4750	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
642	131808-114	Manantial Cotajani 1	386983	8158731	4805	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
643	131808-115	Manantial Huayna Ccaccachara	386081	8158702	4822	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
644	131808-116	Quebrada Accosiri 3	389061	8158466	4805	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
645	131808-117	Manantial Suricajia	342817	8158081	4547	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
646	131808-117	Manantial Suricajia	342817	8158081	4547	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
647	131808-118	Tiquillane	330934	8157661	4839	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
648	131808-119	Quebrada Accosiri 4	388019	8157721	4793	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
649	131808-120	Manantial Suricajia	344082	8157540	4482	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
650	131808-121	Manantial Calluchani 1	348022	8157225	4388	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
651	131808-122	Manantial Calamarca 2	345606	8157191	4451	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
652	131808-123	Manantial Calluchani 2	348682	8157132	4362	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
653	131808-124	Manantial Collpani	341245	8156902	4572	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
654	131808-125	Quebrada Hancotahu	389544	8156650	4783	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
655	131808-126	Manantial Calamarca 1	346000	8156464	4417	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas

656	131808-126	Manantial Calamarca 1	346000	8156464	4417	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
657	131808-127	Manantial Pututani 2	346714	8155834	4410	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
658	131808-128	Manantial Queroni	382109	8155268	4737	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
659	131808-128	Manatial Queroni	382109	8155268	4737	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
660	131808-129	Manantial Pututani 1	346977	8155255	4408	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
661	131808-130	Manantial Santacrane	379887	8155029	4682	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
662	131808-130	Manantial Santacrane	379887	8155029	4682	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
663	131808-131	Quebrada Hancocahuira	376641	8154518	4631	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
664	131808-132	Rio Mollojahuiru	372111	8154398	4560	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
665	131808-133	Manantial Cachimocco	372517	8154363	4563	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
666	131808-134	Quebrada Antacrani	379410	8154310	4676	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
667	131808-135	Rio Saltijahuira	343031	8154257	4500	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
668	131808-136	Manantial Tilaca	379441	8154130	4685	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
669	131808-137	Manantial Tolamocco	361483	8153960	4506	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
670	131808-137	Manantial Tolamocco	361483	8153960	4506	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
671	131808-138	Manantial Hancocahuira	376666	8153519	4643	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
672	131808-139	Manantial Chocñapujo	346923	8153439	4413	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
673	131808-140	Manantial Chamata	340059	8153347	4580	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
674	131808-141	Quebrada Quelluani	373389	8153164	4560	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
675	131808-142	Manantial Ojotire	361026	8153101	4545	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
676	131808-143	Manatial Callejon	388255	8152935	4840	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
677	131808-144	Manatial Millocco	387039	8152748	4754	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
678	131808-145	Manatial Sorabeco 1	384262	8152425	4714	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
679	131808-146	Manantial Mataso	342168	8152314	4525	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
680	131808-147	Rio Ccaccachara	383710	8152283	4661	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
681	131808-147	Rio Ccaccachara	383710	8152283	4661	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
682	131808-148	Manatial Sorabeco 2	384531	8152257	4710	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
683	131808-149	Manantial Chijurani	376107	8152049	4609	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
684	131808-150	Manantial Sayac	357781	8152032	4466	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
685	131808-151	Manantial Sura pajra	360297	8151531	4540	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas

686	131808-151	Manantial Sura Pajra	360297	8151531	4540	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
687	131808-152	Manantial Tije	379271	8151490	4640	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
688	131808-153	Manantial Cololuna - Pauchata	343569	8151483	4493	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
689	131808-153	Manantial ColoLuna - Pauchata	343569	8151483	4493	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
690	131808-154	Manantial Viscachuni Tiji	378533	8151465	4622	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
691	131808-154	Manantial Viscachuni Tiji	378533	8151465	4622	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
692	131808-155	Manantial Japopujo	344764	8151161	4431	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
693	131808-156	Manantial Chinchillani	359502	8150869	4542	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
694	131808-156	Manantial Chinchillani	359502	8150869	4542	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
695	131808-157	Salida De Embalse Pasto Grande	368864	8150746	4555	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
696	131808-157	Salida de Embalse Pasto Grande	368864	8150746	4555	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
697	131808-158	Fuente termal Pajtiri	381098	8150676	4647	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
698	131808-158	Fuente Termal Pajtiri	381098	8150676	4647	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
699	131808-159	Manantial Chila	381432	8150488	4653	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
700	131808-159	Manatíal Chila	381432	8150488	4653	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
701	131808-160	Manantial Pajra 2	356193	8150138	4495	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
702	131808-161	Manantial Pajra 1	355856	8150026	4516	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
703	131808-162	Fuente termal Pataccollpa	381040	8149900	4631	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
704	131808-162	Fuente Termal Pataccollpa	381040	8149900	4631	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
705	131808-163	Quebrada Achacucho	389135	8149828	4754	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
706	131808-164	Manantial Huaylla Pujo	354868	8149755	4504	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
707	131808-164	Manantial Huaylla Pujo (Ichu puquio)	354868	8149755	4504	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
708	131808-165	Manatíal Achacucho 2	390676	8149753	4746	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
709	131808-165	Manatíal Achacucho 2	390676	8149753	4746	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
710	131808-166	Manatíal Achacucho 3	386874	8149636	4702	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
711	131808-167	Manatíal Achacucho 4	386520	8149517	4702	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
712	131808-168	Fuente Putina Chila	382031	8149367	4618	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
713	131808-168	Manantial Putina Chila	382031	8149367	4618	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
714	131808-169	Manantial Huilajaque	358457	8149359	4575	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas

715	131808-170	Manantial Hancocoylo	379714	8149054	4608	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
716	131808-171	Manatíal Achacucho 1	392097	8149050	4879	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
717	131808-172	Manantial Pancopatilla	345123	8149007	4487	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
718	131808-173	Manantial Occoruni 1	376037	8148925	4563	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
719	131808-173	Manantial Occoruni 1	376037	8148925	4563	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
720	131808-174	Manantial Chilota	343931	8148722	4520	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
721	131808-174	Manantial Chilota	343931	8148722	4520	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
722	131808-175	Fuente termales de Hanco Putina Pampa	380988	8148677	4610	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
723	131808-175	Fuente Termales De Hanco Putina Pampa	380988	8148677	4610	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
724	131808-176	Manantial Occoruni 2	376240	8148476	4564	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
725	131808-176	Manantial Occoruni 2	376240	8148476	4564	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
726	131808-177	Manantial Señocco Grande	379753	8148469	4599	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
727	131808-178	Manantial Viscachuni	353154	8148318	4524	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
728	131808-179	Fuente termal huacamaña (trasero de vaca)	380769	8148106	4595	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
729	131808-179	Fuente Termal Huacamaña (Trasero De Vaca)	380769	8148106	4595	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
730	131808-180	Fuente termales señocco 1	380688	8147933	4601	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
731	131808-180	Fuente Termales Señocco 1	380688	8147933	4601	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
732	131808-181	Fuente Termales Señocco 2	380360	8147839	4596	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
733	131808-181	Fuente termales señocco 2	380360	8147839	4596	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
734	131808-182	Manantial Huaynacuni	347709	8147228	4432	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
735	131808-182	Manantial Huaynacuni	347709	8147228	4432	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
736	131808-183	Manatíal Japoccollo 1	385502	8147208	4678	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
737	131808-184	Manantial Paccha 3	352888	8147178	4532	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
738	131808-185	Manantial Paccha 2	352200	8147111	4489	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
739	131808-185	Manantial Paccha 2	352200	8147111	4489	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
740	131808-186	Manantial Paccha 1	352191	8146836	4511	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
741	131808-187	Pozo Felix Coaquira 2	384308	8146754	4650	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
742	131808-187	Pozo Felix coaquira 2	384308	8146754	4650	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
743	131808-188	Manantial Inoccollo	376919	8146730	4564	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas

744	131808-189	Manantial Crucero	381162	8146706	4640	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
745	131808-189	Manantial Crucero	381162	8146706	4640	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
746	131808-190	Pozo Felix Coaquira 1	385275	8146647	4660	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
747	131808-191	Manatial Japoccollo 2	385455	8146464	4667	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
748	131808-191	Manatial Japoccollo 2	385455	8146464	4667	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
749	131808-192	Fuente termal vizcachuni	383902	8146381	4640	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
750	131808-192	Fuente Termal Vizcachuni	383902	8146381	4640	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
751	131808-193	Manantial Chalhua Pujo	348381	8146325	4446	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
752	131808-194	Manantial Paccocahua 2	370148	8145160	4561	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
753	131808-194	Manantial Paccocahua 2	370148	8145160	4561	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
754	131808-195	Manantial Pacocahua 1	370261	8145006	4563	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
755	131808-196	Manantial Puente Pajra	385128	8144737	4654	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
756	131808-196	Manantial Puente Pajra	385128	8144737	4654	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
757	131808-197	Manantial Vallecito	346500	8144707	4507	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
758	131808-198	Manantial Quinsa Chata 3	350341	8144413	4508	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
759	131808-199	Manantial Pajra 2	386311	8144201	4663	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
760	131808-200	Pozo Mandamiento	386198	8144125	4658	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
761	131808-200	Pozo Mandamiento	386198	8144125	4658	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
762	131808-201	Manantial Pajra 3	386414	8144069	4663	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
763	131808-202	Manantial Chanco Pujo	374225	8143983	4561	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
764	131808-203	Manantial Quinsa Chata 2	350283	8143757	4530	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
765	131808-204	Manantial Quinsa Chata 1	349776	8143689	4521	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
766	131808-205	Manantial Pajra 1	386378	8143595	4663	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
767	131808-206	Manantial Chapioco	372485	8143544	4575	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
768	131808-207	Manantial Iruhuinto	379076	8143544	4565	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
769	131808-208	Manantial Chila	377476	8143510	4567	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
770	131808-209	Manantial Qu'Ellopujo	377053	8143389	4562	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
771	131808-210	Manantial Asnuné	368029	8143105	4649	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
772	131808-210	Manantial Asnuné	368029	8143105	4649	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
773	131808-211	Manantial Sirenapujo	379882	8140134	4563	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas

774	131808-212	Manantial Huntupujo	379795	8139921	4567	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
775	131808-213	Manantial Chaullapujo	379897	8139160	4568	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
776	131808-213	Manantial Chaullapujo	379897	8139160	4568	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
777	131808-214	Manantial Ti	378445	8138429	4584	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
778	131808-215	Manantial Pujuni	382430	8138172	4620	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
779	131808-215	Manantial Pujuni	382430	8138172	4620	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
780	131808-216	Humedal Pasto Grande	382874	8137167	4582	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
781	131808-217	Manantial Incalacaya	378140	8137126	4594	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
782	131808-217	Manantial Incalacaya	378140	8137126	4594	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
783	131808-218	Humedal Copapujo 2	379435	8134423	4613	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
784	131808-219	Humedal Copapujo 1	379763	8134331	4585	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
785	131808-219	Humedal Copapujo 1	379763	8134331	4585	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
786	131808-220	Patamillo	338733	8188504	4717	WGS-84	19S	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata
787	131808-220	Patamillo	338733	8188504	4717	WGS-84	19S	Moquegua	General Sanchez Cerro	Chojata
788	131809-001	Manatial Cancahuasi	391568	8148462	4830	WGS-84	19S	Puno	El Collao	Santa Rosa
789	131809-002	Manatial Pisaccunca	393488	8146977	4706	WGS-84	19S	Puno	El Collao	Santa Rosa
790	131809-003	Pozo Cancahuay 2	394574	8144716	4657	WGS-84	19S	Puno	El Collao	Mazocruz
791	131809-003	Pozo Cancahuay 2	394574	8144716	4657	WGS-84	19S	Puno	El Collao	Santa Rosa
792	131809-004	Pozo Cancahuay 1	392892	8144076	4640	WGS-84	19S	Puno	El Collao	Santa Rosa
793	131809-005	Manantial Paracota	391088	8142221	4619	WGS-84	19S	Puno	El Collao	Santa Rosa
794	131809-006	Quebrada Cullane	393790	8139619	4600	WGS-84	19S	Puno	El Collao	Santa Rosa
795	131809-007	Quebrada Tajahuaira	395457	8138308	4611	WGS-84	19S	Puno	El Collao	Santa Rosa
796	131810-001	Patune	325912	8157331	4339	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
797	131810-001	Patune	325912	8157331	4379	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
798	131810-002	Chingane 2	325845	8155632	4288	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
799	131810-003	Achacalina 1	333072	8155499	4893	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
800	131810-003	Achacalina 1	333072	8155499	4893	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
801	131810-004	Chingane	326131	8154902	4247	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
802	131810-005	Achacalina 2	334094	8154385	4913	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
803	131810-006	Logena	326763	8154364	4214	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San cristobal de calacoa

804	131810-006	Logena	326763	8154364	4214	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
805	131810-007	Cotapampa	334262	8152600	4875	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
806	131810-008	Cotapampa 2	334266	8151908	4862	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
807	131810-009	Bofedal Pasto Grande	329386	8133741	4496	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
808	131810-010	Cargashi 2	325062	8151749	3944	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
809	131810-011	Cargashi	324214	8151667	3875	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
810	131810-012	Cargashi 3	325454	8151570	3994	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
811	131810-013	Cargashi 4	325373	8151488	3977	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
812	131810-014	Campaya	328812	8150461	4470	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
813	131810-014	Campaya	328812	8150461	4470	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
814	131810-015	Silulaque	322058	8151063	3072	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
815	131810-015	Silulaque	322715	8150119	3072	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
816	131810-016	Ticsani 2	327848	8149662	4401	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
817	131810-017	Ticonani	322629	8149292	3649	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
818	131810-017	Ticonani	322629	8149292	3649	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
819	131810-018	Ticsani	329271	8149187	4593	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
820	131810-019	Canulaya	320212	8149187	3088	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
821	131810-020	Putina	319290	8149026	2929	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
822	131810-020	Putina	319290	8149026	2929	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
823	131810-021	Quebaya	321660	8147291	3233	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
824	131810-021	Quebaya	321660	8147291	3233	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
825	131810-022	Chojocucho	321659	8147288	3266	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
826	131810-023	Cuchumbaya 1	320544	8147191	3105	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
827	131810-024	Baños Termales de Cuchumbaya	320579	8147161	3058	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
828	131810-024	Baños Termales De Cuchumbaya	320579	8147161	3058	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
829	131810-025	Cuchumbaya 4	320968	8146394	3164	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
830	131810-026	Cuchumbaya 3	321005	8146319	3144	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
831	131810-027	Cuchumbaya 2	321055	8146193	3144	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
832	131810-028	Quelajahuira	321012	8145161	3177	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
833	131810-028	Quelajahuira	321241	8145681	3177	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya

834	131810-029	Laguna Torobravo	334759	8144404	4706	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	San Cristobal
835	131810-030	Chiquiscula	318090	8144126	2854	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
836	131810-031	Chiquiscula 2	318100	8144089	2860	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
837	131810-031	Chiquiscula 2	318100	8144089	2860	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
838	131810-032	Ticsani 2	326554	8143227	4231	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
839	131810-033	Ticsani 5	325843	8143090	4147	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
840	131810-034	Ticsani 4	326175	8143044	4190	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya
841	131810-035	Ticsani 3	326279	8143005	4202	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
842	131810-035	Ticsani 3	326279	8143005	4202	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
843	131810-036	Soquesane	325548	8142718	4108	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
844	131810-037	Soquesane 4	326158	8142565	4060	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
845	131810-038	Cuplune	318562	8142527	2925	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
846	131810-039	Ticsani 1	329417	8142505	4335	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
847	131810-039	Ticsani 1	329417	8142505	4335	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
848	131810-040	Buenavista 1	329948	8141302	4347	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
849	131810-041	Buenavista 2	330075	8141286	4352	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
850	131810-042	Buenavista 3	330203	8141185	4365	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
851	131810-043	Paque	326776	8140458	4026	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
852	131810-043	Paque	327133	8140439	4026	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
853	131810-044	Andametane	330826	8138761	4400	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
854	131810-044	Andametane	330826	8138761	4400	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
855	131810-045	Quebrada San Pedro	322656	8138237	3457	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
856	131810-045	Quebrada San Pedro	322860	8138602	3457	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
857	131810-046	Chilliulaca	322544	8137975	3477	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
858	131810-047	Andametane 2	331644	8137955	4397	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
859	131810-048	Manantial Umajalso	338477	8137187	4449	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
860	131810-048	Manantial Umajalso	338477	8137187	4449	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
861	131810-049	Achauma	332765	8136429	4403	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
862	131810-050	Achauma 2	332482	8136402	4419	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
863	131810-051	Achauma 3	331911	8136065	4420	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas

864	131810-052	Achauma 4	331821	8136035	4418	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
865	131810-052	Achauma 4	331821	8136035	4418	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
866	131810-053	Achauma 5	331654	8135971	4421	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
867	131810-054	Agua De Fierro	322922	8135508	3832	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
868	131810-055	Sasahuine 2	322614	8134845	3935	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
869	131810-056	Colcapota	328742	8134844	4413	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
870	131810-056	Colcapota	328946	8135209	4413	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
871	131810-057	Sasahuine	322459	8134743	3922	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas
872	131810-057	Sasahuine	322459	8134743	3922	WGS-84	19S	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas